

# Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel – Vers un guide de l'utilisateur

*1/ Etat de l'art*

*2/ Evaluation des modèles*



C4H5O2\_5 2/ 9/99 THERMC 4H 50 2 0G 300.000 5000.000 1392.000 1  
1.64121890E+01 1.20184883E-02-4.40468566E-06 7.30124728E-10-4.42784365E-14 2

**MODELISATION DE LA DISPERSION DES EMISSIONS  
ATMOSPHERIQUES D'UN SITE INDUSTRIEL**

**VERS UN GUIDE DE L'UTILISATEUR**

**PHASE 1 : ETAT DE L'ART  
PHASE 2 : EVALUATION DES MODELES**

**RAPPORT FINAL**

**septembre 2005**

**R. PERKINS, L. SOULHAC, P. MEJEAN, I. RIOS - LMFA - Ecole Centrale de Lyon**

Créée en 1989 à l'initiative du Ministère en charge de l'Environnement, l'association RECORD – REseau COopératif de Recherche sur les Déchets et l'Environnement – est le fruit d'une triple coopération entre industriels, pouvoirs publics et chercheurs. L'objectif principal de RECORD est le financement et la réalisation d'études et de recherches dans le domaine des déchets et des pollutions industrielles.

Les membres de ce réseau (groupes industriels et organismes publics) définissent collégialement des programmes d'études et de recherche adaptés à leurs besoins. Ces programmes sont ensuite confiés à des laboratoires publics ou privés.

**Avertissement :**

Les rapports ont été établis au vu des données scientifiques et techniques et d'un cadre réglementaire et normatif en vigueur à la date de l'édition des documents.

Ces documents comprennent des propositions ou des recommandations qui n'engagent que leurs auteurs. Sauf mention contraire, ils n'ont pas vocation à représenter l'avis des membres de RECORD.

- ✓ Pour toute reprise d'informations contenues dans ce document, l'utilisateur aura l'obligation de citer le rapport sous la référence :  
**RECORD**, Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel – Vers un guide de l'utilisateur - Phase 1 : Etat de l'art, Phase 2 : Evaluation des modèles, 2005, 795 p, n°03-0805/2A.
- ✓ Ces travaux ont reçu le soutien de l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie)  
[www.ademe.fr](http://www.ademe.fr)

© RECORD, 2005

**MODELISATION DE LA DISPERSION DES EMISSIONS  
ATMOSPHERIQUES D'UN SITE INDUSTRIEL  
VERS UN GUIDE DE L'UTILISATEUR**

**PHASE 1 : ETAT DE L'ART**

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

**Résumé :** Ce rapport final présente un état de l'art sur la modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques industrielles. Il propose en particulier un rappel des bases théoriques sur lesquelles reposent le transport et la dispersion des polluants émis dans la basse atmosphère : **la dispersion turbulente, la météorologie locale et la dispersion atmosphérique**. Ces éléments théoriques constituent une base indispensable pour pouvoir interpréter et mettre en œuvre respectivement des résultats et des outils de modélisation. Les différents types de modélisation sont également rappelés ainsi que les hypothèses et les principales limitations relatives à chaque type de modélisation. Une enquête auprès des industriels nous a permis de mieux cerner la problématique des émissions atmosphériques industrielles et de déterminer les limites des études. Un inventaire sur 82 modèles de transport et de dispersion atmosphérique a été réalisé pour une large gamme de situations. Cet inventaire permet de se faire une idée assez globale sur les modèles actuels et sur leurs applications. Des tableaux synthétiques sont présentés pour permettre une classification de ces modèles en fonction de différents paramètres comme le type de modélisation, le champ d'applications et les principaux phénomènes physiques pris en compte. Enfin, quelques pistes concernant des inventaires de bases de données sont présentées. Ces bases de données devraient permettre par la suite de constituer des cas tests pour la prise en main des modèles dans différentes configurations typiques.

**Mots-clés :** pollution atmosphérique, dispersion, couche limite atmosphérique, rejets industriels, inventaire de modèles

**Keywords :** atmospheric pollution, dispersion, atmospheric boundary layer, industrial releases, model inventory

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

## TABLE DES MATIERES

<b>1. Introduction</b>	<b>9</b>
1.1. Contexte de l'étude	9
1.2. Rappel du travail proposé sur la première année	10
<b>2. Dispersion turbulente</b>	<b>12</b>
2.1. Introduction phénoménologique simple	12
2.1.1. Définition et mécanismes d'évolution de la concentration	12
2.1.2. Advection par l'écoulement	14
2.1.3. Diffusion moléculaire	15
2.1.4. Dispersion turbulente	16
2.2. Equation d'advection-diffusion	19
2.2.1. Equation générale	19
2.2.2. Solution gaussienne	20
2.2.3. Influence de la turbulence	21
2.2.4. Fluctuations de concentration	27
2.2.5. Influence d'un gradient de vitesse moyenne	29
2.2.5.1. Diffusion par advection (sans diffusion turbulente)	29
2.2.5.2. Couplage entre l'advection et la diffusion turbulente	30
2.3. Modélisation de la dispersion turbulente	32
2.3.1. Modèles gaussiens	32
2.3.1.1. Modèle de panache gaussien	32
2.3.1.2. Modèle de bouffées gaussiennes	33
2.3.1.3. Paramétrisation des écarts-types $\sigma_i$	34
2.3.1.4. Interaction avec une paroi	34
2.3.1.5. Prise en compte d'un gradient de vitesse	36
2.3.1.6. Modélisation des fluctuations	38
2.3.1.7. Avantages et inconvénients	39
2.3.2. Modèles lagrangiens	40
2.3.2.1. Principe	40
2.3.2.2. Prise en compte des parois	41
2.3.2.3. Prise en compte d'un gradient de vitesse et de turbulence	42
2.3.2.4. Modélisation des fluctuations – Modèles hybrides lagrangiens-gaussiens	42
2.3.2.5. Avantages et inconvénients	43
2.3.3. Modèles numériques eulériens	44
2.3.3.1. Généralités	44
2.3.3.2. Méthodes numériques	45
2.3.3.3. Modélisation de la turbulence	47
2.3.3.4. Avantages et inconvénients	49
2.3.4. Modélisation physique	49
2.3.4.1. Principe	49
2.3.4.2. Mise en œuvre	50
2.3.4.3. Avantages et inconvénients	51
2.4. Résumé sur la dispersion turbulente	52
<b>3. Météorologie locale</b>	<b>53</b>
3.1. Généralités	53
3.1.1. Les différentes zones de l'atmosphère	53
3.1.2. Les variables utilisées	54
3.1.2.1. Le vent	54
3.1.2.2. La pression	56

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

3.1.2.3.	La température	57
3.1.3.	Tour d'horizon des phénomènes atmosphériques	59
3.1.3.1.	Rayonnement solaire et terrestre, échange sol-atmosphère	59
3.1.3.2.	Force de Coriolis – Anticyclones et perturbations	61
3.1.3.3.	Rôle de la vapeur d'eau	62
<b>3.2.</b>	<b>Description dynamique et thermique de la couche limite atmosphérique sur terrain plat</b>	<b>64</b>
3.2.1.	Caractéristiques générales de la couche limite atmosphérique	64
3.2.2.	La couche limite de surface thermiquement neutre	66
3.2.2.1.	Profil de vitesse	67
3.2.2.2.	Rugosité du sol et épaisseur de déplacement	69
3.2.2.3.	Turbulence dans la couche limite de surface	71
3.2.2.4.	Couche limite sur un terrain hétérogène	72
3.2.3.	La couche limite de surface thermiquement stratifiée	73
3.2.3.1.	Description qualitative d'une couche limite stratifiée	73
3.2.3.2.	Théorie de similitude	77
3.2.3.3.	Effets spécifiques sur un terrain hétérogène	79
<b>3.3.</b>	<b>Influence du relief</b>	<b>82</b>
3.3.1.	Description phénoménologique de l'écoulement sur un relief	82
3.3.1.1.	Généralités	82
3.3.1.2.	Écoulement sur une colline isolée	83
3.3.1.3.	Écoulement dans une vallée	87
3.3.1.4.	Écoulement sur un relief complexe	88
3.3.2.	Modélisation de l'écoulement sur un relief	89
3.3.2.1.	Modèles diagnostiques	89
3.3.2.2.	Modèles pronostiques	91
3.3.2.3.	Synthèse sur les champs d'application des modèles	91
<b>3.4.</b>	<b>Influence des bâtiments</b>	<b>93</b>
3.4.1.	Écoulement autour d'un obstacle isolé	93
3.4.2.	Écoulement dans un groupe d'obstacles	96
3.4.3.	Modélisation de l'écoulement autour d'obstacles	98
<b>3.5.</b>	<b>Résumé sur la météorologie locale</b>	<b>99</b>
<b>4.</b>	<b>Dispersion atmosphérique</b>	<b>101</b>
<b>4.1.</b>	<b>Introduction à la dispersion de polluants issus d'une source ponctuelle en atmosphère neutre</b>	<b>101</b>
4.1.1.	Influence de la surface terrestre	103
4.1.2.	Influence de la vitesse du vent et du gradient de vitesse	103
4.1.3.	Influence de la turbulence sur la dispersion	105
<b>4.2.</b>	<b>Influence de la stratification thermique de l'atmosphère</b>	<b>108</b>
4.2.1.	Différents comportements d'un panache	108
4.2.2.	Influence de la stratification sur la diffusion atmosphérique	111
4.2.3.	Effets spécifiques sur un terrain hétérogène	113
<b>4.3.</b>	<b>Influence de la nature du rejet</b>	<b>115</b>
4.3.1.	Transformations chimiques	115
4.3.2.	Transport de particules	117
4.3.2.1.	Sédimentation du panache	117
4.3.2.2.	Modification de la dispersion	118
4.3.2.3.	Effets d'inertie	119
4.3.3.	Radioactivité	119
4.3.3.1.	Rappels de physique atomique	119
4.3.3.2.	Dispersion atmosphérique de produits radioactifs	121
<b>4.4.</b>	<b>Influence des conditions initiales du rejet</b>	<b>122</b>

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

4.4.1.	Géométrie de la source	122
4.4.2.	Surhauteur de panache	123
<b>4.5.</b>	<b>Influence du relief et des bâtiments</b>	<b>125</b>
4.5.1.	Influence du relief	125
4.5.1.1.	Dispersion autour d'une colline isolée	125
4.5.1.2.	Dispersion dans le sillage d'un relief abrupt	126
4.5.1.3.	Dispersion dans une vallée	127
4.5.1.4.	Méthodes de modélisation	127
4.5.2.	Influence des bâtiments	129
4.5.2.1.	Dispersion autour d'un obstacle isolé	129
4.5.2.2.	Dispersion dans un groupe d'obstacles	131
4.5.2.3.	Méthodes de modélisation	131
<b>4.6.</b>	<b>Phénomènes de déposition</b>	<b>136</b>
4.6.1.	Dépôt sec	136
4.6.2.	Dépôt humide	137
<b>4.7.</b>	<b>Fluctuations de concentration</b>	<b>140</b>
<b>4.8.</b>	<b>Synthèse sur la modélisation de la dispersion atmosphérique</b>	<b>141</b>
<b>5.</b>	<b>Analyse et synthèse des situations à modéliser</b>	<b>144</b>
<b>5.1.</b>	<b>Inventaires des situations à étudier</b>	<b>144</b>
5.1.1.	Motivations des études	144
5.1.2.	Configurations de rejets	144
5.1.3.	Typologies de relief et d'obstacles	144
5.1.4.	Résultats de l'enquête auprès des industriels	144
5.1.4.1.	Motivations des études	145
5.1.4.2.	Comment sont réalisées les études	145
5.1.4.3.	Le champ d'application du modèle	145
5.1.4.4.	Les grandeurs à calculer	145
5.1.4.5.	Configurations de rejets	145
5.1.4.6.	Typologies de relief et d'obstacles	146
5.1.4.7.	Attentes des industriels par rapport à cette étude	146
<b>5.2.</b>	<b>Inventaires des données nécessaires et disponibles</b>	<b>147</b>
5.2.1.	Données concernant le rejet	147
5.2.2.	Données météorologiques	147
5.2.3.	Données géographiques : relief, obstacles	147
<b>5.3.</b>	<b>Inventaires des paramètres à déterminer</b>	<b>147</b>
5.3.1.	Paramètres pour la description de la pollution	147
5.3.2.	Paramètres pour évaluer l'impact sur la santé et l'environnement	147
5.3.3.	Paramètres pour le dimensionnement ou l'amélioration d'une installation	148
<b>6.</b>	<b>Inventaire et description des modèles existants</b>	<b>149</b>
<b>6.1.</b>	<b>Introduction</b>	<b>149</b>
<b>6.2.</b>	<b>Méthodologie</b>	<b>149</b>
6.2.1.	Critères de classification	149
6.2.1.1.	Introduction	149
6.2.1.2.	Description générale du modèle	150
6.2.1.2.1.	Acronyme	150
6.2.1.2.2.	Les types de modélisation	150
6.2.1.2.2.1.	Modèle météorologique	150
6.2.1.2.2.2.	Modèle de dispersion	150
6.2.1.2.2.3.	Modélisation de la source	151
6.2.1.2.2.4.	Modèle d'émission	151
6.2.1.2.3.	Les échelles considérées	151



Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

6.2.1.2.3.1.	Les échelles spatiales	151
6.2.1.2.3.2.	Les échelles temporelles	152
6.2.1.2.4.	Les principaux phénomènes physiques pris en compte	152
6.2.1.3.	Les renseignements administratifs	152
6.2.1.3.1.	Concepteur et distributeur du logiciel	153
6.2.1.3.2.	Type de licence	153
6.2.1.3.3.	Coût de licence	153
6.2.1.3.4.	Coût de la maintenance et du support technique	153
6.2.1.3.5.	Documentation	154
6.2.1.3.6.	Support technique	154
6.2.1.3.7.	Agrément	154
6.2.1.4.	Description détaillée du modèle de dispersion	154
6.2.1.4.1.	Les critères relatifs aux modèles de dispersion	154
6.2.1.4.1.1.	Modèle gaussien	154
6.2.1.4.1.2.	Modèle eulérien 3D	155
6.2.1.4.1.3.	Modèle lagrangien	155
6.2.1.4.2.	Les phénomènes de dispersion représentés	155
6.2.1.4.2.1.	Les effets de relief	155
6.2.1.4.2.2.	Les effets des obstacles	155
6.2.1.4.2.3.	Les effets de la source	156
6.2.1.4.2.4.	Les effets de la stratification thermique	156
6.2.1.4.2.5.	Les effets de variabilité des conditions météorologiques	156
6.2.1.4.2.6.	Les fluctuations	156
6.2.1.4.2.7.	La chimie	156
6.2.1.4.2.8.	Les particules	157
6.2.1.4.2.9.	Les dépôts au sol	157
6.2.1.4.2.10.	La radioactivité	157
6.2.1.5.	Informations sur les données d'entrée et de sortie du modèle	157
6.2.1.5.1.	Les données d'entrée	157
6.2.1.5.1.1.	Les données géographiques	157
6.2.1.5.1.2.	Les données météorologiques	158
6.2.1.5.1.3.	Les données d'émissions	158
6.2.1.5.2.	Les données de sortie	158
6.2.1.5.2.1.	Le format des données	158
6.2.1.5.2.2.	Les grandeurs calculées	158
6.2.1.5.2.3.	La répartition temporelle des données de sortie	159
6.2.1.6.	Description détaillée du modèle météorologique	159
6.2.1.6.1.	Les critères relatifs aux modèles météorologiques	159
6.2.1.6.1.1.	Aucun modèle météorologique	159
6.2.1.6.1.2.	Modèle diagnostique	159
6.2.1.6.1.3.	Modèle prognostique	160
6.2.1.6.1.4.	Critères communs aux modèles diagnostique et prognostique	160
6.2.1.6.2.	Les phénomènes météorologiques représentés	160
6.2.1.6.2.1.	Prise en compte de la topographie du terrain	160
6.2.1.6.2.2.	Prise en compte des obstacles	161
6.2.1.6.2.3.	Stratification atmosphérique	161
6.2.1.6.2.4.	Modèle de sol	161
6.2.1.6.2.5.	Humidité atmosphérique	161
6.2.1.7.	Informations sur la validation du modèle	162
6.2.1.8.	Informations sur les besoins informatiques	162
6.2.1.8.1.	Type de matériels	162
6.2.1.8.2.	Système d'exploitation	162
6.2.1.8.3.	Langage de programmation utilisé	162
6.2.1.8.4.	Interface utilisateur	163
6.2.1.8.5.	Temps de calcul	163
6.2.1.9.	Informations sur les modèles liés	163
6.2.1.10.	Références du modèle	163
6.2.2.	Recensement des modèles	163
6.2.2.1.	Introduction	163

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

6.2.2.2.	Les modèles de l'Environmental Protection Agency	164
6.2.2.3.	La base de données de l'European Environment Agency	164
6.2.2.4.	Les quelques autres sites	165
<b>6.3.</b>	<b>Description des modèles</b>	<b>165</b>
6.3.1.	Modèles gaussiens	165
6.3.1.1.	Rappel des hypothèses et du champ d'application	165
6.3.1.2.	Inventaire	166
6.3.1.2.1.	Modèles de panache gaussien	166
6.3.1.2.2.	Modèles à bouffées gaussiennes	166
6.3.2.	Modèles numériques eulériens tridimensionnels	166
6.3.2.1.	Rappel des hypothèses et du champ d'application	166
6.3.2.2.	Inventaire	167
6.3.3.	Modèles lagrangiens	167
6.3.3.1.	Rappel des hypothèses et du champ d'application	167
6.3.3.2.	Inventaire	168
<b>6.4.</b>	<b>Classifications selon les différents critères</b>	<b>168</b>
6.4.1.	Echelles spatiales considérées	168
6.4.1.1.	Les échelles locales	168
6.4.1.2.	Les échelles sub-méso	169
6.4.1.3.	Les échelles régionales	169
6.4.1.4.	Les échelles continentales	169
6.4.2.	Echelles temporelles considérées	170
6.4.3.	Phénomènes pris en compte	171
6.4.3.1.	Les effets de relief	171
6.4.3.2.	Les effets d'obstacles	174
6.4.3.3.	Les effets de la stratification atmosphérique	176
6.4.3.4.	Bilan des autres phénomènes physiques pris en compte	179
6.4.4.	Type de licence et coût	181
<b>7.</b>	<b>Inventaires des cas tests</b>	<b>184</b>
<b>7.1.</b>	<b>Généralités</b>	<b>184</b>
7.1.1.	Objectifs	184
7.1.2.	Critères retenus pour l'inventaire des bases de données	184
7.1.2.1.	Champ d'application	185
7.1.2.2.	Terrain complexe	185
7.1.2.3.	Conditions de rejet	185
<b>7.2.</b>	<b>Inventaire des bases de données existantes</b>	<b>185</b>
7.2.1.	Source des données	185
7.2.1.1.	European Commission – Joint Research Centre	186
7.2.1.2.	National Environmental Research Institute (NERI – Denmark)	186
7.2.1.3.	Université de Hamburg	186
7.2.2.	Expériences de terrain	186
7.2.3.	Expériences en soufflerie	187
7.2.4.	Besoins futurs en matière de bases de données pour l'évaluation des modèles	187
<b>8.</b>	<b>Conclusions et perspectives</b>	<b>188</b>
<b>8.1.</b>	<b>Partie théorique</b>	<b>188</b>
<b>8.2.</b>	<b>Bilan des situations à modéliser</b>	<b>189</b>
<b>8.3.</b>	<b>Inventaire des modèles</b>	<b>189</b>
<b>8.4.</b>	<b>Inventaires des cas tests</b>	<b>190</b>
<b>9.</b>	<b>Références</b>	<b>191</b>
<b>10.</b>	<b>Annexe 1 : Solutions analytiques de l'équation d'advection-diffusion</b>	<b>196</b>

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

<b>10.1.</b>	<b>Solutions pour un fluide au repos</b>	<b>196</b>
10.1.1.	Fluide au repos – Source ponctuelle – Rejet instantané	196
10.1.2.	Fluide au repos – Source ponctuelle – Rejet continu	196
10.1.3.	Fluide au repos – Source linéique infinie selon y – Rejet instantané	197
10.1.4.	Fluide au repos – Source linéique infinie selon y – Rejet continu	197
<b>10.2.</b>	<b>Solutions pour un fluide en écoulement uniforme</b>	<b>198</b>
10.2.1.	Écoulement uniforme – Source ponctuelle – Rejet instantané	198
10.2.2.	Écoulement uniforme – Source ponctuelle – Rejet continu	199
10.2.3.	Écoulement uniforme – Source linéique infinie selon y – Rejet instantané	199
10.2.4.	Écoulement uniforme – Source linéique infinie selon y – Rejet continu	200
<b>11.</b>	<b>Annexe 2 : Paramétrisation des écarts-types de diffusion</b>	<b>202</b>
11.1.	Paramétrisation de Pasquill	202
11.2.	Paramétrisation de Briggs	202
11.3.	Paramétrisation de Doury	203
11.4.	Paramétrisation de Brookhaven	203
<b>12.</b>	<b>Annexe 3 – Questionnaire adressé aux industriels</b>	<b>204</b>

## 1. INTRODUCTION

### 1.1. CONTEXTE DE L'ETUDE

L'Association R.E.C.O.R.D. a confié au Laboratoire de Mécanique des Fluides et d'Acoustique de L'Ecole Centrale de Lyon, une étude relative à la dispersion des émissions atmosphériques chroniques d'un site industriel correspondant à un fonctionnement normal des installations.

Dans le cadre de la réglementation en vigueur sur les émissions de polluants atmosphériques, les industriels sont amenés à réaliser ou à faire réaliser des études d'impact qui nécessitent de déterminer le transport et la dispersion des matières rejetées. L'objet de ces études consiste en particulier à démontrer que l'impact au niveau du sol des rejets considérés, reste inférieur à des seuils de concentrations ou de doses des différents produits émis. Pour cela, il faut tenir compte de l'état initial qui correspond à la pollution de fond sans les émissions du site industriel concerné. Il faut ensuite déterminer l'impact de la situation future au moyen d'outils capables de prendre en compte le transport et la dispersion des polluants atmosphériques émis par le site industriel.

Les industriels sont également amenés à réaliser des études de transport et de dispersion pour répondre à des problèmes très spécifiques, techniques (dimensionnement des installations, efficacité de nouveaux procédés de réduction des émissions polluantes) ou relatifs à des plaintes de riverains (problème d'odeurs) ou bien encore pour réaliser des prévisions en temps réel.

Toutes ces études d'impact nécessitent donc d'avoir recours à des outils de modélisation qui doivent être adaptés au problème à traiter (type de rejet, polluants, ...) et de tenir compte des principales singularités des sites (complexité topographique, situation géographique, conditions météorologiques locales, ...). Il existe aujourd'hui une multitude d'outils de modélisation allant des plus simples (modèles gaussiens rectilignes) aux plus compliqués (simulation numérique 3D, modélisation physique en soufflerie ou en veine hydraulique), du modèle « maison » et des modèles disponibles gratuitement sur l'internet aux logiciels commerciaux, et il n'est pas toujours facile, pour des personnes non spécialistes dans ce domaine, de faire un choix. Il n'est également pas toujours facile de prendre en main un outil de modélisation, directement sur une étude concrète, sans avoir acquis au préalable une certaine sensibilité des paramètres et des hypothèses physiques du modèle par rapport au problème à traiter. Enfin, il est aussi difficile d'analyser des résultats provenant d'études sous-traitées à des bureaux d'ingénierie, surtout lorsque l'on ne dispose pas des principales caractéristiques des modèles utilisés par le sous-traitant.

C'est en partie pour ces différentes raisons que l'Association R.E.C.O.R.D. et le LMFA ont décidé d'établir un programme de recherche visant à terme à l'établissement d'un guide de l'utilisateur pour la modélisation de la dispersion des émissions industrielles. Le projet global proposé sur une période de l'ordre de 3 ans comporte trois volets d'une durée d'un an chacun :

- Un premier volet sur l'état de l'art dans ce domaine.
- Un deuxième volet d'évaluation des modèles sur des cas tests obtenus sur le terrain ou en soufflerie.
- Un troisième volet d'étude de quelques cas génériques.

Les résultats attendus à l'issue de l'étude globale concernent principalement l'établissement d'un guide de recommandations et d'une plate-forme de simulation concernant la modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel, pour des utilisateurs industriels :

- Choix du type de modélisation en fonction de la situation à traiter (1<sup>ère</sup> année).

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

- Evaluation des modèles et catalogue de cas tests pour une meilleure prise en main des outils de modélisation (2<sup>ème</sup> année).
- Catalogue de cas génériques pour une évaluation rapide des résultats attendus. Calculs d'ordre de grandeur (3<sup>ème</sup> année).

## 1.2. RAPPEL DU TRAVAIL PROPOSE SUR LA PREMIERE ANNEE

Le travail de la première année a pour objectif d'établir un état de l'art dans le domaine de la modélisation, du transport et de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel. Il consiste notamment à dresser un état des connaissances scientifiques actuelles dans ce domaine et à le mettre en correspondance avec les différentes situations réelles à traiter et avec les modèles disponibles sur le marché commercial ou non, afin de retenir et d'utiliser l'outil le mieux adapté pour répondre aux besoins de l'étude. Le travail proposé se décompose en quatre phases :

1. *Rappels théoriques* : La modélisation de la pollution atmosphérique nécessite de posséder quelques notions de base sur la dispersion turbulente (chapitre 2), sur la météorologie locale (chapitre 3) et sur la dispersion atmosphérique (chapitre 4). Il est surtout important de pouvoir faire le lien entre les processus physiques de transport et de dispersion dans la couche limite atmosphérique et les différentes approches utilisées dans les modèles de dispersion. Il faut également bien comprendre les hypothèses qui se trouvent derrière chaque type de modèle pour permettre un choix judicieux, répondant le plus précisément possible au problème. Il faut enfin disposer d'une expertise suffisante pour pouvoir interpréter les résultats des modélisations.
2. *Informations sur les différentes situations à modéliser* : Il s'agit ici d'établir un inventaire le plus exhaustif possible des différentes données nécessaires pour la modélisation de la pollution atmosphérique (les données météorologiques, la topographie du site, les conditions de rejet, la localisation des cibles, ...) en indiquant celles qui sont typiquement disponibles. Il s'agit également d'établir un inventaire des paramètres à calculer, répondant aux contraintes de l'étude. Par ailleurs, les besoins des industriels en matière de modélisation de la dispersion seront évalués le plus finement possible afin que cet état de l'art réponde directement à leurs attentes. Il est clair qu'aujourd'hui, tous les problèmes ne sont pas résolus et qu'il y a encore des besoins qui relèvent du domaine de la recherche. C'est notamment le cas de la dispersion des poussières et des odeurs. Il est important à notre sens, d'identifier clairement la frontière entre ce qui est résolu, ce qui peut l'être sous le couvert d'hypothèses simplificatrices pas trop pénalisantes et ce qui ne l'est pas et qui nécessite encore des recherches.
3. *Bilan sur les différents modèles existants* : Il est proposé ici de réaliser un inventaire des modèles de dispersion sur la base des documentations techniques des logiciels. A partir de cet inventaire, plusieurs analyses pourront être faites. Elles viseront en particulier à établir une classification des modèles en fonction de divers paramètres comme le type de modélisation, le champ d'application, la prise en compte de phénomènes physiques particuliers, .... A l'issue de ce travail, quelques modèles à retenir seront proposés. Une fiche par modèle sera établie ainsi que des tableaux de comparaison entre les caractéristiques des modèles. Des renseignements concernant les fournisseurs de logiciels, les possibilités de support technique et les perspectives d'évolution des modèles seront également inclus.
4. *Bilan sur les cas tests* : Il existe dans la littérature de nombreuses références à des expériences de terrain ou en soufflerie qui peuvent d'ores et déjà constituer une première série de cas tests directement appliqués aux émissions industrielles chroniques ou plus générique pour ce type d'application. Certaines de ces références ont d'ailleurs servi au développement et à la mise en œuvre de certains modèles. Il sera également utile d'identifier des cas tests supplémentaires, à réaliser en soufflerie ou sur le terrain, répondant plus précisément et plus spécifiquement aux situations industrielles.

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

Dans les chapitres suivants, nous présentons donc les éléments théoriques nécessaires à la compréhension des processus de transport et de dispersion des polluants atmosphériques (chapitres 2 et 4), l'analyse et la synthèse des situations à modéliser (chapitre 5), un inventaire et une description des modèles (chapitre 6) et un premier bilan sur les bases de données expérimentales susceptibles de fournir des cas tests (chapitre 7).

## 2. DISPERSION TURBULENTE

Ce chapitre a pour objet de présenter les phénomènes physiques, les concepts théoriques et les techniques de modélisation relatifs à la dispersion turbulente. Le problème de la dispersion turbulente est abordé ici d'un point de vue général, dans un contexte plus large que celui de la dispersion atmosphérique. L'application plus spécifique à l'atmosphère sera exposée au chapitre 4.

### 2.1. INTRODUCTION PHENOMENOLOGIQUE SIMPLE

Dans de nombreux problèmes pratiques, il est nécessaire de prévoir le transport par un écoulement fluide d'une substance chimique donnée. On peut citer des exemples très divers comme la dérive de polluants dans les océans ou les cours d'eau, la diffusion d'une toxine ou d'un médicament dans le corps humain, les procédés de mélange utilisés dans l'industrie ou encore la dispersion des effluents dans l'atmosphère. Le trait caractéristique majeur du transport par un fluide est la coexistence de deux processus distincts :

- **L'advection** qui correspond au déplacement de la substance par l'écoulement.
- **La diffusion** qui correspond à la "dilution" de la substance dans le fluide.

Beaucoup d'écoulements rencontrés, dans la nature ou dans la plupart des procédés industriels, ont la particularité d'être *turbulents*. De tels écoulements se caractérisent par des fluctuations chaotiques de la vitesse en chaque point du fluide et par l'existence d'une multitude de structures tourbillonnaires. Les mécanismes d'advection et de diffusion sont alors intimement mêlés dans ce que l'on appelle la *dispersion turbulente*.

La dispersion turbulente est un phénomène complexe à décrire et à interpréter. Afin de mieux comprendre les développements théoriques et les techniques de modélisation qui seront présentés dans la suite de ce rapport, il est important d'effectuer au préalable une introduction qualitative aux principaux concepts mis en jeu dans la dispersion turbulente. Dans ce paragraphe, nous allons donc décrire successivement les notions de concentration, d'advection, de diffusion et de dispersion turbulente.

#### 2.1.1. DEFINITION ET MECANISMES D'EVOLUTION DE LA CONCENTRATION

Considérons une espèce E transportée par un fluide F. Pour décrire la répartition de E dans F, on utilise la notion de concentration, qui exprime, à un endroit et à un instant donné, la quantité de l'espèce E transportée par unité de l'espèce F :

$$C(x,y,z,t) = \frac{\text{Quantité de l'espèce E}}{\text{Quantité de fluide F}} \quad (2.1)$$

La concentration est la notion fondamentale dans l'étude de la dispersion de polluants. En particulier, la plupart des effets – sur la santé ou l'environnement – des polluants rejetés dépend directement du niveau de concentration observé. C'est pourquoi il est nécessaire de revenir plus en détail sur cette notion.

Il est possible d'exprimer la quantité de l'espèce ou du fluide à l'aide de plusieurs grandeurs physiques comme la masse, le volume, le nombre de moles, .... On obtient alors une multitude de définitions différentes pour la concentration, avec des relations de passage d'une définition à l'autre. Une liste non exhaustive des principales définitions utilisées est fournie dans le Tableau 1.

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

Dénomination	Grandeur pour exprimer la quantité d'espèce E	Grandeur pour exprimer la quantité de fluide F	Unités de concentration
Concentration volumique	Volume	Volume	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
Concentration massique	Masse	Masse	kg/kg
Masse volumique	Masse	Volume	kg/m <sup>3</sup>
Volume spécifique	Volume	Masse	m <sup>3</sup> /kg
Concentration molaire	Nombre de moles	Nombre de moles	ppm, ppb
Activité volumique	Activité	Volume	Becquerel/m <sup>3</sup>

Tableau 1 : Différentes définitions de la concentration.

Le fluide porteur peut être de différentes natures en terme de phase (liquide ou gaz), de composition chimique, de propriétés physiques (densité, viscosité, ...). Pour simplifier le propos, nous nous restreindrons dans la suite au cas de l'air, qui peut en première approximation être considéré comme un gaz parfait. De la même façon, l'espèce E transportée par l'écoulement peut être de natures diverses : gaz, particules solides ou liquides, minérales ou biologiques, micro-organismes. La plupart des définitions de la concentration sont indifférentes à la nature de l'espèce ou du fluide. Ainsi, les concentrations volumiques ou massiques peuvent faire référence à des gaz ou à des particules.

Sous l'effet de plusieurs mécanismes, la concentration de l'espèce E évolue au cours de son transport par le fluide. Nous distinguerons principalement deux types de processus qui conduisent à cette évolution :

- **Les processus physico-chimiques** : on rassemble sous cette dénomination tous les processus qui ne sont pas liés au mouvement du fluide. On peut citer entre autre les transformations chimiques, les changements de phase (condensation ou évaporation de gouttelettes) ou la décroissance radioactive.
- **Les processus dynamiques de transport et de diffusion par l'écoulement** : l'écoulement modifie la répartition de concentration par des mécanismes d'advection et de diffusion. Contrairement aux processus physico-chimiques, les processus dynamiques sont toujours présents, quelles que soient l'espèce et le fluide considéré.

Lorsque l'influence des processus physico-chimiques est négligeable, l'espèce transportée est qualifiée d'*inerte*. Cette hypothèse sera souvent effectuée afin de simplifier l'étude des phénomènes.

Dans un certain nombre de cas, l'espèce transportée a un comportement dynamique différent du fluide porteur. Cette situation est liée en particulier aux forces de gravité (exemple de la convection d'un nuage de gaz léger ou de la sédimentation de particules), aux effets d'inertie ou aux effets de frottement (traînée des particules). En fonction des différences de comportement entre l'espèce transportée et le fluide porteur, trois cas de figures peuvent se produire :

- **Modification du comportement du fluide et de l'espèce** : lorsque les différences de comportement sont importantes et que la concentration de l'espèce est suffisante, le comportement du fluide lui-même peut être modifié (exemple d'un nuage de gaz lourd). Une telle situation complique notablement l'étude du problème car il n'est plus possible de considérer l'écoulement comme indépendant du rejet de polluant.
- **Modification du comportement de l'espèce uniquement** : lorsque les différences de comportement sont importantes mais que la concentration de l'espèce est faible, le comportement de cette espèce sera modifié mais pas celui du fluide. C'est par exemple le cas lors de la sédimentation de particules dans l'air.
- **Pas de modification** : lorsque les différences de comportement sont négligeables, l'espèce suit parfaitement le mouvement du fluide. On dit alors que l'espèce se comporte comme un *traceur passif*.



Pour simplifier cette introduction phénoménologique, nous allons nous intéresser dans un premier temps aux mécanismes de transport d'une espèce inerte et passive, en décrivant successivement les mécanismes d'advection, de diffusion et de diffusion turbulente.

### 2.1.2. ADVECTION PAR L'ÉCOULEMENT

L'advection correspond au transport de l'espèce ou des polluants par l'écoulement. Pour mieux comprendre ce mécanisme, nous allons prendre plusieurs exemples concrets dans lesquels nous considérerons uniquement les effets de l'advection.

Considérons tout d'abord un nuage de polluants, de forme sphérique, à l'intérieur duquel la concentration est uniforme. Si ce nuage est rejeté à l'instant  $t_0$  dans un écoulement où la vitesse  $U$  est uniforme (cf. Figure 1-a), alors ce nuage va être translaté par le fluide dans la direction de la vitesse  $U$ . A l'instant  $t_1$ , le nuage s'est déplacé d'une distance  $U \cdot (t_1 - t_0)$  ; il a rigoureusement la même forme et la concentration à l'intérieur n'a pas changé. Cela constitue un premier résultat important : **l'advection déplace le nuage de polluant mais ne change pas sa concentration.**

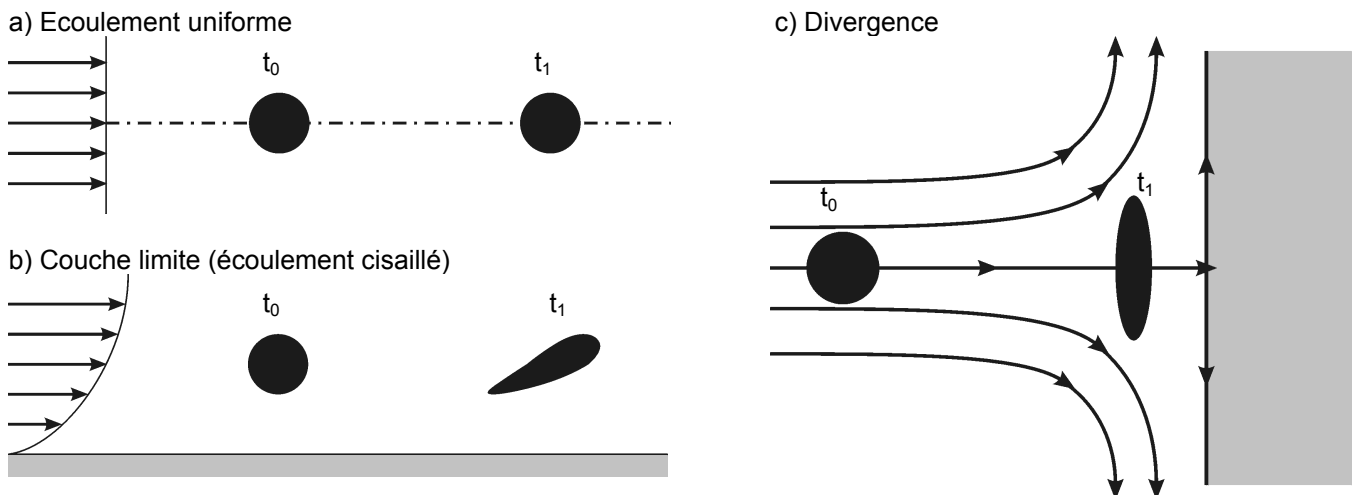


Figure 1 : Advection d'un nuage de polluants ( $t_1 > t_0$ ). a) Écoulement uniforme. b) Écoulement de couche limite. c) Divergence au voisinage d'une paroi (exemple d'un bâtiment).

Si maintenant le nuage est lâché dans un écoulement où la vitesse n'est pas uniforme (par exemple une couche limite au voisinage d'une paroi – voir Figure 1-b), on constate que le nuage se déplace en se déformant sous l'action du cisaillement. En effet, certaines parties du nuage se déplacent plus rapidement que d'autres ce qui contribue à étirer le nuage. Cependant, le volume total du nuage et la concentration à l'intérieur restent inchangés.

Dans le troisième exemple (Figure 1-c), considérons un écoulement où les lignes de courant divergent, par exemple pour contourner un obstacle (situation que l'on peut rencontrer à l'amont d'un bâtiment ou d'un relief). Dans ce cas, l'effet de divergence conduit à un étirement du nuage dans la direction transversale et à une contraction dans la direction longitudinale. Là encore, le volume total du nuage et la concentration à l'intérieur restent inchangés.

Les observations effectuées dans les deux derniers exemples nous indiquent que la non-uniformité du champ de vitesse peut conduire à une déformation de l'enveloppe du nuage mais que la concentration à l'intérieur du nuage n'est pas modifiée. Un exemple extrême de ce phénomène est illustré sur la Figure 2. Il s'agit de l'advection, par un tourbillon, d'un nuage de polluants occupant initialement la moitié d'un cercle. La présence du tourbillon déforme le nuage indéfiniment jusqu'à lui donner une forme de spirale qui occupe tout le cercle. Pourtant, encore une fois, le volume du nuage et la concentration en polluant à l'intérieur n'ont pas changé.

L'exemple de l'advection par un tourbillon constitue une première explication du phénomène de dispersion turbulente (voir paragraphe 2.1.4).

Une dernière caractéristique qu'il est important de mentionner concernant l'advection est sa réversibilité. En effet, dans tous les exemples présentés ci-dessus, si l'on inverse le sens de l'écoulement à l'instant  $t_1$ , le nuage va progressivement reprendre la forme initiale qu'il avait à l'instant  $t_0$ . Des situations de changement de sens de l'écoulement peuvent se produire dans l'atmosphère, au voisinage des côtes (brises de mer et de terre) entre le jour et la nuit (cf. paragraphe 3.2.3.3). Ainsi, un nuage de polluant ayant été advecté vers la mer peut-être ramené vers la côte avec des concentrations élevées si les effets de diffusion, que nous allons aborder au paragraphe suivant, ont été faibles au cours du trajet.

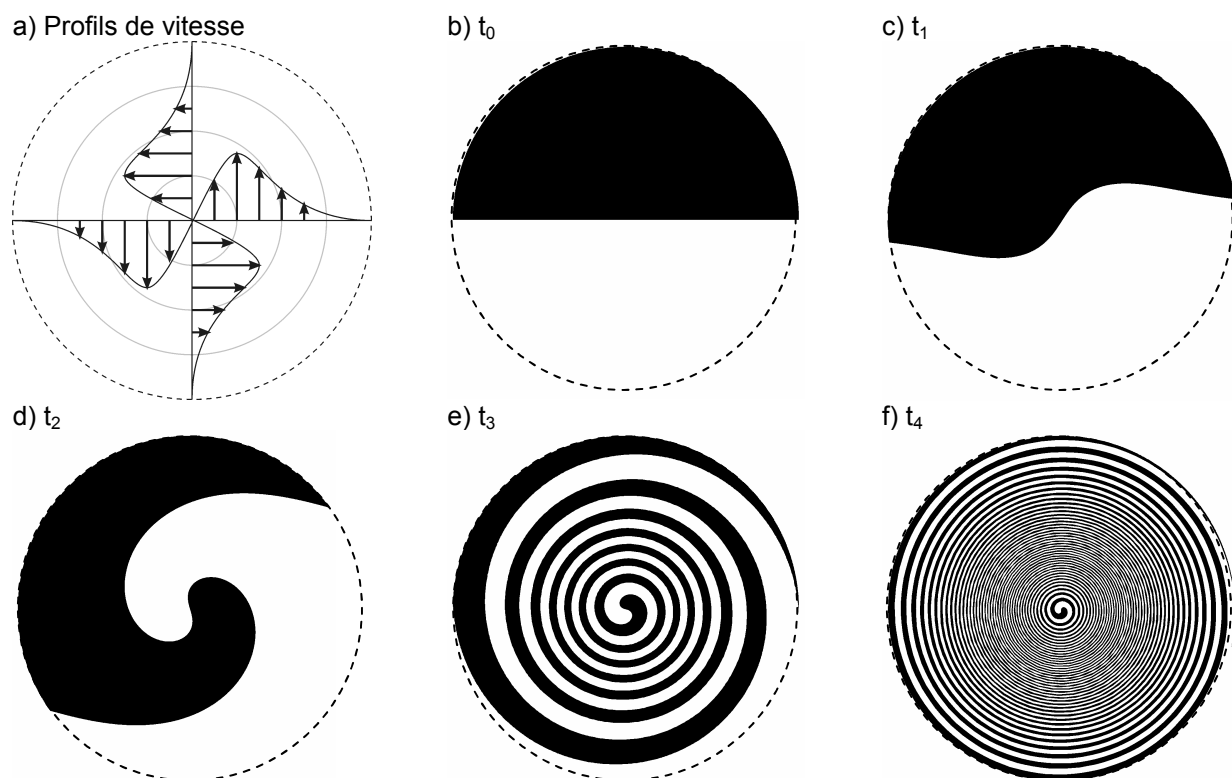


Figure 2 : Advection d'un nuage de polluants (occupant initialement la moitié d'un cercle) dans un écoulement tourbillonnaire, décrit par le profil de vitesse de la figure a).

### 2.1.3. DIFFUSION MOLECULAIRE

La diffusion moléculaire est un mécanisme de transport à l'échelle microscopique. Le mouvement brownien des molécules de polluants conduit à un flux  $\Phi_D$  à l'échelle macroscopique, orienté dans la direction opposée au gradient de concentration (loi de diffusion de Fick) :

$$\Phi_D = -D \nabla C \quad (2.2)$$

où  $D$  est le coefficient de diffusivité moléculaire, qui dépend du fluide porteur et de l'espèce transportée. L'ordre de grandeur de la diffusivité moléculaire dans l'air des composés courants est de  $10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ .

En pratique, la diffusion moléculaire conduit à une dilution des polluants dans le fluide et à une homogénéisation des concentrations. Nous avons représenté, sur la Figure 3, l'évolution de la

concentration dans un nuage de polluants, occupant initialement un volume sphérique. On observe un étalement du nuage au cours du temps, avec une diminution progressive de la concentration sur les bords du nuage. Contrairement au cas de l'advection, la diffusion ne conserve pas la concentration à l'intérieur du nuage. De même, la taille du nuage augmente au cours de temps. Dans le cas d'un rejet initialement ponctuel, l'écart-type  $\sigma_r$  de la distribution de concentration augmente avec la racine carrée du temps :

$$\sigma_r = \sqrt{2Dt} \quad (2.3)$$

Compte tenu des valeurs caractéristiques de la diffusivité  $D$ , la taille moyenne d'un nuage de polluant, émis de façon ponctuelle, après une heure de diffusion moléculaire est inférieure à un mètre. La diffusion moléculaire constitue donc un processus qui, pris isolément, est très peu efficace pour "mélanger" et "diffuser" la pollution. Nous verrons au paragraphe suivant comment son association avec la turbulence peut conduire à un processus de diffusion beaucoup plus performant.

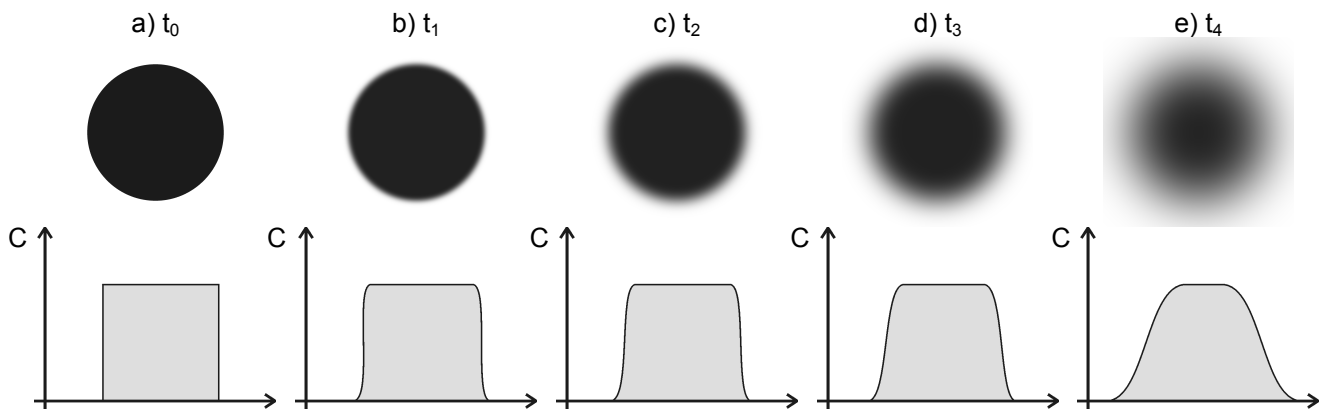


Figure 3 : Diffusion moléculaire d'un nuage de polluants initialement circulaire, en l'absence d'écoulement moyen. La partie supérieure de la figure illustre l'allure du nuage. Les profils transversaux de concentration sont figurés dans la partie inférieure.

Enfin il faut noter que la diffusion moléculaire est un processus irréversible qui ne peut être contrôlé. En particulier, il se produit indépendamment de la présence d'un écoulement (donc d'advection).

#### 2.1.4. DISPERSION TURBULENTE

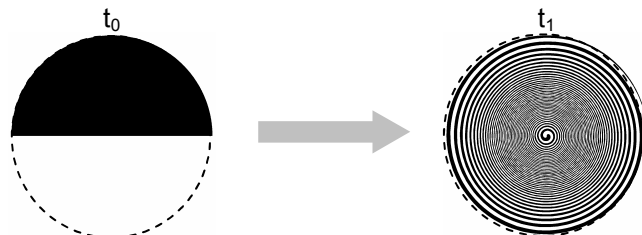
Dans les deux paragraphes précédents, nous nous sommes placés dans des situations extrêmes où l'on pouvait séparer les effets d'advection et de diffusion. Mais dans la pratique, les deux effets coexistent et interagissent. Cette interaction conduit généralement à un renforcement de l'étalement total du nuage. Des effets de couplage peuvent être observés dans des écoulements laminaires mais c'est certainement au sein des écoulements turbulents que cette interaction est la plus forte. Afin de comprendre comment le couplage s'opère, nous allons présenter l'exemple de la diffusion par un tourbillon.

Nous avons rappelé en introduction qu'un écoulement turbulent peut être considéré comme une superposition d'un très grand nombre de tourbillons, couvrant une large gamme d'échelles de dimension et de vitesse. L'exemple d'un unique tourbillon constitue donc une représentation très schématisée d'un écoulement turbulent mais nous allons voir qu'il permet déjà de bien comprendre les phénomènes qui nous intéressent. Considérons qu'à un instant  $t_0$ , on relâche dans ce tourbillon un nuage de polluants qui occupe la moitié d'un cercle et dont la concentration est uniforme (cf. Figure 4). Nous avons déjà décrit, au paragraphe 2.1.2, l'évolution de ce nuage sous le seul effet de l'advection. Elle conduit à la déformation du nuage qui finit par donner l'impression, au bout d'un certain temps, d'occuper l'ensemble du cercle (voir Figure 4-a), tout en ayant conservé son volume initial. Supposons maintenant que le même

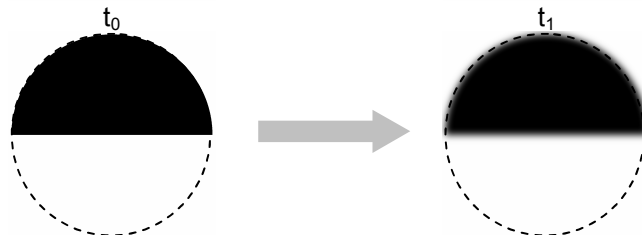
nuage ne soit soumis qu'à la diffusion moléculaire. Au bout de la même durée, cet effet – rappelons-le peu efficace – conduit à une légère diffusion des bords du nuage (cf. Figure 4-b). La longueur caractéristique  $l$  de cette diffusion est petite devant la taille du nuage.

Dans la réalité, les deux effets se superposent. Si l'on suppose pour simplifier que l'advection et la diffusion ont lieu successivement et non pas simultanément (d'un point de vue qualitatif, cela ne change pas grand chose au résultat), on observe que l'application de la diffusion sur la spirale issue de l'advection conduit à une homogénéisation de la concentration sur l'ensemble du nuage, qui atteint une valeur voisine de la moitié de la concentration initiale (coloration grise sur la Figure 4-c). L'explication de ce phénomène est que la longueur de diffusion  $l$  est du même ordre de grandeur que la taille caractéristique des branches de la spirale. L'advection a donc permis dans un premier temps de "morceler" le nuage si bien que la diffusion a été plus efficace.

a) Advection pure



b) Diffusion moléculaire pure



c) Dispersion turbulente =

advection  
+  
diffusion moléculaire

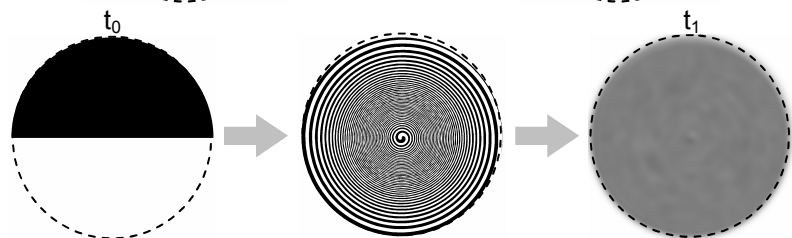


Figure 4 : Comparaison de l'advection, de la diffusion moléculaire et de la dispersion turbulente d'un nuage de polluants (occupant initialement la moitié d'un cercle).

Le mécanisme que nous venons de décrire, qui associe advection et diffusion dans un écoulement turbulent, est appelé *dispersion turbulente*. L'exemple précédent peut d'ores et déjà nous permettre d'énoncer quelques résultats généraux sur ce phénomène, qui seront repris par la suite :

- **La dispersion turbulente est beaucoup plus efficace que la diffusion moléculaire** : la comparaison de la Figure 4-b et de la Figure 4-c met clairement en évidence que la dispersion turbulente génère un étalement beaucoup plus important du nuage que la diffusion moléculaire. En pratique, lorsque l'on souhaite modéliser le transport d'une substance dans un écoulement turbulent, on néglige la plupart du temps l'effet macroscopique de la diffusion moléculaire et on paramétrise l'effet global de la dispersion turbulente.
- **La dispersion turbulente dépend des caractéristiques de l'écoulement** : contrairement à la diffusion moléculaire qui ne dépend que des propriétés du mélange substance-fluide, l'efficacité de la dispersion turbulente dépend essentiellement des caractéristiques de l'écoulement. Compte tenu de la complexité et de la diversité des écoulements possibles, la

modélisation de la dispersion turbulente est une tâche particulièrement ardue, qui requiert la mise en œuvre de techniques spécifiques (voir paragraphe 2.3).

- **L'efficacité de la dispersion turbulente dépend des tailles relatives des tourbillons et du nuage** : l'analyse de l'exemple du tourbillon isolé nous indique que l'efficacité de la dispersion turbulente est liée à la capacité du tourbillon à morceler le nuage de polluants. On imagine facilement que cette capacité dépend en grande partie de la taille du tourbillon par rapport au nuage. En fonction de cette taille, on distinguera trois comportements distincts :
  - Les tourbillons très gros par rapport au nuage déplacent ce dernier dans son ensemble, sans le morceler. Ils contribuent donc surtout à l'advection.
  - Les tourbillons très petits devant la taille du nuage ne sont pas efficaces pour le morceler, à l'exception d'une zone située en frontière du nuage.
  - Les tourbillons de taille comparable au nuage le morcellent et favorise la dispersion turbulente.

Dans un écoulement turbulent, il existe une gamme assez large d'échelles de tourbillons si bien que tous ne participeront pas aussi efficacement à la diffusion turbulente. De plus, la contribution des différentes tailles de tourbillons évolue au fur et à mesure de l'étalement du nuage. Cela complique encore un peu plus la modélisation de la dispersion qui doit tenir compte de tous ces effets.

Dans un écoulement turbulent, la vitesse observée en un point donné fluctue au cours du temps. En raison du lien que nous venons de détailler entre le champ de vitesse et la dispersion turbulente d'une substance transportée par l'écoulement, il en résulte que la concentration observée fluctue également au cours du temps. Nous avons illustré sur la Figure 5 un exemple d'évolution temporelle de la concentration dans un écoulement turbulent.

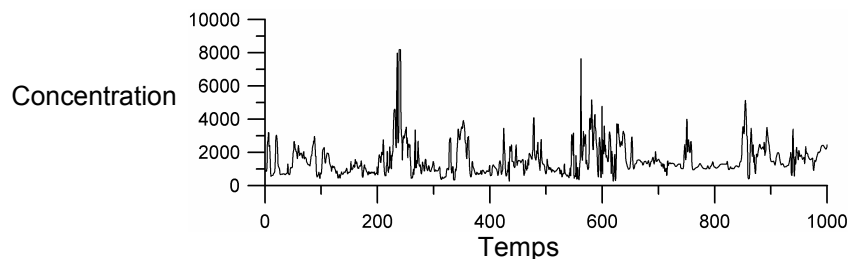


Figure 5 : Evolution temporelle de la concentration dans un écoulement turbulent

La description détaillée de l'évolution turbulente de la concentration constitue un véritable problème en terme de modélisation. En effet, si d'un point de vue théorique l'évolution d'une grandeur turbulente est parfaitement déterministe, d'un point de vue pratique elle nous apparaît bien souvent aléatoire, dans la mesure où nous n'avons pas une connaissance suffisamment fine de l'écoulement pour pouvoir la prévoir. Pour s'affranchir de cette difficulté, on introduit généralement la notion de *concentration moyenne*. A ce stade de l'exposé, nous ne parlerons que de moyenne temporelle, c'est-à-dire d'une moyenne effectuée sur une certaine période de temps. La concentration instantanée  $c$  peut alors être décomposée sous la forme :

$$c = \bar{c} + c' \quad (2.4)$$

où  $\bar{c}$  représente la concentration moyenne et  $c'$  la fluctuation par rapport à cette moyenne. La plupart des approches de modélisation que nous présenterons par la suite s'intéresseront uniquement à la concentration moyenne. Certaines approches permettent cependant de décrire les fluctuations en déterminant des moments d'ordre supérieur ou une fonction de distribution de la concentration. Il faut être conscient qu'il n'y a pas, et qu'il n'y aura jamais, d'approche permettant de prévoir les fluctuations instantanées de concentration dans un cas réel.

## 2.2. EQUATION D'ADVECTION-DIFFUSION

L'équation d'advection-diffusion est l'équation qui régit le transport d'une espèce dans un écoulement. La présentation de cette équation est indispensable pour comprendre l'influence des différents phénomènes physiques mais également pour comprendre l'origine des problèmes rencontrés dans la modélisation de la dispersion.

### 2.2.1. EQUATION GENERALE

Considérons une espèce chimique transportée dans un écoulement turbulent incompressible. Le principe de conservation appliqué à cette espèce permet d'écrire l'équation d'advection-diffusion de la concentration instantanée  $c$  :

$$\underbrace{\frac{\partial c}{\partial t}}_{\text{terme instationnaire}} + \underbrace{\mathbf{u} \cdot \tilde{\mathbf{N}} c}_{\text{terme d'advection}} = \underbrace{D \Delta c}_{\text{terme de diffusion moléculaire}} + \underbrace{S}_{\text{terme d'apport}} - \underbrace{P}_{\text{terme de perte}} \quad (2.5)$$

où  $\mathbf{u}$  est la vitesse instantanée et  $D$  le coefficient de diffusion moléculaire. On voit explicitement apparaître des termes représentant l'advection et la diffusion moléculaire. Par contre, la dispersion turbulente n'apparaît pas explicitement. Les termes d'apport  $S$  et de perte  $P$  sont dus à la présence de sources, qui rejettent l'espèce dans l'écoulement, et aux transformations physico-chimiques qui produisent ou détruisent cette espèce. Comme le mouvement du fluide porteur est turbulent, il est intéressant d'utiliser une décomposition (dite de Reynolds) des variables, comme la somme d'un terme moyen et d'un terme fluctuant :

$$\begin{cases} \mathbf{u} = \bar{\mathbf{u}} + \mathbf{u}' \\ c = \bar{c} + c' \end{cases} \quad (2.6)$$

En introduisant cette décomposition dans l'équation 2.5 et en moyennant, on obtient l'équation d'advection-diffusion pour la concentration moyenne  $\bar{c}$  :

$$\underbrace{\frac{\partial \bar{c}}{\partial t}}_{\text{terme instationnaire}} + \underbrace{\bar{\mathbf{u}} \cdot \tilde{\mathbf{N}} \bar{c}}_{\text{terme d'advection}} = \underbrace{D \Delta \bar{c}}_{\text{terme de diffusion moléculaire}} - \underbrace{\tilde{\mathbf{N}} \cdot \overline{\mathbf{u}' c'}}_{\text{terme de dispersion turbulente}} + \underbrace{\bar{S}}_{\text{terme d'apport}} - \underbrace{\bar{P}}_{\text{terme de perte}} \quad (2.7)$$

L'équation précédente est analogue à l'équation instantanée 2.5, à l'exception d'un terme supplémentaire, correspondant au gradient de la corrélation des fluctuations de vitesse et de concentration. Ce terme, appelé *flux turbulent*, traduit l'existence du mécanisme de dispersion turbulente. Dans la plupart des applications pratiques, on négligera le terme de diffusion moléculaire devant le terme de dispersion turbulente.

En supposant que l'on connaisse le champ de vitesse moyenne et les conditions aux limites du domaine, l'étude de la concentration moyenne d'un scalaire passif dans un écoulement turbulent se résume donc à la résolution de l'équation 2.7. Malheureusement, cette équation unique admet quatre inconnues : la concentration  $\bar{c}$  et les trois composantes du vecteur flux  $\overline{\mathbf{u}' c'}$ . Pour résoudre l'équation, les seules solutions sont soit d'exprimer les composantes du flux  $\overline{\mathbf{u}' c'}$  en fonction de variables connues, soit de fournir des équations d'évolution de ces composantes, en espérant que ces nouvelles équations n'introduiront pas de variables supplémentaires. Ce problème dans la résolution de l'équation d'advection-diffusion est appelé *problème de fermeture*. Il constitue l'une des principales difficultés de l'étude de la dispersion turbulente.

### 2.2.2. SOLUTION GAUSSIENNE

La résolution de l'équation d'advection-diffusion (sous sa forme instantanée 2.5 ou moyennée 2.7) dans un cas général (écoulement turbulent complexe, réactions physico-chimiques, ...) requiert des techniques de modélisation complexes qui seront présentées au paragraphe 2.3. Nous reviendrons entre autres sur les méthodes de fermeture qui peuvent être adoptées. Il existe cependant, dans certains cas particulier, des solutions analytiques qui constituent un moyen simple et rapide d'étudier la dispersion turbulente. Intéressons-nous plus particulièrement à la solution gaussienne de l'équation d'advection-diffusion.

Considérons un écoulement, sans vitesse moyenne, où le fluide est agité de mouvements turbulents. On relâche à l'instant  $t_0$  une quantité  $Q$  de polluant de façon ponctuelle (la distribution initiale de concentration suit une loi de Dirac). Nous supposons que l'espèce rejetée est inerte et passive, si bien que les termes  $\bar{S}$  et  $\bar{P}$  sont nuls sauf à l'instant initial. On négligera également le terme de diffusion moléculaire.

Pour traiter le problème de fermeture, nous supposons que :

- Le flux turbulent  $\overline{u'c'}$  peut s'exprimer en fonction du gradient de concentration moyenne sous la forme :

$$\overline{u'c'} = -K\bar{\nabla}\bar{c} \quad (2.8)$$

où  $K$  est le tenseur de diffusivité turbulente. Cette hypothèse est basée sur une analogie entre la dispersion turbulente et la diffusion moléculaire. On suppose ainsi qu'il existe une loi de Fick "turbulente", avec une diffusivité turbulente qui dépend des caractéristiques de l'écoulement.

- Dans le cas général, le tenseur de diffusivité turbulente  $K$  est dépendant de la position et de l'instant considéré. A priori, on a donc reporté le problème de fermeture sur la détermination de  $K$ . En première approximation nous allons faire l'hypothèse que  $K$  est constant dans le temps et uniforme dans l'espace. Nous allons également supposer, même si ce n'est pas rigoureusement exact (voir Monin et Yaglom, 1971, page 666), que ce tenseur est diagonal, c'est-à-dire que le flux turbulent dans une direction est uniquement proportionnel au gradient de concentration moyenne dans cette direction. Les coefficients de diffusion  $K_i$  selon chaque axe pourront cependant être différents pour tenir compte de l'anisotropie de la turbulence.

Moyennant ces hypothèses, la distribution de concentration induite par un rejet instantané (à l'instant  $t_0$ ) et ponctuel (au point de coordonnées  $x_0, y_0, z_0$ ) d'une masse  $Q$  de polluants est fournie par la relation gaussienne (Roberts, 1923) :

$$\bar{c}(x,y,z,t) = \frac{Q}{8[\pi(t-t_0)]^{3/2}\sqrt{K_x K_y K_z}} \exp\left[-\frac{1}{4(t-t_0)}\left(\frac{(x-x_0)^2}{K_x} + \frac{(y-y_0)^2}{K_y} + \frac{(z-z_0)^2}{K_z}\right)\right] \quad (2.9)$$

A partir de cette solution, il est possible d'exprimer l'évolution en fonction du temps des écarts-types  $\sigma_i$  de la distribution de concentration :

$$\sigma_i(t) = \sqrt{\iiint x_i^2 \bar{c} \, dx \, dy \, dz} = \sqrt{2K_i(t-t_0)} \quad (2.10)$$

On sait depuis longtemps (Taylor, 1921) que le résultat précédent ne constitue une bonne approximation de la réalité que pour des temps de diffusion importants. En effet, au voisinage de la source, l'hypothèse d'une diffusivité turbulente constante dans le temps n'est pas applicable car au fur et à mesure que la bouffée grossit, ce ne sont plus les mêmes structures tourbillonnaires qui contribuent à la dispersion turbulente (cf. paragraphe 2.1.4). On observe

donc un filtrage sur le spectre d'énergie turbulente : seuls les tourbillons de taille inférieure à la dimension de la bouffée contribuent à sa diffusion tandis que les tourbillons de taille plus importante provoquent un déplacement du centre de masse de cette bouffée. Ainsi, l'efficacité de la dispersion évolue au cours du temps, jusqu'à ce que la bouffée soit devenue plus grosse que les plus gros des tourbillons. Des considérations théoriques (Taylor, 1921 ; voir aussi au paragraphe 2.2.3), confirmé par des résultats expérimentaux, permettent de montrer qu'au voisinage de la source, les écarts-types  $\sigma_i$  augmentent proportionnellement à  $(t - t_0)$ .

D'un point de vue pratique, la solution de l'équation 2.9 présente donc un intérêt limité car l'évolution des écart-types, prévue par l'équation 2.10, ne s'applique pas au voisinage de la source. Pour autant, il a été constaté expérimentalement qu'une distribution gaussienne décrivait relativement bien la répartition de concentration dans une bouffée de polluants. C'est pourquoi, afin de s'affranchir de la méconnaissance des fonctions d'évolution des écarts-types  $\sigma_i$ , il est possible de reformuler l'équation 2.9 en faisant explicitement apparaître ces écarts-types :

$$\bar{c}(x,y,z,t) = \frac{Q}{[2\pi]^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{(x-x_0)^2}{\sigma_x^2} + \frac{(y-y_0)^2}{\sigma_y^2} + \frac{(z-z_0)^2}{\sigma_z^2} \right) \right] \quad (2.11)$$

Il devient alors nécessaire de fournir une paramétrisation permettant de calculer les valeurs des écarts-types en fonction du temps et des caractéristiques de l'écoulement. De très nombreuses paramétrisations, d'origine empirique ou théorique, ont été développées dans le passé. A ce stade, nous ne rentrerons pas dans les détails et nous renvoyons au chapitre 4, où seront présentées les principales paramétrisations utilisées dans le cas particulier de l'atmosphère. Au paragraphe 2.2.3, nous fournirons également quelques résultats généraux sur ces écarts-types.

Les solutions 2.9 et 2.11 correspondent au cas un peu restrictif d'un rejet ponctuel instantané dans un écoulement turbulent sans vitesse moyenne. Pour obtenir des solutions analytiques dans des configurations un peu plus générales (écoulement uniforme, rejet continu, source linéique, ...), il est possible d'intégrer dans l'espace ou dans le temps les solutions précédentes. Une liste de solutions particulières est fournie en annexe 1. Parmi elles, notons en particulier la solution 8.18 qui correspond au cas d'un rejet continu ponctuel dans un écoulement uniforme, habituellement appelée "formule du panache gaussien". Plusieurs modèles décrits au paragraphe 2.3.1 sont basés sur cette formule.

Lorsque l'on a simultanément plusieurs sources dans l'écoulement, il est possible de superposer les solutions analytiques présentées ci-dessus ou en annexe 1. En effet, l'équation d'advection-diffusion (2.5 ou 2.7) a la particularité d'être linéaire par rapport à la concentration. Ainsi, toute superposition linéaire de solutions est une solution, à condition bien évidemment de respecter les conditions aux limites. Cette propriété est très utile dans des situations réelles où de nombreuses sources sont à considérer.

### 2.2.3. INFLUENCE DE LA TURBULENCE

L'équation générale d'advection-diffusion, rappelée dans les paragraphes précédents, peut être résolue soit directement, en utilisant par exemple une discrétisation sur un maillage (voir les modèles eulériens au paragraphe 2.3.3), soit à partir des solutions analytiques gaussiennes. Dans les deux cas, il est nécessaire d'exprimer l'influence de la turbulence à travers soit des coefficients de diffusivité turbulente  $K_i$ , soit des écarts-types de diffusion  $\sigma_i$ . Les modèles de dispersion utilisent des formulations plus ou moins détaillées de ces paramètres, qui seront évoquées au fur et à mesure de la description des modèles. Sans rentrer dans le détail de chacune de ces formulations, il est néanmoins possible d'exprimer quelques résultats théoriques généraux, qui permettent de mieux comprendre le rôle de la turbulence et que l'on retrouvera plus ou moins dans tous les modèles.



Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

Pour déterminer le comportement des coefficients  $K_i$  et  $\sigma_i$ , nous allons faire appel à la théorie statistique de la diffusion turbulente (Taylor, 1921). Considérons le problème du rejet ponctuel d'une espèce inerte et passive dans un écoulement turbulent homogène sans vitesse moyenne. L'espèce transportée suivant parfaitement le mouvement des particules fluides, il est intéressant d'effectuer une analyse lagrangienne de ce mouvement. On définit le coefficient d'autocorrélation lagrangienne des vitesses dans la direction  $x$  par :

$$R(\tau) = \frac{\overline{u'(t)u'(t+\tau)}}{\overline{u'^2}} \quad (2.12)$$

Par la suite, les relations seront exprimées pour la direction  $x$  mais pourraient aisément être transposées dans les autres directions. Soit  $x$  l'abscisse d'une particule fluide issue de la source et  $\overline{x^2}$  l'écart-type de la distribution statistique de ces abscisses sur un grand nombre de trajectoires différentes de la particule. En dérivant  $\overline{x^2}$  par rapport au temps, on obtient alors une relation faisant intervenir le coefficient  $R$  :

$$\frac{d\overline{x^2}}{dt} = 2\overline{u'^2} \int_0^t R(\tau) d\tau \quad (2.13)$$

L'intégration par rapport au temps de la relation précédente fournit l'équation de Taylor :

$$\sigma_x^2(T) = 2\sigma_u^2 \int_0^T \int_0^t R(\tau) d\tau dt \quad (2.14)$$

où  $\sigma_x$  est l'écart-type de la distribution des particules fluides issues de la source, au bout d'un temps  $T$ , et  $\sigma_u$  l'écart-type des fluctuations de vitesse de l'écoulement turbulent. En considérant que chacune de ces particules transporte la même quantité infinitésimale d'espèce,  $\sigma_x$  peut également être assimilé à l'écart-type de la distribution de concentration. La relation de Taylor permet donc de relier l'évolution de la taille d'une bouffée de polluants aux caractéristiques turbulentes de l'écoulement.

Pour déterminer le comportement asymptotique de  $\sigma_x$ , nous allons utiliser les propriétés du coefficient  $R$  :

$$\begin{cases} R(0) = 1 \\ \int_0^\infty R(\tau) d\tau = T_L \end{cases} \quad (2.15)$$

où  $T_L$  est le temps lagrangien de corrélation.  $T_L$  représente le temps caractéristique des plus gros tourbillons de l'écoulement. Il peut être exprimé comme le rapport  $\lambda_L / \sigma_u$  entre la taille de ces tourbillons et la fluctuation de vitesse. Les deux relations précédentes permettent de montrer que :

$$\begin{cases} \sigma_x^2 \sim \sigma_u^2 T^2 & \text{si } T \ll T_L \\ \sigma_x^2 \sim 2\sigma_u^2 T T_L & \text{si } T \gg T_L \end{cases} \quad (2.16)$$

Pour des temps de diffusion courts, la taille de la bouffée est proportionnelle au temps  $T$ . Pour des temps de diffusion plus importants, cette taille tend à être proportionnelle à  $\sqrt{T}$ . Cela signifie que la diffusion turbulente converge à l'infini vers une diffusion de Fick. Le coefficient de diffusion  $K_x$  correspondant, relié à  $\sigma_x$  par la relation 2.10, peut alors s'exprimer sous la forme :

$$K_x = \sigma_u^2 T_L \quad (2.17)$$

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

Par contre au voisinage de la source (lorsque  $T \ll T_L$ ), il apparaît que  $K_x$  devient dépendant du temps écoulé entre l'instant du rejet et l'instant considéré. Ce constat pose un problème important dans la résolution de l'équation d'advection-diffusion. En effet, si l'on imagine deux rejets successifs à des instants différents, il n'y a plus unicité du coefficient de diffusion turbulente à un instant donné. Toutes les méthodes eulériennes, basées sur l'utilisation d'un coefficient de diffusion qui ne dépend que des caractéristiques de l'écoulement, ne sont donc pas adaptées à la modélisation de la dispersion turbulente au voisinage des sources. Nous verrons au paragraphe 2.3 qu'il est préférable, au voisinage de la source, d'utiliser des approches lagrangiennes ou gaussiennes, dans lesquelles chaque rejet est traité séparément.

On peut remarquer que les coefficients  $K_i$  et  $\sigma_i$  dans la direction  $i$  sont fonction de l'écart-type des vitesses dans cette même direction. Or dans la plupart des écoulements turbulents, les fluctuations de vitesse ne sont pas isotropes, c'est-à-dire que les écarts-types dans les trois directions de l'espace sont différents. En particulier, on sait que, dans l'atmosphère, les fluctuations de vitesse verticale peuvent être supérieures ou inférieures aux fluctuations horizontales, selon l'état de stabilité thermique. L'anisotropie de la turbulence induit donc une anisotropie de la dispersion turbulente (on rappelle que la diffusion moléculaire est par essence isotrope).

Pour interpréter le comportement asymptotique des paramètres de diffusion, il est intéressant d'effectuer une analyse spectrale. Considérons le spectre d'énergie turbulente  $F(n)$ , transformée de Fourier du coefficient d'autocorrélation  $R(t)$  :

$$R(t) = \int_0^{\infty} F(n) \cos(2\pi n t) dn \quad (2.18)$$

$F(n)$  représente la quantité d'énergie cinétique portée par chaque taille de tourbillon. En introduisant l'équation précédente dans l'équation de Taylor, on obtient après quelques calculs une décomposition spectrale de l'écart-type  $\sigma_x$  :

$$\sigma_x^2 = \sigma_u^2 T^2 \int_0^{\infty} F(n) \frac{[\sin(\pi n t)]^2}{[\pi n t]^2} dn \quad (2.19)$$

On constate dans cette décomposition que le spectre d'énergie des tourbillons de l'écoulement est pondéré par la fonction représentée sur la Figure 6. Cette fonction constitue un filtre passe-bas dont la fréquence de coupure varie en  $1/T$ . Cela signifie que tous les tourbillons de l'écoulement ne contribuent pas de façon équivalente à la dispersion. Ainsi, ce sont les tourbillons les plus gros qui agissent le plus sur la dispersion. De plus, la fréquence de coupure évolue au cours du temps, c'est-à-dire au fur et à mesure que la bouffée grossit. Cette propriété permet d'expliquer les comportements asymptotiques de  $\sigma_x$ . Lorsque la bouffée est petite, l'ensemble du spectre de la turbulence agit pour disperser le polluant si bien que l'évolution de  $\sigma_x$  est rapide ( $\propto T$ ). Plus la bouffée grossit, moins il existe de tourbillons suffisamment gros pour pouvoir agir sur sa taille. L'évolution de  $\sigma_x$  tend alors à se ralentir ( $\propto \sqrt{T}$ ).

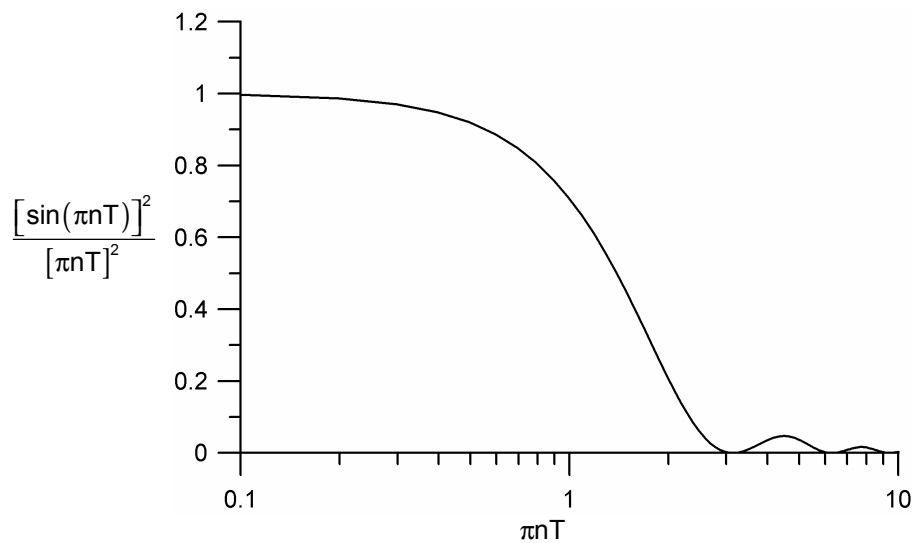


Figure 6 : Fonction de pondération qui détermine la portion du spectre d'énergie turbulente qui contribue à la dispersion.

Les principaux résultats obtenus précédemment sont donc :

- Les paramètres turbulents qui contrôlent  $K_i$  et  $\sigma_i$  sont principalement la fluctuation de vitesse  $\sigma_{ui}$  (dans la direction  $i$ ) et la dimension caractéristique des plus gros tourbillons de l'écoulement.
- L'anisotropie de la turbulence induit une anisotropie de la dispersion turbulente.
- La notion de coefficient de diffusivité turbulente  $K_i$  perd toute signification au voisinage du rejet.
- Pour des temps de diffusion important,  $K_i$  est une constante qui dépend uniquement des propriétés turbulentes de l'écoulement (relation 2.17).
- L'écart-type  $\sigma_i$  est proportionnel à  $T$  au voisinage du rejet et à  $\sqrt{T}$  pour des temps plus importants.
- Ce sont les plus gros tourbillons qui contribuent le plus à la dispersion turbulente.

A ce stade, il est nécessaire d'éclaircir quelques paradoxes. Le premier paradoxe est que nous avons introduit l'équation 2.7 comme une forme moyennée au cours du temps de l'équation d'advection-diffusion alors que la solution gaussienne que nous avons proposée (équation 2.9) dépend elle-même du temps. Le second paradoxe est qu'au paragraphe 2.1.4, nous avons indiqué que les plus gros tourbillons contribuaient à l'advection des polluants alors que nous venons de conclure ci-dessus qu'ils sont prépondérants dans la dispersion turbulente. Les deux paradoxes relèvent tous les deux d'une des principales difficultés que l'on rencontre dans l'interprétation de la dispersion turbulente. Cette difficulté porte sur la définition et l'interprétation d'une moyenne dans un processus qui dépend fortement du temps.

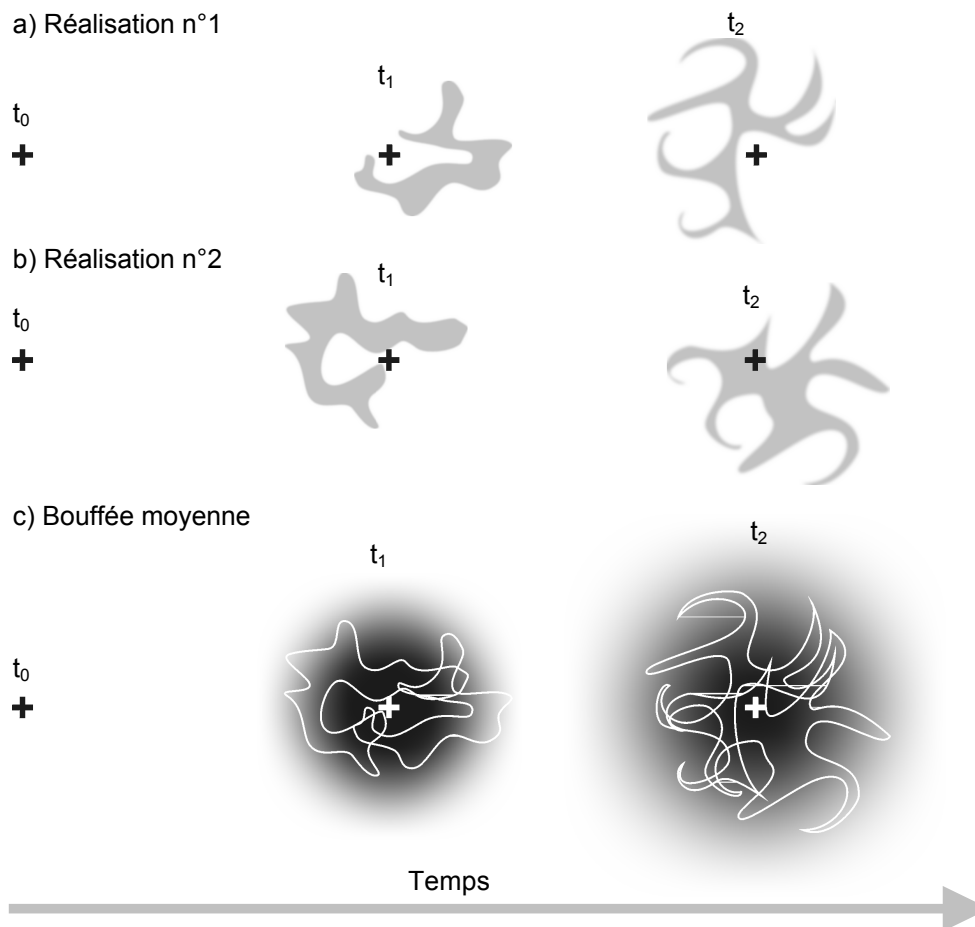


Figure 7 : Dispersion turbulente d'un rejet ponctuel instantané dans un écoulement turbulent sans vitesse moyenne, à trois instants successifs ( $t_0$  est l'instant du rejet). a) et b) représentent deux réalisations particulière de la dispersion. c) illustre la dispersion moyenne, au sens de la moyenne sur l'ensemble des réalisations possibles.

Pour expliquer le problème, revenons sur le cas d'un rejet ponctuel instantané dans un écoulement turbulent sans vitesse moyenne. Si l'on réalise cette expérience et que l'on observe l'évolution du nuage de polluants au cours du temps, il est certain que l'on n'obtiendra jamais une distribution gaussienne telle qu'elle est prévue par l'équation 2.9 ou 2.11. L'allure de l'évolution du nuage ressemblera à ce qui est illustré sur la Figure 7-a. Si l'on refait l'expérience une deuxième fois, sans changer le protocole expérimental, non seulement on n'observera pas d'évolution gaussienne mais l'évolution sera de surcroît différente de la fois précédente (exemple de la Figure 7-b). Chacune de ces expériences, que l'on pourrait reproduire à l'infini, constitue ce que l'on appelle une *réalisation* de l'écoulement. Chaque réalisation est différente, en raison du caractère "aléatoire" de la turbulence. Du point de vue de la modélisation, il semble impossible de reproduire précisément une réalisation particulière puisque l'expérimentateur lui-même ne saurait dire ce qui distingue ses deux expériences. Pour s'affranchir de ce problème, on s'intéressera donc plutôt à la notion de *moyenne d'ensemble*. La moyenne d'ensemble est définie comme la moyenne de toutes les réalisations que l'on obtiendrait si l'on effectuait la même expérience à l'infini. Dans l'exemple de la Figure 7, le nuage moyen obtenu de cette façon prend alors une forme gaussienne, très bien décrite par l'équation 2.11 (voir Figure 7-c). En considérant que l'équation 2.7 constitue une moyenne d'ensemble de l'équation 2.5, il apparaît alors naturel que la solution de cette équation soit une concentration moyenne qui évolue au cours du temps. En particulier, la solution gaussienne, obtenue au paragraphe 2.2.2, constitue donc une moyenne d'ensemble sur toutes les réalisations possibles de l'écoulement.

L'explication précédente est loin d'être anodine lorsque l'on souhaite comparer à des mesures de terrain les résultats d'un modèle de dispersion qui fournit des concentrations moyennes (à l'exception des modèles ayant une option spécifique pour le calcul des fluctuations, tous les modèles de dispersion disponibles sur le marché ne fournissent que des concentrations moyennes, au sens d'une moyenne d'ensemble !). En effet, un rejet de polluants sur un site réel constitue par définition une expérience unique, que l'on peut assimiler à une réalisation. Lorsque l'on compare des mesures à un modèle, on peut donc s'attendre, au pire, à observer des différences similaires à celles que l'on a entre les Figure 7-a et Figure 7-c. Cela ne provient pas de la qualité du modèle mais simplement du fait que l'on compare des grandeurs différentes. Cette idée a longtemps été ignorée dans la validation des modèles de dispersion. Aujourd'hui, elle n'est encore que rarement prise en compte (Irwin, 1999).

Dans le cas d'un rejet continu dans un écoulement stationnaire en moyenne, la moyenne d'ensemble de la concentration devient indépendante du temps. Il est possible de démontrer que dans ce cas, la moyenne temporelle et la moyenne d'ensemble sont équivalentes (hypothèse d'ergodicité).

Afin de lever le second paradoxe, décrivons brièvement une réalisation particulière de la dispersion, illustrée sur la Figure 7-a. A l'instant  $t_1$ , le nuage de polluants a une forme complexe, due à l'effet de tous les tourbillons de l'écoulement. Pour caractériser ce nuage instantané, on peut définir la position  $\mathbf{x}_m$  de son centre de masse et les écarts-types  $\sigma_{ir}$  de la distribution de concentration. A priori, le centre de masse ne coïncide pas avec la position  $\mathbf{x}_0$  du rejet. On constate qu'il se déplace au cours du temps et que la trajectoire est différente d'une réalisation à l'autre. Lorsque, à un instant donné, on effectue une moyenne d'ensemble de toutes les réalisations possibles du nuage, il apparaît que l'étalement du nuage moyen résulte de la somme de deux contributions :

- La distribution statistique des centres de masse de chaque réalisation, autour de la position  $\mathbf{x}_0$  du rejet. Les écarts-types de cette distribution sont notés  $\sigma_{im}$ . L'effet est appelé *diffusion du centre de masse*.
- Les écarts-types moyens  $\sigma_{ir}$  de tous les nuages instantanés par rapport à leur centre de masse. Les  $\sigma_{ir}$  représentent la *diffusion relative*.

La diffusion moyenne dans la direction  $i$  peut alors s'exprimer comme la somme de la diffusion du centre de masse et de la diffusion relative :

$$\sigma_i^2 = \sigma_{im}^2 + \sigma_{ir}^2 \quad (2.20)$$

L'influence de la turbulence sur les deux mécanismes précédents n'est pas la même. Le déplacement du centre de masse est principalement affecté par les tourbillons plus gros que le nuage instantané. En effet, le déplacement du centre de masse peut être vu comme une advection du nuage instantané. Comme nous l'avons évoqué au paragraphe 2.1.4, cette advection est réalisée par les grosses structures. Au contraire, la diffusion relative est due à des tourbillons de taille comparable ou plus petite que le nuage instantané car c'est par la distorsion du nuage que s'effectue cette diffusion. Quant à la diffusion moyenne (ou diffusion totale), qui résulte de la superposition de l'ensemble de ces effets, nous avons montré au début de ce paragraphe qu'elle était due majoritairement aux plus gros tourbillons. Lorsque le nuage est petit (au voisinage du rejet), les gros tourbillons contribuent à la diffusion du centre de masse, qui est alors prépondérante puisqu'il n'y a quasiment pas de tourbillons assez petits (par rapport à la bouffée) pour créer de la diffusion relative. Lorsque le nuage est plus gros que tous les tourbillons de l'écoulement, la diffusion du centre de masse devient négligeable. Tous les tourbillons contribuent à la diffusion relative mais, comme nous l'avons montré au paragraphe 2.1.4, ce sont les tourbillons dont la dimension est la plus proche de celle du nuage (donc, une fois encore, les plus gros) qui y contribuent le plus.

#### 2.2.4. FLUCTUATIONS DE CONCENTRATION

Dans plusieurs situations particulières, il est nécessaire de connaître non seulement les valeurs moyennes mais également les fluctuations de concentration liées à un rejet de polluants dans un écoulement (problème d'odeurs, dépassement de seuils d'inflammabilité ou d'explosion, dose perçue par les organismes vivants).

La notion de fluctuation peut se définir de façon intuitive en observant le signal temporel d'évolution de la concentration mesurée à un endroit donné dans un panache. Si le rejet est effectué de façon uniforme dans un écoulement turbulent stationnaire, il est possible de calculer une moyenne temporelle de la concentration mesurée et de définir la fluctuation comme l'écart entre la valeur instantanée et la valeur moyenne. On peut également définir une fonction densité de probabilité  $p(c,x,y,z)$ , qui exprime la probabilité d'observer la concentration  $c$  au point de coordonnées  $(x,y,z)$ . Cette définition de la fluctuation est facile à interpréter mais elle n'est malheureusement pas généralisable à des écoulements instationnaires ou à des rejets instantanés car la notion de concentration moyenne intègre alors les variations des conditions de la vitesse ou des conditions du rejet. La fluctuation, définie comme un écart par rapport à la moyenne temporelle, n'a alors plus vraiment de signification et il est nécessaire d'introduire une définition plus générale.

Dans le cas d'un écoulement instationnaire ou d'un rejet évolutif, nous utiliserons la notion de moyenne d'ensemble. La fluctuation (que l'on appellera fluctuation d'ensemble pour la distinguer de la fluctuation temporelle) est alors définie comme l'écart entre la valeur  $c(x,y,z,t)$  obtenue pour une réalisation et la valeur moyenne  $\bar{c}(x,y,z,t)$ . Il est important de noter que la moyenne d'ensemble, et donc la fluctuation, ne peut être accessible par la mesure que dans le cas d'un rejet reproductible (expérience en laboratoire) ou stationnaire. Dans ce dernier cas, on utilisera une hypothèse d'ergodicité pour assimiler la moyenne temporelle à la moyenne d'ensemble et les fluctuations temporelles à des fluctuations par rapport à cette moyenne.

Dans le cas d'un rejet instationnaire et non reproductible (qui sera souvent le cas d'un rejet dans l'atmosphère), on ne peut observer par la mesure qu'une seule réalisation du rejet et on ne peut donc pas en déduire de moyenne ni de fluctuations d'ensemble. Les éventuelles variations de concentration au cours du temps ne sont donc pas des fluctuations au sens où nous l'avons défini. Par contre, une connaissance des fluctuations d'ensemble (en particulier la densité de probabilité de ces fluctuations) permet de quantifier l'écart possible entre la moyenne d'ensemble que fournit un modèle de dispersion et la valeur réellement observée. On peut interpréter cela comme une estimation de l'erreur ou de l'incertitude du modèle même si, en réalité, il ne s'agit pas d'une erreur mais d'un écart, intrinsèque à la comparaison entre un modèle de concentration moyenne (aussi performant soit-il) et des valeurs instantanées.

Intéressons-nous maintenant aux fluctuations d'ensemble ressenties par un observateur fixe situé à un endroit donné de l'écoulement. Deux mécanismes conduisent à ce que l'observateur ressent des concentrations différentes d'une réalisation à l'autre :

- Le déplacement du centre de masse de la bouffée instantanée, qui expose de façon intermittente l'observateur à la concentration de la bouffée. Cet effet est lié à la diffusion du centre de masse et sera prépondérant pour des temps courts, lorsque la bouffée est petite devant l'échelle caractéristique des plus grosses structures turbulentes.
- La répartition instantanée de la concentration au sein même de la bouffée. Cette répartition dépend de la diffusion relative de la bouffée si bien que cet effet sera prépondérant pour des temps de diffusion importants.

Dans le cas d'un rejet ponctuel continu dans un écoulement uniforme, ces deux mécanismes sont illustrés sur la Figure 8. Il apparaît clairement qu'au voisinage de la source, les fluctuations en un point sont essentiellement dues au déplacement du centre de masse du panache alors que plus en aval, cet effet diminue et laisse apparaître la diffusion relative interne au panache. Notons bien que la diffusion relative est généralement aussi importante près de la source qu'à des distances plus grandes mais elle est masquée à ce niveau par l'effet prépondérant de la diffusion du centre de masse.

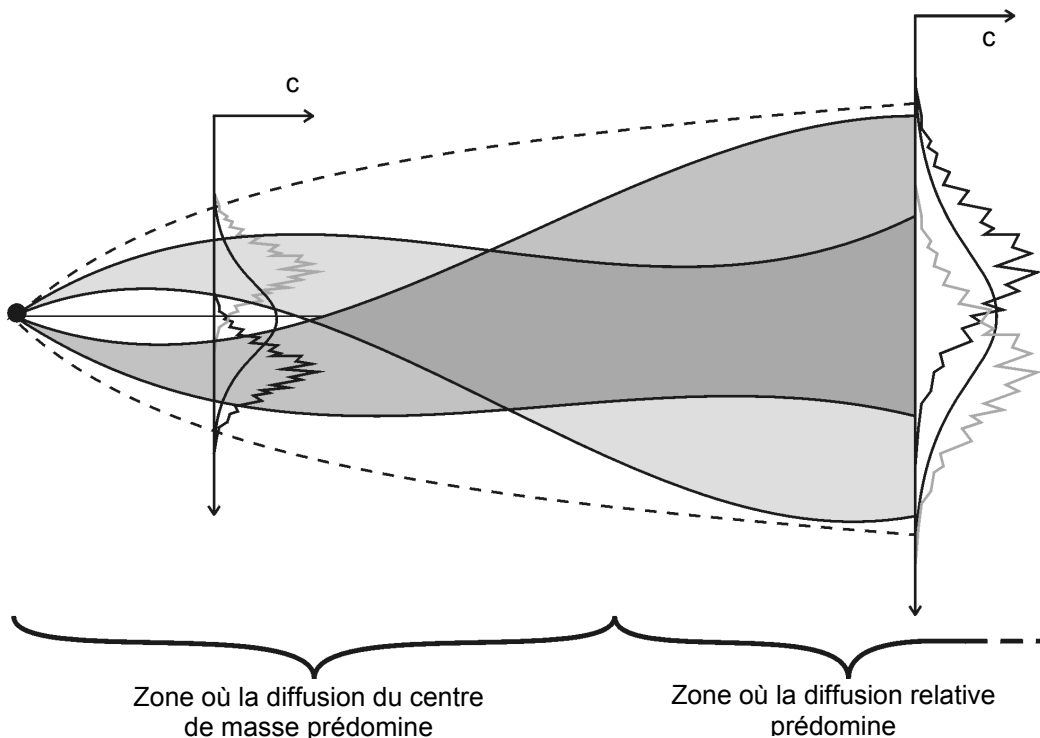


Figure 8 : Diffusion relative et diffusion du centre de masse dans le cas d'un rejet ponctuel continu dans un écoulement uniforme. Les panaches gris clair et gris foncé représentent deux réalisations de la dispersion dans cet écoulement. La diffusion totale pour un grand nombre de réalisations est symbolisée par l'enveloppe en pointillés. Les profils transversaux représentent les variations de concentration au sein du panache. La courbe gaussienne noire indique la moyenne d'ensemble.

A partir de cette description du mécanisme d'apparition des fluctuations, il est possible d'exprimer la densité de probabilité  $p(c, x, y, z, t)$  d'observer la concentration  $c$  à l'instant  $t$  et au point de coordonnées  $(x, y, z)$  sous la forme :

$$p(c, x, y, z, t) = \iiint p_r(c, x - x_m, y - y_m, z - z_m, t) p_m(x_m, y_m, z_m, t) dx_m dy_m dz_m \quad (2.21)$$

où  $p_r$  représente la densité de probabilité d'une concentration  $c$  au sein d'une bouffée instantanée ( $p_r$  exprime le mécanisme de diffusion relative), et  $p_m$  la densité de probabilité qu'à l'instant  $t$ , le centre de masse de la bouffée soit situé au point de coordonnées  $(x_m, y_m, z_m)$ . Le moment d'ordre  $n$  de la distribution de concentration s'écrit alors :

$$\overline{c^n}(x, y, z, t) = \int c^n \cdot p(c, x, y, z, t) dc = \iiint \overline{c_r^n}(x - x_m, y - y_m, z - z_m, t) p_m(x_m, y_m, z_m, t) dx_m dy_m dz_m \quad (2.22)$$

$$\text{avec} \quad \overline{c_r^n}(x, y, z, t) = \int c^n \cdot p_r(c, x, y, z, t) dc \quad (2.23)$$

qui est le moment d'ordre  $n$  de la distribution de concentration dans la bouffée instantanée. Dans la suite, on s'intéressera principalement à l'écart-type  $\sigma_c$  des fluctuations, qui peut se mettre sous la forme :

$$\sigma_c = \sqrt{c^2 - \bar{c}^2} \quad (2.24)$$

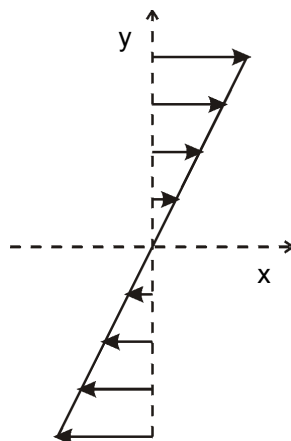
### 2.2.5. INFLUENCE D'UN GRADIENT DE VITESSE MOYENNE

Dans les paragraphes précédents, nous nous sommes essentiellement intéressés au cas d'un écoulement turbulent sans vitesse moyenne ou, par extension, au cas d'un écoulement uniforme. Lorsque l'écoulement moyen n'est pas uniforme, les gradients de vitesse conduisent à une distorsion du panache de polluants. Ce comportement est illustré sur la Figure 9.



Figure 9 : Illustration de l'effet d'un gradient de vitesse sur la dispersion d'une bouffée de polluants. Les figures de gauche à droite représentent les formes successives d'une bouffée de polluants initialement circulaire.

Dans l'atmosphère, la présence du sol induit un gradient vertical de la vitesse horizontale du vent qui peut conduire à ce genre de distorsion. Afin de mieux comprendre les effets du cisaillement sur la dispersion, considérons un gradient de vitesse linéaire décrit par la relation 2.25 et illustré sur la Figure 10.



$$\frac{\partial U}{\partial y} = \eta = \text{constante} \quad (2.25)$$

Figure 10 : Gradient de vitesse linéaire.

#### 2.2.5.1. Diffusion par advection (sans diffusion turbulente)

L'effet principal du cisaillement est de renforcer la diffusion des polluants dans la direction  $x$  normale au gradient de vitesse. Pour mettre ce phénomène en évidence, nous allons considérer une bouffée gaussienne de polluants, de dimensions initiales  $\sigma_{x0}$ ,  $\sigma_{y0}$  et  $\sigma_{z0}$ , placée à l'instant  $t_0$  dans un champ de vitesse non turbulent décrit par l'équation 2.25. Le centre de la bouffée est placé dans le plan  $y = 0$  où la vitesse est nulle, pour s'affranchir des effets d'advection. Si l'on néglige la diffusion moléculaire, on observera un étirement de la bouffée par le champ de vitesse, comme cela est illustré sur la Figure 11.



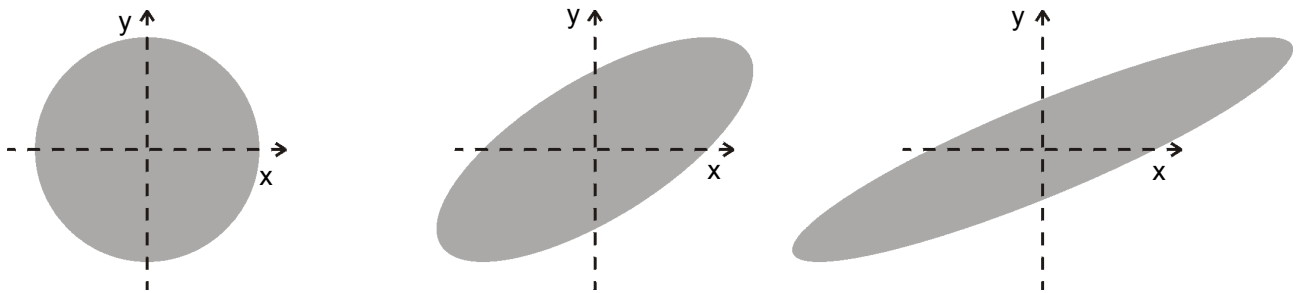


Figure 11 : Influence d'un gradient de vitesse linéaire sur l'étalement d'une bouffée de polluants, en l'absence de diffusion moléculaire et de turbulence.

Si l'on calcule les écarts-types de la distribution de concentration à l'instant  $t$ , on peut montrer que :

$$\begin{cases} \sigma_x^2 = \sigma_{x0}^2 + \eta^2 (t - t_0)^2 \sigma_{y0}^2 \\ \sigma_y^2 = \sigma_{y0}^2 \\ \sigma_z^2 = \sigma_{z0}^2 \end{cases} \quad (2.26)$$

La distribution de concentration correspondante est décrite par :

$$\bar{c} = \frac{Q}{[2\pi]^{3/2} \sigma_{x0} \sigma_{y0} \sigma_{z0}} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{[x - \eta y (t - t_0)]^2}{\sigma_{x0}^2} + \frac{y^2}{\sigma_{y0}^2} + \frac{z^2}{\sigma_{z0}^2} \right) \right] \quad (2.27)$$

Ces résultats confirment les comportements auxquels on pouvait s'attendre intuitivement :

- En l'absence de turbulence, les écarts-types dans les directions transversales ne sont pas modifiés.
- L'écart-type dans la direction  $x$  augmente en raison du cisaillement.
- L'accroissement de  $\sigma_x$  est d'autant plus important que la bouffée est initialement étalée dans la direction du gradient (dimension  $\sigma_{y0}$ ).
- Pour des temps importants ( $t - t_0 \gg 1/\eta$ ), l'effet du cisaillement peut devenir prépondérant devant la dimension initiale de la bouffée.

### 2.2.5.2. Couplage entre l'advection et la diffusion turbulente

Dans la réalité, l'effet du cisaillement interagit avec la diffusion turbulente. En effet, l'équation 2.26 a mis en évidence le rôle de la dimension transversale de la bouffée ( $\sigma_y$ ) sur son étalement longitudinal par le cisaillement. Si l'écart-type  $\sigma_y$  augmente par diffusion turbulente, la dispersion par cisaillement s'en trouvera renforcée.

Dans le cas d'un rejet ponctuel instantané dans le plan  $y = 0$ , on peut montrer (Corrsin, 1953 ; Tennekes et Lumley, 1973) que pour des temps de diffusion importants, les écarts-types de la bouffée sont décrit par :

$$\begin{cases} \sigma_x^2 \approx \frac{2}{3}\eta^2 K_y t^3 = \frac{1}{3}\eta^2 t^2 \sigma_y^2 \\ \sigma_y^2 = 2K_y t \\ \sigma_z^2 = 2K_z t \end{cases} \quad \text{pour } t \gg 1/\eta \quad (2.28)$$

On retrouve pour  $\sigma_x$  une expression analogue à 2.26, avec un facteur 1/3 qui provient de l'évolution de  $\sigma_y$  en fonction du temps. La distribution de concentration correspondante est décrite par :

$$\bar{c} = \frac{Q}{[2\pi]^{3/2} \frac{\eta t}{2\sqrt{3}} \sigma_y^2 \sigma_z} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{\left[ \frac{x - \eta t y}{2} \right]^2}{\left[ \frac{\eta t \sigma_y}{2\sqrt{3}} \right]^2} + \frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{z^2}{\sigma_z^2} \right) \right] \quad (2.29)$$

La bouffée a alors la forme d'une ellipse inclinée selon un axe principal de coefficient directeur  $\sqrt{3}/(\eta t)$ . La Figure 12 illustre l'évolution de la forme de la bouffée au cours du temps.

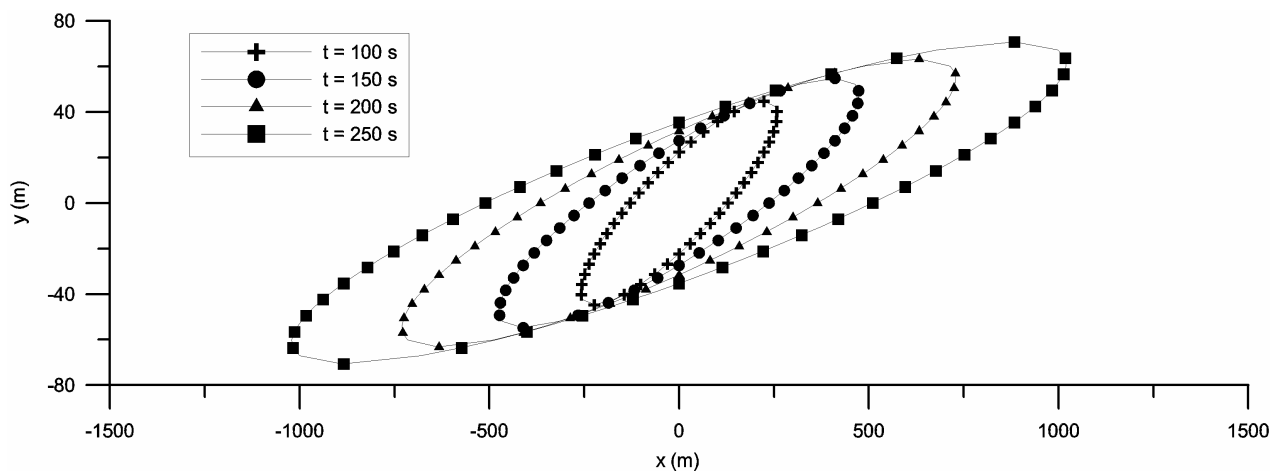


Figure 12 : Diffusion d'une bouffée de polluants dans un cisaillement linéaire ( $h = 0,1 \text{ s}^{-1}$ , diffusion normale de Doury). Les ellipses représentent les iso-concentrations  $C=C_{max} \cdot \exp(-1/2)$  à différents instants.

Les différents résultats analytiques obtenus dans le cas d'un cisaillement linéaire simple permettent de montrer que pour des temps de diffusion importants, l'effet du gradient de vitesse sur les écarts-types, et donc sur la concentration, peut être relativement important. Parmi les approches de modélisation que nous présentons au paragraphe suivant, seuls les approches gaussiennes ne prennent pas en compte explicitement le cisaillement du vent. Des techniques spécifiques ont été développées dans certains modèles gaussiens pour prendre en compte l'effet du cisaillement. Nous les évoquerons au paragraphe 2.3.1.

Dans le paragraphe suivant, nous présentons les principales approches de modélisation de la dispersion turbulente.

## 2.3. MODELISATION DE LA DISPERSION TURBULENTE

Il existe de nombreuses approches permettant de modéliser la dispersion turbulente. Elles diffèrent par les hypothèses théoriques sur lesquelles elles sont basées, par leur champ d'application, par leur facilité de mise en œuvre (données nécessaires, temps de calcul, ...). Pour présenter ces approches, nous les avons classés en quatre catégories : les modèles gaussiens, les modèles lagrangiens, les modèles eulériens et la modélisation physique en laboratoire. Il peut paraître surprenant d'intégrer les expériences en laboratoire dans les techniques de modélisation. Nous montrerons cependant que les approches en soufflerie ou en veine hydraulique sont bel et bien des modélisations, basées sur des hypothèses, utilisant des techniques spécifiques et ayant, comme tout modèle, des avantages et des inconvénients. Les quatre grandes approches de modélisation sont détaillées dans les paragraphes suivants

### 2.3.1. MODELES GAUSSIENS

Les modèles gaussiens sont des modèles semi-analytiques, basés sur la solution 2.11 de l'équation d'advection-diffusion et sur ses formes dérivées, fournies en annexe 1. On distingue en pratique deux types de modèles gaussiens : les modèles de panache et les modèles à bouffées. Nous allons décrire successivement ces deux modèles. Puis nous présentons un certain nombre de caractéristiques communes aux deux approches, concernant plus particulièrement la paramétrisation des écarts-types, l'interaction avec une paroi, la prise en compte d'un gradient de vitesse, la modélisation des fluctuations. Enfin, nous synthétisons les avantages et les inconvénients de ce type de modèles.

#### 2.3.1.1. *Modèle de panache gaussien*

Le modèle de panache gaussien est basé simplement sur la solution analytique 8.17, ou plus souvent sur sa forme simplifiée 8.18 que nous rappelons ici :

$$\bar{c}(x,y,z) = \frac{Q}{2\pi U \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{z^2}{\sigma_z^2}\right)\right] \quad (2.30)$$

Le modèle de panache gaussien permet de traiter la dispersion d'un rejet ponctuel continu, de débit  $Q$  constant au cours du temps, dans un écoulement où la vitesse  $U$  est uniforme. L'allure de la distribution de concentration, dans un plan parallèle au vent et passant par la source, est représentée sur la Figure 13.

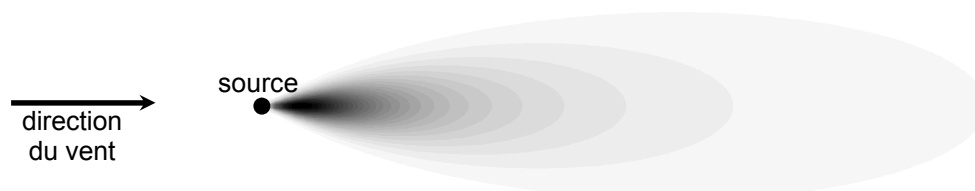


Figure 13 : Panache gaussien.

Outre le débit de la source qui est supposé connu, les paramètres à fournir au modèle sont la vitesse  $U$  et les écarts-types  $\sigma_y$  et  $\sigma_z$  dans les directions transversales et verticales. La détermination de la vitesse  $U$  ne pose un problème que dans l'hypothèse où l'on souhaite utiliser le modèle alors que l'écoulement n'est pas uniforme. Il est alors nécessaire de déterminer une

vitesse représentative de l'advection du panache. Des méthodes adaptées sont présentées au paragraphe 2.3.1.5. La paramétrisation des écarts-types est évoqué au paragraphe 2.3.1.3.

### 2.3.1.2. *Modèle de bouffées gaussiennes*

Dans une situation plus complexe, il est fréquent que le champ de vitesse et les quantités de polluants rejetées varient au cours du temps. Pour décrire la dispersion des polluants dans une telle situation, la solution simple de l'équation 2.30 n'est pas adaptée et il est nécessaire de développer une approche plus complète. Dans un modèle à bouffées, l'approche utilisée consiste à discrétiser le rejet de polluants comme une succession de rejets instantanés. Chacun de ces rejets est modélisé par une bouffée gaussienne qui diffuse au cours du temps (relation 2.11). Le centre de masse de chaque bouffée est advecté par le champ de vitesse, qui est supposé uniforme à chaque instant mais qui évolue au cours du temps. A un instant donné, la concentration en un point de l'espace est obtenue en ajoutant les contributions de toutes les bouffées émises depuis le début du rejet. Le principe de ce type de modèle est schématisé sur la Figure 14.

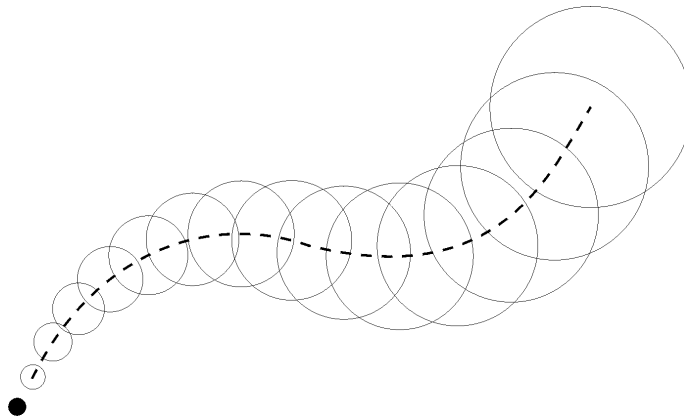


Figure 14 : Principe d'un modèle de dispersion par bouffées gaussiennes. Le rond noir représente la position du rejet. Les cercles illustrent les positions des différentes bouffées utilisées pour discrétiser le panache

Le choix du pas de temps utilisé pour discrétiser le rejet doit être ajusté afin de reproduire correctement :

- La cinétique d'évolution du rejet.
- La cinétique d'évolution des conditions météorologiques.
- Le recouvrement des bouffées de sorte que le panache ait un aspect "continu".

Le schéma numérique utilisé pour la phase d'advection des bouffées dépend des données météorologiques disponibles (données continues ou discrétisées par pas de temps). Il n'est en général pas nécessaire de mettre en œuvre des schémas trop complexes, compte tenu des nombreuses hypothèses déjà faites par ailleurs. Le schéma le plus simple consiste à supposer que la vitesse est constante durant chaque pas de temps et que la position de la bouffée peut être obtenue par le schéma d'advection :

$$\mathbf{x}(t + \Delta t) = \mathbf{x}(t) + \mathbf{U}(t) \cdot \Delta t \quad (2.31)$$

Dans le cas d'un écoulement réel non uniforme, le choix de la vitesse d'advection est une étape importante. Nous reviendrons sur ce point au paragraphe 2.3.1.5. La phase de diffusion des bouffées est basée sur les paramétrisations empiriques ou théoriques des écarts-types évoquées au paragraphe 2.3.1.3.

### 2.3.1.3. Paramétrisation des écarts-types $\sigma_i$

L'évolution des écarts-types  $\sigma_i$  suit généralement des lois, basées sur des principes théoriques (tels que ceux résumés au paragraphe 2.2.3) et sur des relations empiriques. Selon les modèles, le calcul des  $\sigma_i$  est effectué à partir du temps de transit  $t$  de la bouffée depuis la source ou à partir de la distance parcourue  $x$ . Compte tenu de la spécificité des écarts-types dans le cas atmosphérique, il est inutile de présenter des formulations générales. Les lois de  $\sigma_i$  utilisées pour l'atmosphère sont présentées aux paragraphes 4.1.3 et 4.2.2.

### 2.3.1.4. Interaction avec une paroi

Dans la plupart des écoulements, il est nécessaire de prendre en compte la présence d'une paroi solide qui limite la diffusion des polluants et qui peut générer des phénomènes de dépôt (dans l'atmosphère, cela permettra de traiter la présence du sol). Par défaut, le concept des modèles gaussiens n'intègre pas les parois et il faut donc utiliser un artifice de modélisation pour traiter leur présence. Etant donné que les modèles gaussiens supposent un écoulement uniforme à chaque instant, il paraît naturel de ne s'intéresser qu'à des parois planes, parallèles à la direction du vent.

Le premier effet qu'il est important de modéliser est l'absence de diffusion des polluants à travers le plan solide. Pour cela, l'approche couramment utilisée consiste à introduire une source virtuelle, image de la source réelle par réflexion par rapport à la paroi. Par symétrie, la présence de cette source génère un gradient de concentration nul, et donc un flux nul à travers la paroi. Lorsque la diffusion s'effectue entre deux parois parallèles (par exemple le sol et le sommet de la CLA), la méthode des images conduit à introduire une infinité de sources images pour garantir un flux nul sur les deux parois (cf. Figure 15). Cette méthode est applicable à un modèle de panache ou à un modèle à bouffées.

Dans le cas du modèle à bouffées, la distribution de concentration associée à une bouffée et à ses images par rapport à deux parois parallèles (plan  $z = 0$  et  $z = h$ ) peut s'exprimer sous la forme :

$$\bar{c}(x, y, z) = \frac{Q}{[2\pi]^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{(x-x_0)^2}{\sigma_x^2} + \frac{(y-y_0)^2}{\sigma_y^2} \right) \right] \times FR(z) \quad (2.32)$$

avec la fonction de forme FR, qui fait intervenir une série infinie :

$$FR(z) = \exp \left[ -\frac{1}{2} \frac{(z-z_0)^2}{\sigma_z^2} \right] + \exp \left[ -\frac{1}{2} \frac{(z+z_0)^2}{\sigma_z^2} \right] + \sum_{i=1}^{+\infty} \left[ \exp \left[ -\frac{1}{2} \frac{(z+2i.h-z_0)^2}{\sigma_z^2} \right] + \exp \left[ -\frac{1}{2} \frac{(z+2i.h+z_0)^2}{\sigma_z^2} \right] \right. \\ \left. + \exp \left[ -\frac{1}{2} \frac{(z-2i.h-z_0)^2}{\sigma_z^2} \right] + \exp \left[ -\frac{1}{2} \frac{(z-2i.h+z_0)^2}{\sigma_z^2} \right] \right] \quad (2.33)$$

D'un point de vue numérique, il est évident qu'il est nécessaire, pour limiter le temps de calcul, de tronquer la série afin de ne conserver qu'un nombre  $N$  de termes, en s'assurant que la série a suffisamment convergé avec ces  $N$  termes. En pratique, des valeurs de  $N = 1$  ou  $N = 2$  sont généralement suffisantes.

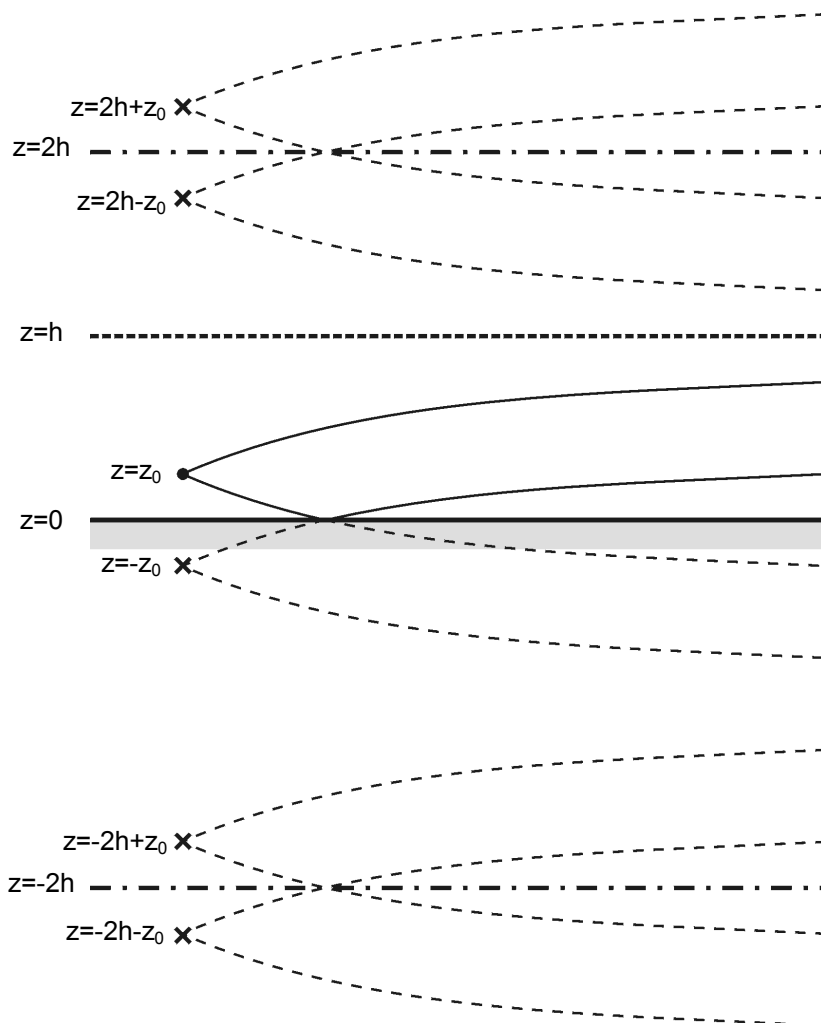


Figure 15 : Exemple de la méthode des images pour la prise en compte des réflexions au sol et au sommet de la couche limite atmosphérique. Seules les 6 premières sources sont représentées.

Lorsque l'espèce transportée est susceptible de réagir ou de se déposer sur la paroi solide, le nuage de polluants s'appauvrit par déposition au fur et à mesure de sa progression. Pour modéliser correctement les concentrations, il est nécessaire d'en tenir compte en diminuant la quantité de polluants transportés par le nuage. Il existe pour cela deux méthodes :

- **Méthode d'appauvrissement à la source** : cette méthode consiste à supposer que l'appauvrissement en polluants s'effectue de façon homogène sur l'ensemble de la bouffée.
- **Méthode de réflexion partielle** : dans la réalité, le déficit de concentration dans la bouffée se manifeste principalement au voisinage de la paroi puisque c'est là que le polluant est prélevé pour être déposé. Pour décrire correctement cet effet, il existe une autre méthode qui consiste à utiliser la méthode des images en ne faisant qu'une réflexion partielle de la bouffée au niveau du sol, pour tenir compte de la quantité déposée.

### 2.3.1.5. *Prise en compte d'un gradient de vitesse*

La modélisation de la dispersion par panache ou par bouffées gaussiennes fait intervenir quatre variables liées à l'écoulement : la vitesse  $U$  et les trois écarts-types de diffusion  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  et  $\sigma_z$ . Dans l'hypothèse où l'écoulement n'est pas uniforme sur toute la dimension du nuage, ce qui est en particulier le cas lorsqu'il existe un gradient transversal de vitesse, il est nécessaire soit d'adopter une méthodologie permettant de déterminer les quatre paramètres évoqués précédemment, soit de se ramener à des conditions où l'écoulement est homogène sur la taille d'une bouffée (en effectuant par exemple un découpage des bouffées). Pour cela, nous aborderons tout d'abord le problème de la détermination de la vitesse  $U$ , puis le problème de la détermination des écarts-types, et enfin les techniques de découpage des bouffées.

#### *Vitesse effective d'advection du panache*

La détermination de la vitesse à utiliser dans les relations 2.30 ou 2.31 est certainement l'un des premiers problèmes que l'on rencontre lorsque l'on souhaite utiliser un modèle de panache ou de bouffées gaussiennes. En effet, même lorsque l'on se place sur un terrain plat de rugosité uniforme avec un vent de direction constante, il existe un gradient vertical de vitesse associé au développement d'une couche limite sur le sol. Il est donc essentiel de déterminer une vitesse effective de déplacement d'un panache ou d'une bouffée. Afin de comprendre les implications physiques de la notion de vitesse effective, nous allons décrire successivement les trois principales méthodes que l'on rencontre dans la littérature pour exprimer la vitesse d'advection.

- ***Vitesse de la particule passant par la source***

L'approche la plus simple pour décrire la vitesse effective consiste à supposer que le centre de masse du nuage se déplace à la même vitesse et suit la même trajectoire que la particule de fluide passant par la source à l'instant du rejet. Cette approche, utilisée dans la plupart des modèles gaussiens, s'avère cependant fortement erronée lorsque le rejet est situé à proximité d'une paroi où la vitesse est nulle. Lorsque le rejet est situé exactement sur la paroi, la vitesse d'advection obtenue par cette méthode est nulle. Ce résultat est bien évidemment en contradiction avec la réalité. En effet, dans la pratique, le panache diffuse loin de la paroi et se trouve alors transporté par l'écoulement à une vitesse supérieure à zéro.

- ***Vitesse de l'écoulement au centre de masse de la bouffée***

Afin d'éviter les problèmes évoqués précédemment, il est possible d'utiliser une autre approche basée sur la détermination du centre de masse de la bouffée ou du panache. Elle consiste à utiliser comme vitesse d'advection  $\mathbf{U}_m$  la vitesse de l'écoulement au centre de masse de la bouffée :

$$\mathbf{U}_m = \mathbf{U}(\mathbf{x}_m) \quad \text{avec} \quad \mathbf{x}_m = \frac{\iiint \mathbf{x} \cdot \bar{c}(\mathbf{x}) d\mathbf{x}}{\iiint \bar{c}(\mathbf{x}) d\mathbf{x}} \quad (2.34)$$

Cette approche permet de considérer des sources sur des parois ou des effets de "réflexions" sur ces parois. L'évaluation du centre de masse (dans le cas de l'atmosphère, cela se limite souvent au calcul de la hauteur moyenne de la bouffée) est par ailleurs souvent effectuée pour calculer les paramètres de l'écoulement nécessaires à l'évaluation des écarts-types de dispersion. Cependant, dans le cas de la vitesse, cette approche n'est pas rigoureusement exacte et peut dans certains cas induire des erreurs non négligeables. C'est pourquoi nous présentons maintenant une troisième approche.

- **Vitesse de déplacement du centre de masse de la bouffée**

Au paragraphe 2.2.5, nous avons montré que la dispersion d'une bouffée dans un écoulement cisailé peut rapidement prendre des formes assez complexes lorsque la bouffée s'étend sur une zone où le champ de vitesse varie sensiblement. Dès lors, il est évident qu'il est difficile de décrire toute la complexité de ce champ à travers la seule valeur de la vitesse d'advection  $\mathbf{U}_m$ . Afin de déterminer une valeur de  $\mathbf{U}_m$  la plus représentative possible, il est important de formuler une véritable définition de la vitesse d'advection, en s'interrogeant sur les phénomènes physiques que l'on souhaite décrire à travers cette vitesse. La vitesse d'advection étant utilisée dans le processus de transport de la bouffée, il paraît assez naturel de définir  $\mathbf{U}_m$  comme la vitesse de déplacement du centre de masse de la bouffée :

$$\mathbf{U}_m = \frac{\partial \mathbf{X}_m}{\partial t} \quad (2.35)$$

où  $\mathbf{X}_m$  est la position du centre de masse, défini par l'équation 2.34. Il est important de remarquer que la définition précédente n'est pas équivalente à la définition 2.34. En effet, la vitesse de déplacement du centre de masse n'est généralement pas égale à la vitesse du fluide au centre de masse, car le centre de masse n'est pas lié à une particule fluide mais dépend de la fonction de distribution de la concentration. En introduisant l'équation 2.34 (définition de  $\mathbf{X}_m$ ) dans 2.35, on peut montrer que  $\mathbf{U}_m$  se met sous la forme :

$$\mathbf{U}_m = \frac{\iiint \mathbf{u}(\mathbf{x})C(\mathbf{x})d\mathbf{x}}{\iiint C(\mathbf{x})d\mathbf{x}} \quad (2.36)$$

### **Modifications des écart-types**

Nous avons montré plus haut que la présence d'un cisaillement génère une modification des écarts-types de diffusion. Or la plupart du temps, ces écarts-types sont définis à partir de paramétrisations semi-empiriques qui sont ajustées sur des données expérimentales. Dans le cas de l'atmosphère, ces expériences sont réalisées sur le terrain où la présence du cisaillement est inévitable. On peut donc considérer que l'effet du cisaillement sur les écarts-types est déjà pris en compte et qu'il n'est donc pas nécessaire de le modéliser une deuxième fois. C'est pourquoi cet effet est rarement intégré dans les paramétrisations des  $\sigma_i$ .

### **Techniques de "découpage" des bouffées (modèle à bouffées)**

Lorsque les inhomogénéités du champ de vitesse deviennent trop importantes pour pouvoir modéliser la dispersion d'une bouffée par une simple fonction de distribution de la concentration, il est possible de procéder à un découpage des bouffées les plus grosses afin d'obtenir des bouffées de dimension inférieure aux échelles caractéristiques des inhomogénéités du champ de vitesse. Cette approche a en particulier été mise en œuvre par Perkins *et al.* (1991).

D'un point de vue technique, on superpose à la bouffée une grille sur laquelle on connaît le champ de vitesse. Tant que les écarts-types de diffusion  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  et  $\sigma_z$  de la bouffée sont suffisamment petits devant le pas de la grille, la bouffée est traitée comme cela est décrit au paragraphe 2.3.1.2. Lorsque la bouffée devient plus grosse, on procède à son découpage, selon le schéma de la Figure 16. On détermine ensuite la masse de polluants contenue dans chaque cellule du maillage à l'aide d'une relation analytique. Enfin, on remplace la grosse bouffée par plusieurs petites bouffées contenant chacune la masse de polluants correspondant à chaque cellule du maillage. Si plusieurs bouffées sont découpées au même pas de temps, on utilisera la même grille de découpage de façon à fusionner les petites bouffées créées au même pas de



grille et ainsi limiter le nombre total de bouffées. Le processus d'advection-diffusion des bouffées se poursuit alors jusqu'à ce que d'autres bouffées atteignent la taille critique. Cette technique suppose bien évidemment que l'on dispose du champ de vitesse qui advecte les bouffées. La méthode de découpage des bouffées constitue certainement l'approche la plus appropriée pour décrire dans un modèle à bouffée l'influence sur la dispersion d'un champ de vitesse inhomogène.

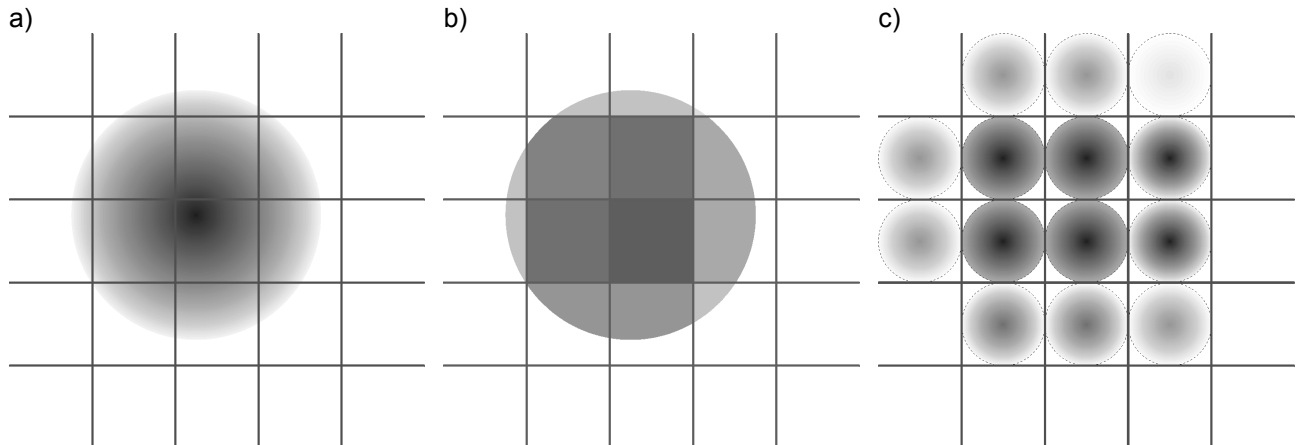


Figure 16 : Etapes de la méthode de découpage des bouffées. Phase a : Superposition d'une grille sur la bouffée. Phase b : Calcul de la masse de polluants contenue dans chaque cellule du maillage. Phase c : Remplacement de la grosse bouffée par plusieurs bouffées plus petites.

### 2.3.1.6. Modélisation des fluctuations

Par définition, un modèle gaussien est basé sur une formule analytique qui fournit uniquement la concentration moyenne et ne permet pas d'accéder aux fluctuations. Cependant, étant donné l'intérêt qui existe pour le calcul des fluctuations, des méthodes spécifiques ont été développées. Ces méthodes permettent de calculer soit la fonction densité de probabilité de la concentration en un point donné, soit les moments statistiques de la distribution de  $c$ , soit les deux. Toutes ces méthodes s'appuient sur la décomposition évoquée au paragraphe 2.2.4 entre la diffusion du centre de masse et la diffusion relative. Si l'on connaît les densités de probabilité  $p_m$  et  $p_r$ , il est possible, à partir des équations 2.21, 2.22 et 2.23, de déterminer les informations sur les fluctuations.

Il existe principalement deux méthodes pour déterminer la densité de probabilité  $p_m$  de diffusion du centre de masse. La première méthode consiste à supposer une pdf gaussienne (Gifford, 1959). Elle nécessite une paramétrisation spécifique des écarts-types  $\sigma_m$  de cette distribution. La seconde méthode consiste à modéliser la diffusion du centre de masse à l'aide d'un modèle lagrangien stochastique. Il s'agit alors d'un couplage hybride entre un modèle gaussien et un modèle lagrangien, que nous détaillerons au paragraphe 2.3.2.4.

Pour modéliser la diffusion relative, on rencontre deux types de méthodes. La première approche consiste à supposer que la variance des fluctuations "relative" est proportionnelle au carré de la concentration moyenne au point considéré :

$$\overline{c_r^2} = (1 + I_r^2) \overline{c_r}^2 \quad (2.37)$$

où  $I_r$  est l'intensité des fluctuations liées à la diffusion relative. La deuxième approche consiste à postuler une forme analytique pour la fonction densité de probabilité  $p_r$ . Yee *et al.* (1994) proposent par exemple une loi du type :

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

$$p_r(c, x, y, z, t) = \frac{\lambda^\lambda}{c_r \Gamma(\lambda)} \left( \frac{c}{c_r} \right)^{\lambda-1} \exp\left( -\frac{\lambda c}{c_r} \right) \quad (2.38)$$

où  $\Gamma$  est l'intégrale d'Euler (fonction Gamma) et  $\lambda = 1/I_r^2$ . Ce modèle reproduit relativement bien les caractéristiques des fluctuations observées expérimentalement. Il faut noter que si l'on ne s'intéresse qu'aux écarts-types de la distribution totale de concentration, la connaissance de la fonction de distribution de la diffusion relative n'apporte aucune information supplémentaire et l'intégration de 2.22 ne fait intervenir que l'intensité  $I_r$ . Luhar *et al.* (2000) ont utilisé ce modèle et proposent une discussion sur les valeurs du paramètre  $I_r$ .

Il faut enfin noter que certains modèles ne prennent en compte que l'un des deux effets évoqués précédemment. Leur domaine de validité se restreindra donc soit à la zone proche de la source (si seule la diffusion du centre de masse est modélisée), soit au champ lointain (si seule la diffusion relative est modélisée).

### 2.3.1.7. Avantages et inconvénients

Les avantages et inconvénients des modèles gaussiens de dispersion sont résumés dans le Tableau 2 et le Tableau 3.

<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solution analytique.</li> <li>• Simplicité de mise en œuvre.</li> <li>• Rapidité de calcul (adapté à des modélisations opérationnelles).</li> <li>• Il existe dans la littérature scientifique une grande quantité de paramétrisations développées pour prendre en compte différents types de phénomènes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limité à un rejet continu de débit constant.</li> <li>• Limité à un écoulement uniforme dans l'espace et constant dans le temps.</li> <li>• La qualité du modèle dépend beaucoup de la qualité des paramétrisations utilisées pour les écarts-types.</li> </ul>

Tableau 2 : Avantages et inconvénients d'un modèle de panache gaussien.

<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Relative rapidité de calcul (adapté à des modélisations opérationnelles)</li> <li>• Permet de traiter un rejet instantané ou continu, variable dans le temps</li> <li>• Permet de traiter un écoulement variable dans le temps</li> <li>• Facilité d'intégrer des modules spécifiques (dépôt, réactions physico-chimiques, ...)</li> <li>• Il existe dans la littérature scientifique une grande quantité de paramétrisations développées pour prendre en compte différents types de phénomènes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limité à un écoulement uniforme dans l'espace à chaque pas de temps. Cela exclut son application à des écoulements inhomogènes (exemple d'un écoulement avec obstacles ou relief), bien qu'il existe des artifices techniques pour cela.</li> <li>• La qualité du modèle dépend beaucoup de la qualité des paramétrisations utilisées pour les écarts-types</li> </ul>

Tableau 3 : Avantages et inconvénients d'un modèle de bouffées gaussiennes.

**2.3.2. MODELES LAGRANGIENS**

**2.3.2.1. Principe**

Les modèles lagrangiens (voir Durbin, 1983) sont basés sur l'observation du caractère apparemment aléatoire du mouvement des particules de fluide (et donc de l'espèce polluante) dans un écoulement turbulent. Chaque particule passant par le point de rejet suit ainsi une trajectoire chaotique, illustrée sur la Figure 17-a. Pour prévoir le comportement moyen du nuage de polluants rejeté, il faut étudier les trajectoires d'un grand nombre de particules passant par la source (cf. Figure 17-b) et en effectuer une moyenne, de façon un peu analogue à la moyenne que l'on effectue sur un grand nombre de réalisations.

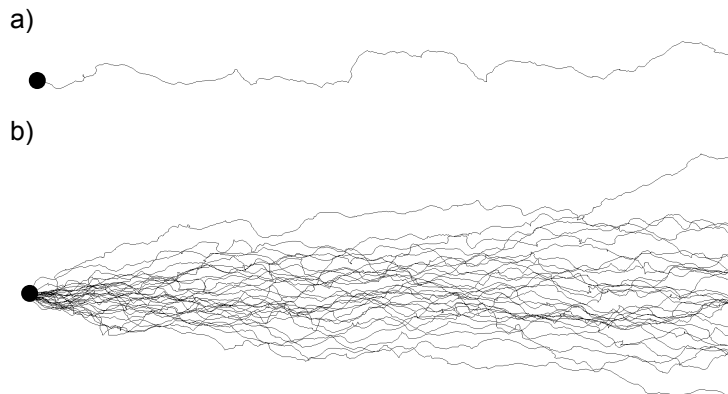


Figure 17 : Mouvement de particules de fluide dans un écoulement turbulent. a) particule isolée et b) ensemble de particules issues du point source.

Pour décrire le mouvement turbulent de chaque particule, on utilise généralement l'équation de Langevin, qui modélise la variation de la vitesse fluctuante au cours du temps :

$$d\mathbf{u}' = \underbrace{-\frac{\mathbf{u}'(t)}{T_L} dt}_{\text{terme de mémoire}} + \underbrace{\mathbf{s}_u \sqrt{2 \frac{dt}{T_L}} \xi}_{\text{terme aléatoire}} \tag{2.39}$$

où  $T_L$  est le temps lagrangien de la turbulence,  $\sigma_u$  l'écart-type des fluctuations de vitesse et  $\xi$  une variable aléatoire qui suit une loi de probabilité normale de moyenne nulle et de variance égale à 1. Le premier terme de cette équation est un terme de mémoire. Il traduit le fait qu'il existe une corrélation temporelle des vitesses, pendant un temps caractéristique  $T_L$ . L'évolution de la vitesse doit donc s'effectuer en tenant compte de cette dépendance par rapport au passé de la particule. Le second terme représente le caractère fluctuant de la vitesse dans un écoulement turbulent. Il faut garder à l'esprit que l'équation de Langevin n'est qu'une modélisation particulière du processus de déplacement d'une particule de fluide. Des termes correctifs sont donc parfois ajoutés pour améliorer la prise en compte de certains phénomènes. A partir de l'équation 2.39, la trajectoire de la particule est obtenue en intégrant pas à pas la vitesse instantanée de la particule :

$$\begin{cases} \mathbf{u}(t + dt) = \underbrace{\bar{\mathbf{u}}(t)}_{\text{vitesse précédente}} + \underbrace{\mathbf{u}'(t)}_{\text{variation moyenne}} + \underbrace{\frac{\partial \bar{\mathbf{u}}}{\partial t} dt}_{\text{variation moyenne}} + \underbrace{d\mathbf{u}'}_{\text{variation stochastique}} \\ \mathbf{x}(t + dt) = \mathbf{x}(t) + \mathbf{f}(\mathbf{u}(t), \mathbf{u}(t + dt)) dt \end{cases} \tag{2.40}$$

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

où  $f$  est une fonction de pondération entre  $\mathbf{u}(t)$  et  $\mathbf{u}(t+dt)$ , qui dépend du schéma d'advection retenu. Lorsque l'on s'intéresse à la dispersion de particules solides, il est possible de prendre en compte des phénomènes de gravité, d'inertie ou de traînée en ajoutant des termes à l'équation précédente.

Une fois que l'on a déterminé la trajectoire d'un grand nombre de particules, il est nécessaire de calculer la répartition de concentration correspondante. On s'appuie pour cela sur la relation suivante :

$$\bar{c}(\mathbf{x}, t) = p(\mathbf{x}, t | \mathbf{x}_0, t_0) c(\mathbf{x}_0, t_0) \quad (2.41)$$

où  $p(\mathbf{x}, t | \mathbf{x}_0, t_0)$  est la probabilité qu'une particule, passant à l'emplacement  $\mathbf{x}_0$  de la source à l'instant  $t_0$ , se retrouve au point  $\mathbf{x}$  à l'instant  $t$ . Si la source n'est pas ponctuelle, il faut intégrer cette relation sur l'ensemble des sources. D'un point de vue pratique, il existe principalement deux méthodes pour calculer la concentration moyenne :

- **Méthode des boîtes** : pour déterminer la probabilité  $p(\mathbf{x}, t | \mathbf{x}_0, t_0)$ , on lâche un nombre  $N$  de particules à l'emplacement  $\mathbf{x}_0$  et à l'instant  $t_0$ , et l'on compte le nombre  $n$  de particules qui se trouve à l'instant  $t$  dans une "boîte" de volume  $\Delta V$  centrée sur  $\mathbf{x}$ . Si la quantité de polluants rejetée initialement est  $Q$ , la concentration s'exprime alors :

$$\bar{c} = \frac{nQ}{N\Delta V} \quad (2.42)$$

Pour un nombre de particule suffisamment grand, le rapport  $n / \Delta V$  tend vers une constante indépendante de  $\Delta V$ . Le volume des boîtes constitue donc un paramètre purement numérique que l'on ajuste en recherchant un compromis entre une bonne résolution spatiale et un nombre de particules pas trop élevé.

- **Méthode des noyaux** : lorsque l'on s'intéresse à la concentration uniquement en quelques points particuliers, il peut être très coûteux en temps de calcul d'utiliser la méthode des boîtes. En effet, compte tenu du caractère aléatoire des trajectoires, il est parfois nécessaire de rejeter un très grand nombre de particules pour que seulement quelques-unes se trouvent dans une boîte à un instant donné. Pour éviter ce type de problème, il est possible d'utiliser la méthode des noyaux (De Haan, 1999). Cette méthode repose sur l'idée que la masse  $Q/N$  transportée par chaque particule peut être répartie spatialement de façon à éviter le caractère discret des particules ponctuelles. Pour cela, on affecte à chaque particule une fonction de distribution de concentration, d'écart-type  $\sigma_p$ . (la forme de cette fonction n'est pas essentielle ; une forme gaussienne peut être utilisée). La concentration en un point est alors calculée en superposant la contribution de toutes les particules, de façon similaire à un modèle à bouffées. Cependant, la différence fondamentale par rapport à ce type de modèle est que cette "diffusion" artificielle n'a aucune signification physique et qu'elle ne doit donc pas apparaître dans le résultat final. Elle sert uniquement à lisser le caractère discret des particules. C'est pourquoi  $\sigma_p$  est choisi d'autant plus petit que le nombre de particule est important.

### 2.3.2.2. *Prise en compte des parois*

La prise en compte des parois dans un modèle lagrangien pose un certain nombre de questions théoriques fondamentales (Durbin, 1983). Une de ces questions est de savoir si la particule (qui représente une particule de fluide) est capable d'atteindre la paroi. En effet, la vitesse moyenne et la fluctuation de vitesse normales à la paroi tendent vers zéro lorsque l'on s'approche de cette paroi. Le temps mis par une particule de fluide pour atteindre la paroi est donc infini et l'on pourrait considérer, d'un point de vue purement théorique, qu'il n'est pas nécessaire d'imposer

de condition à ce niveau. En pratique, il existe plusieurs raisons pour lesquelles on est obligé de traiter la présence des parois :

- La diffusion moléculaire et le mouvement brownien des molécules de l'espèce transportée peuvent conduire des molécules à atteindre la paroi et à réagir avec, générant par exemple un dépôt.
- Lorsque l'on utilise un modèle stochastique pour étudier la dispersion de particules lourdes, il est possible, sous l'effet de l'inertie ou de la gravité, que des particules ne suivent pas le fluide et atteignent la paroi.
- Même si, d'un point de vue théorique, une particule n'est pas censée atteindre la paroi, les erreurs dues à l'intégration numérique de l'équation de Langevin conduisent généralement les particules à entrer en collision avec celle-ci.

Il existe des méthodes plus ou moins complexes pour traiter la présence des parois dans un modèle stochastique (Durbin, 1983). Dans le cas où il n'y a pas de dépôt, on suppose généralement que la particule rebondit de façon élastique sur la paroi. Pour modéliser des phénomènes d'absorption ou de dépôt, il est possible d'éliminer la particule dès qu'elle atteint la paroi ou de la retenir pendant un certain temps avant de la rejeter dans l'écoulement.

### **2.3.2.3. *Prise en compte d'un gradient de vitesse et de turbulence***

La prise en compte de l'influence d'un gradient de vitesse sur la dispersion ne nécessite pas de modélisation particulière dans les approches lagrangiennes stochastiques. En effet, l'influence du champ de vitesse moyenne sur la dispersion est résolue explicitement au moyen de l'équation 2.40. L'équation de Langevin ne fait quant à elle intervenir que l'écart-type des fluctuations de vitesse.

Lorsqu'il existe un gradient de turbulence (en particulier un gradient de fluctuation de vitesse), il est par contre nécessaire d'introduire un terme supplémentaire dans l'équation de Langevin. Cette équation ne constitue en effet qu'une paramétrisation approchée de l'effet de la turbulence sur la dispersion et ne prend pas en compte tous les phénomènes qui découlent de cette turbulence. Une description des termes additionnels à utiliser dans une turbulence inhomogène est proposée par Legg et Raupach (1982) et par Durbin (1983).

### **2.3.2.4. *Modélisation des fluctuations – Modèles hybrides lagrangiens-gaussiens***

Un modèle lagrangien stochastique "standard", analogue à celui qui a été présenté dans les paragraphes précédents, ne permet pas d'évaluer les fluctuations de concentration. Le fait de simuler les trajectoires d'un grand nombre de particules peut laisser penser que l'on simule un grand nombre de réalisations de l'écoulement et que, compte tenu de la définition des fluctuations énoncée au paragraphe 2.2.4, il est possible d'en déduire ces fluctuations. Ce n'est pas le cas. Pour cela, il faudrait en effet que chaque particule décrive complètement la forme du nuage instantané, qui est par exemple illustrée sur la Figure 7-a. Or chaque particule ne donne des informations que sur sa position.

Pour contourner ce problème et pouvoir modéliser les fluctuations à l'aide d'un modèle stochastique, il est nécessaire de procéder différemment. Il existe principalement deux approches :

- **Les modèles utilisant des paires de particules** (Durbin, 1980 ; Thomson, 1990) : on peut montrer que l'écart-type de la distribution de concentration peut être retrouvé à partir des statistiques concernant deux particules transportées dans une même réalisation de l'écoulement. En pratique, pour déterminer les fluctuations de concentration en un point, on relâche des paires de particules en ce point, on calcule leurs rétro-trajectoires turbulentes et on détermine la probabilité que les particules soient toutes les deux passées par la source à l'instant du rejet. L'écart-type de concentration au point considéré est alors égal au produit de cette probabilité par le carré de la concentration de la source. Etant donné son coût en temps de calcul, ce type de modèle est aujourd'hui réservé à un usage de recherche.

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

- **Les modèles hybrides lagrangiens-bouffées** (Perkins *et al.*, 1991 ; De Haan, 1999 ; Luhar *et al.*, 2000) : si l'on remplace les particules par des bouffées gaussiennes, il est possible de décrire, pour chaque réalisation, la forme du nuage instantané. En particulier, cela permet de calculer la concentration en un point et à un instant donné pour chaque réalisation de l'écoulement. En effectuant une statistique sur un grand nombre de particules-bouffées, on obtient ainsi la distribution de concentration (et donc les fluctuations) au point considéré. La seule difficulté est que la diffusion d'une bouffée et le mouvement stochastique de ces bouffées constituent deux modélisations de la dispersion turbulente et il faut faire attention de ne pas comptabiliser deux fois le même effet. Pour cela, on décompose le spectre de turbulence en deux parties : l'une qui contribue à la diffusion relative et l'autre qui contribue à la diffusion du centre de masse. La première est modélisée par la diffusion des bouffées et la deuxième par l'advection lagrangienne stochastique du centre de masse de ces bouffées. Les écarts-types des bouffées gaussiennes doivent donc être modifiés pour ne tenir compte que de la diffusion relative (cf. paragraphe 2.3.1.6) tandis que les paramètres de l'équation de Langevin ( $T_L$  et  $\sigma_u$ ) doivent être corrigés pour ne représenter qu'une partie du spectre d'énergie turbulente. Ce type de modèles est aujourd'hui la meilleure approche opérationnelle pour décrire les fluctuations de concentration.

### 2.3.2.5. Avantages et inconvénients

Les avantages et inconvénients des modèles lagrangiens stochastiques sont résumés dans le Tableau 4.

<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temps de calcul moyen, qui reste compatible avec des problèmes opérationnels où seuls quelques cas sont à étudier.</li> <li>• Permet de traiter un rejet instantané ou continu, variable dans le temps</li> <li>• Permet de traiter n'importe quel type d'écoulement</li> <li>• Bien adapté sur toute la durée du rejet (en particulier au voisinage de la source)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calcul très lourd dans le cas d'un grand nombre de sources (le temps de calcul est proportionnel au nombre de sources, contrairement à une approche eulérienne). C'est en particulier le cas en milieu urbain.</li> <li>• Ne permet pas de traiter de longues séries temporelles.</li> <li>• Difficulté d'intégrer la chimie.</li> </ul>

Tableau 4 : Avantages et inconvénients d'un modèle lagrangien stochastique.

### 2.3.3. MODELES NUMERIQUES EULERIENS

#### 2.3.3.1. Généralités

Le principe des modèles numériques eulériens repose sur une résolution de l'équation d'advection-diffusion (sous sa forme 2.5 ou 2.7) par une discrétisation de cette équation en temps et en espace.

La résolution d'une équation aux dérivées partielles, telle que l'équation d'advection-diffusion, suppose qu'on associe à cette équation des conditions initiales en temps et des conditions aux limites du domaine spatial. Si l'on introduit un maillage de l'espace et une discrétisation du temps, il est possible de remplacer le système précédent, composé de l'équation d'advection-diffusion et des conditions initiales et aux limites, par un système discret pour lequel on recherche une solution sur les nœuds du maillage spatio-temporel. Le problème revient alors à résoudre un système (généralement linéaire pour la concentration) de  $N$  équations à  $N$  inconnues, où ces  $N$  inconnues représentent les valeurs de concentration sur les  $N$  nœuds du maillage. Les principales méthodes numériques utilisées pour effectuer cette discrétisation du problème sont présentées au paragraphe 2.3.3.2.

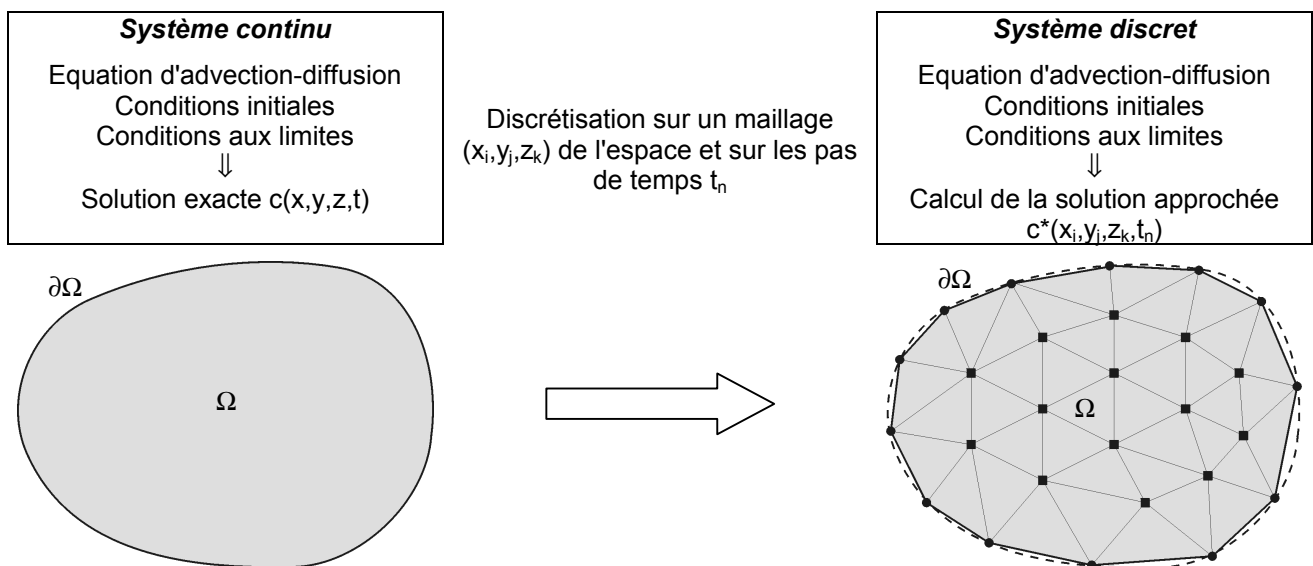


Figure 18 : Schéma de principe de la résolution de l'équation d'advection-diffusion par discrétisation sur un maillage.

Ce type de modèles ne fournit une solution qu'en certains points de l'espace et à certains instants. De plus, en ces points particuliers, la solution obtenue n'est qu'une approximation de la solution exacte du système continu à résoudre, sachant que parfois, le système continu n'est qu'une représentation approchée de la réalité (voir la modélisation de la turbulence au paragraphe 2.3.3.3). A priori, la solution numérique du système discret converge vers la solution du système continu lorsque la résolution du maillage spatio-temporel tend vers zéro.

L'équation d'advection-diffusion fait intervenir la valeur instantanée du vecteur vitesse  $\mathbf{u} = \bar{\mathbf{u}} + \mathbf{u}'$ . La résolution numérique de cette équation suppose donc que l'on connaisse la vitesse et la turbulence en tout point du maillage choisi. A moins d'utiliser une solution analytique pour le champ de vitesse (ce qui limite à l'étude de situations académiques), ce champ est généralement obtenu par une méthode de résolution eulérienne des équations du mouvement, analogue à celle décrite précédemment, appliquée sur le même maillage de l'espace. Compte

tenu de ces similitudes, les résolutions des équations du mouvement et de l'équation d'advection-diffusion sont dans de nombreux cas effectuées au sein du même modèle. Une conséquence importante du couplage qui existe entre la dispersion turbulente et le champ de vitesse est que la qualité de la solution obtenue pour l'équation d'advection diffusion dépend fortement de la qualité du champ de vitesse utilisé dans l'équation. Ainsi, l'application d'un "bon" modèle eulérien de dispersion sur un champ de vitesse qui ne reproduit pas les principaux effets dynamiques peut conduire à une solution erronée pour la concentration. A ce titre, un des points cruciaux concerne la modélisation de la turbulence de l'écoulement. Nous reviendrons sur ce point au paragraphe 2.3.3.3.

En contrepartie de cette dépendance au champ de vitesse, l'intérêt majeur des modèles eulériens est de pouvoir prendre en compte toute la complexité de ce champ de vitesse dans le transport d'espèces par l'écoulement. Il n'est donc pas nécessaire d'introduire des artifices particuliers pour traiter l'effet d'un gradient de vitesse.

### 2.3.3.2. Méthodes numériques

Le passage d'un problème aux dérivées partielles continu à un problème discret s'appuie sur les méthodes classiques d'analyse numérique. On distingue trois grandes méthodes pour formuler un problème continu sous forme discrète :

- **La méthode des différences finies** : cette méthode est basée sur une représentation des termes de dérivées partielles par des formules de taux d'accroissement. Par exemple, le gradient de concentration dans la direction x pourra être exprimé sous la forme :

$$\frac{\partial c}{\partial x} \approx \frac{c(x_{i+1}) - c(x_{i-1}))}{x_{i+1} - x_{i-1}} \quad (2.43)$$

L'équation d'advection-diffusion se ramène alors à un système d'équations reliant les concentrations aux nœuds du maillage. Il existe des schémas plus ou moins complexes et plus ou moins précis pour discrétiser les dérivées partielles. Pour résumer, disons que plus le nombre de nœuds mis en jeu pour calculer une dérivée est important, plus le schéma est précis mais plus il est coûteux en temps de calcul.

Les maillages utilisés en différences finies doivent permettre de calculer des taux d'accroissement d'un nœud à l'autre. Ce sont donc des maillages dits "structurés", c'est à dire qu'ils constituent une matrice tridimensionnelle à l'intérieur de laquelle chaque nœud peut être repéré par 3 indices (i,j,k). De tels maillages peuvent dans certains cas être mal adaptés à des géométries complexes car il est difficile de traiter des parois inclinées ou de raffiner uniquement dans certaines zones.

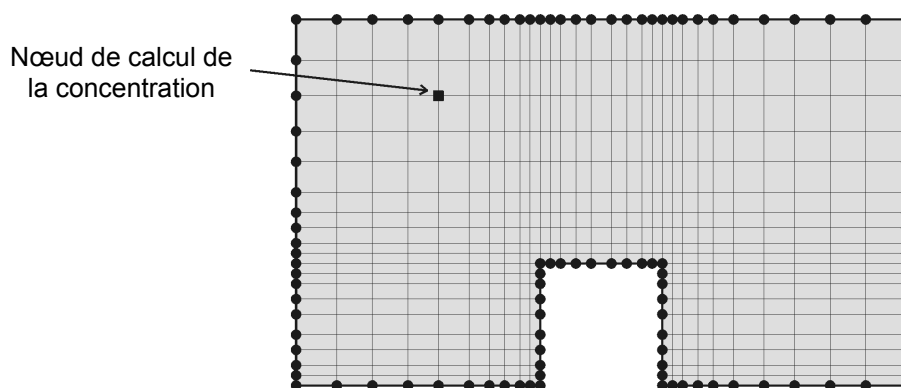


Figure 19 : Maillage de type différences finies.



La méthode des différences finies est souvent utilisée car elle est facile à implémenter. Un de ses inconvénients – l'autre étant le manque de souplesse dans la réalisation des maillages – est qu'elle ne garantit pas la conservation des espèces transportées. Cette limitation peut s'avérer problématique dans la résolution de l'équation d'advection-diffusion.

- **La méthode des volumes finis** : cette méthode est basée sur l'application du principe variationnel sur le volume d'une maille. Les dérivées spatiales sont alors transformées en termes de flux à travers les parois de la maille, ce qui revient à résoudre une équation bilan de l'espèce sur chaque maille du domaine. L'intérêt majeur est qu'il n'y a pas de dérivées partielles à estimer. D'un point de vue pratique, cette méthode garantit la conservation des espèces transportées. Elle sera donc souvent privilégiée par rapport à une méthode de différences finies. De plus, cette méthode peut être mise en œuvre sur tout type de maillage et n'est donc pas limitée à des maillages structurés.

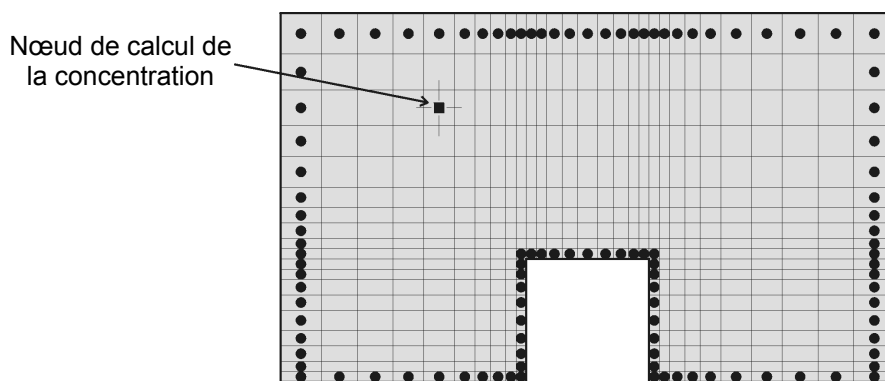


Figure 20 : Maillage de type volumes finis. Les variables sont localisées aux centres des mailles.

- **La méthode des éléments finis** : la méthode des éléments finis s'appuie sur l'application du principe variationnel sur des maillages non-structurés basés sur des triangles ou des tétraèdres (cf Figure 21). L'intérêt principal de cette méthode repose sur la souplesse des maillages utilisés qui permettent de traiter n'importe quel type de géométrie en raffinant uniquement les zones souhaitées. L'inconvénient, qui résulte de cette souplesse, réside dans la complexité à mettre en œuvre et à utiliser ce type de méthodes.

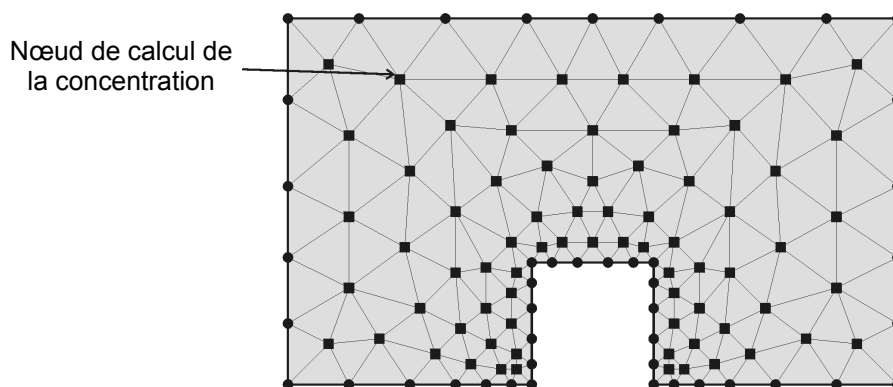


Figure 21 : Maillage de type éléments finis.

Une fois que l'on a défini la méthode de discrétisation de l'équation d'advection-diffusion, il est nécessaire de spécifier les conditions aux limites du domaine de calcul. En effet, il n'est pas possible d'appliquer les méthodes précédentes aux points situés en frontière du domaine car ces points n'ont pas de voisins qui permettraient de calculer des dérivées partielles ou des flux. Les conditions aux limites ont pour objectif soit de représenter une frontière réelle (paroi solide, interface gaz-liquide), soit de représenter une frontière fictive, c'est-à-dire une frontière qui

existe uniquement parce que le maillage s'arrête à un endroit donné du fluide. Les principales conditions que l'on peut imposer sont les suivantes :

- **Conditions de concentration imposée (condition de Dirichlet)** : la valeur de concentration est imposée par l'utilisateur aux nœuds de frontière. Cette condition s'applique généralement aux nœuds où du fluide entre dans le domaine.
- **Condition de flux imposé (condition de Neumann)** : cette condition permet par exemple de garantir un flux nul au travers d'une paroi solide, en imposant un gradient de concentration nul dans la direction normale à la paroi. Cette condition peut également être utilisée pour traiter des sources de polluants situées en paroi.
- **Condition d'échange** : cette condition consiste à imposer une loi d'échange particulière, pour gérer le flux à l'interface entre deux fluides (exemple de l'interface air-mer) ou entre deux zones distinctes (exemple de l'échange entre l'intérieur et l'extérieur d'un bâtiment). Dans ce cas, on impose la concentration à l'extérieur du domaine et le flux en frontière est déterminé par la loi d'échange.

Lorsque l'espèce transportée n'est pas rejetée en frontière du domaine mais à l'intérieur de celui-ci, il n'est pas possible de traiter ce rejet à l'aide des conditions aux limites. Pour cela, on ajoute un terme source à l'équation d'advection-diffusion discrétisée. Ainsi, à chaque pas de temps, un incrément de concentration est ajouté à la concentration déjà calculée dans la ou les mailles où s'effectue le rejet, pour tenir compte de la quantité rejetée pendant le pas de temps. L'inconvénient majeur de cette méthode est que la quantité rejetée est immédiatement diluée sur tout le volume de la maille concernée alors que dans la réalité, il faut un certain temps avant que cette dilution se réalise. Les erreurs dues à ce phénomène peuvent être très importantes lorsque la taille des mailles est grande devant les dimensions de la source (c'est typiquement le cas dans l'atmosphère). Pour éviter ce problème, il est possible soit de raffiner le maillage au niveau de la source (mais cela peut rapidement s'avérer très coûteux), soit d'effectuer un couplage avec un modèle gaussien ou un modèle lagrangien pour la prise en compte du début du rejet.

### 2.3.3.3. Modélisation de la turbulence

L'équation d'advection-diffusion fait intervenir les valeurs instantanées de vitesse turbulente, que ce soit dans l'équation 2.5 ou 2.7. Or il est rarement possible de mesurer expérimentalement ce champ de vitesse pour l'introduire dans l'équation. On est donc amené à utiliser un modèle d'écoulement permettant de calculer le champ de vitesse en chaque nœud du maillage choisi pour résoudre l'équation d'advection-diffusion. Pour cela, il existe une multitude d'approche plus ou moins complexes.

Si l'on souhaite résoudre la forme instantanée de l'équation d'advection-diffusion, il est nécessaire de décrire l'évolution instantanée du champ turbulent de vitesse. Pour cela, on utilise une approche, appelée *Simulation Numérique Directe* (DNS), qui consiste à résoudre les équations de Navier-Stokes dans leur forme la plus générale, en considérant toutes les échelles de la turbulence. Cette méthode est certainement la plus proche d'une résolution exacte mais elle nécessite une discrétisation spatiale très fine, qui génère des temps de calcul excessivement longs et limite son application à des nombres de Reynolds peu élevés. Son usage est donc aujourd'hui restreint à des études fondamentales.

Une autre approche, appelée *simulation des grandes échelles* (Large Eddy Simulation ou LES) est basée sur une résolution explicite des grandes structures de la turbulence, couplée à une paramétrisation statistique de l'effet des petites structures. La résolution spatiale du maillage constitue un filtre qui permet de ne modéliser que les tourbillons dont le diamètre est supérieur à la taille de la maille. La contribution des petits tourbillons sur la diffusion turbulente est prise en compte par un modèle de sous-maille. Les modèles LES sont particulièrement adaptés à l'étude de la turbulence atmosphérique, pour laquelle ils ont initialement été développés (Deardorff, 1970 ; Redelsperger et Sommeria, 1981). Ils restent néanmoins encore trop lourds à mettre en œuvre pour la plupart des applications pratiques.

L'approche la plus couramment utilisée pour simuler les écoulements et la dispersion turbulents est la modélisation statistique des équations de Navier-Stokes (RANS). En effet, dans la plupart des problèmes, il n'est pas nécessaire de calculer l'évolution instationnaire des différentes variables et il suffit de déterminer la valeur moyenne de chacune de ces variables pour un grand nombre de réalisations de l'écoulement. Pour cela, on utilise les équations d'évolution des grandeurs moyennes, obtenues à partir des équations instantanées (démarche analogue pour l'écoulement au passage de l'équation 2.5 à l'équation 2.7). En raison de la non-linéarité du problème, des termes de corrélation entre les fluctuations des grandeurs turbulentes apparaissent dans ces équations. Il est alors nécessaire de paramétrer ces termes à l'aide d'un modèle de turbulence. La modélisation statistique est une approche qui ne permet pas de détailler les caractéristiques de la turbulence. Cependant, elle s'avère souvent être un bon outil pour l'étude des champs moyens, en particulier lorsque l'on s'intéresse aux écoulements autour de géométries complexes. C'est pourquoi nous nous intéresserons essentiellement à cette approche en présentant les principaux modèles de turbulence utilisés.

Le principe général d'un modèle de turbulence est de fournir une paramétrisation des termes de flux turbulent qui interviennent dans l'équation 2.7. Une première approche consiste à exprimer une équation d'évolution de ces termes en repartant de l'équation instantanée 2.5. Malheureusement, cette nouvelle équation fait intervenir de nouvelles inconnues sous formes de corrélations triples entre les fluctuations des grandeurs turbulentes. Il faut alors paramétrer ces corrélations ou bien exprimer une équation d'évolution de ces grandeurs, sachant qu'elle fera elle-même intervenir des corrélations quadruples. On comprend que cette démarche peut être poursuivie indéfiniment sans que l'on arrive à "fermer" le problème. Il faut donc, à un moment donné, choisir de paramétrer les corrélations plutôt que d'en exprimer une nouvelle équation d'évolution. C'est ce qui définit l'ordre du modèle de fermeture : une paramétrisation des corrélations doubles constitue un modèle au premier ordre, une paramétrisation des corrélations triples un modèle au deuxième ordre. En pratique, plus l'ordre du modèle est élevé, plus il est difficile d'obtenir des informations expérimentales pour paramétrer les corrélations correspondantes. C'est pourquoi la plupart des modèles utilisent une fermeture au premier ordre, qui consiste à exprimer les flux turbulents en fonction du gradient des grandeurs moyennes :

$$\overline{u'c'} = -K\tilde{N}\bar{c} \quad (2.44)$$

où  $K$  est un tenseur de diffusivité turbulente, que l'on suppose généralement diagonal. Pour exprimer les coefficients diagonaux  $K_i$ , nous distinguerons deux types de paramétrisations :

- **Les paramétrisations semi-empiriques** : lorsque l'on s'intéresse à des écoulements particuliers, il est parfois possible de décrire une loi d'évolution spatiale de  $K_i$  à partir de grandeurs mesurées. Dans le cas de l'atmosphère, de telles paramétrisations existent pour décrire la diffusivité turbulente dans la couche limite. On peut citer en particulier le modèle d'O'Brien (1970), basé sur un profil analytique dont les paramètres sont la vitesse de frottement et la turbulence dans l'atmosphère libre.
- **Les paramétrisations reliant  $K_i$  aux grandeurs de l'écoulement** : une autre approche consiste à exprimer la diffusivité turbulente en fonction des grandeurs turbulentes de l'écoulement, calculées au point considéré. Une des méthodes les plus utilisées est le modèle  $k$ - $\varepsilon$  (Launder et Spalding, 1972), dans lequel  $K_i$  s'exprime sous la forme :

$$K_i = c_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (2.45)$$

où  $k$  est l'énergie cinétique turbulente,  $\varepsilon$  est le taux de dissipation de cette énergie et  $c_\mu$  une constante. Les variables  $k$  et  $\varepsilon$  sont obtenus à partir de deux équations d'évolution résolues par le modèle d'écoulement. On peut citer d'autres paramétrisations de la diffusivité turbulente, basées sur la longueur de mélange ou encore sur un traitement anisotrope des différents flux turbulents.

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

Les méthodes de fermeture, basées sur l'utilisation d'un coefficient de diffusivité turbulente, présentent cependant l'inconvénient majeur de ne pas représenter correctement la diffusion turbulente au voisinage des sources. Nous avons en effet montré, au paragraphe 2.2.3, que la taille d'un nuage de polluant constitue un filtre pour les échelles de turbulence susceptibles de contribuer à sa dispersion, si bien que la contribution des différentes échelles est différente au fur et à mesure que le nuage grossit. Dans une approche eulérienne, il n'est pas possible de connaître l'historique des polluants présents à un endroit et à un instant donné si bien que l'on ne peut pas prendre en compte cet effet de filtrage. Cela signifie que les modélisations eulériennes de la dispersion turbulente ne sont pas adaptées au voisinage des sources (temps de diffusion inférieur au temps lagrangien).

Il faut enfin noter qu'il est possible, dans certains modèles eulériens, de simuler la variance des fluctuations de concentration, en résolvant une équation de transport pour cette grandeur. Une telle équation fait là encore intervenir des termes de flux turbulent à paramétrer.

#### 2.3.3.4. *Avantages et inconvénients*

Les avantages et inconvénients des modèles eulériens sont résumés dans le Tableau 6.

<i>Avantages</i>	<i>Inconvénients</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permet de tenir compte de toute la complexité du champ de vitesse (gradient de vitesse, présence de parois, ...) et de la cinétique du rejet.</li> <li>• Temps de calcul indépendant du nombre de sources dans l'écoulement (à condition que l'on s'intéresse à la même espèce transportée)</li> <li>• Facilité d'intégrer des effets spécifiques (dépôt, réactions physico-chimiques, ...)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temps de calcul relativement important.</li> <li>• Nécessite une résolution globale dans tout l'espace, même lorsque l'on ne s'intéresse qu'à la concentration en un point.</li> <li>• Qualité du résultat qui dépend de la qualité du champ de vitesse utilisé. En particulier, il dépend de la paramétrisation de la turbulence de l'écoulement.</li> <li>• Les méthodes de fermeture utilisant un coefficient de diffusivité turbulente ne sont pas adaptées au voisinage des sources.</li> <li>• Problème de diffusion numérique due au schéma de discrétisation et à la résolution du maillage.</li> </ul>

Tableau 5 : *Avantages et inconvénients d'un modèle numérique eulérien.*

#### 2.3.4. **MODELISATION PHYSIQUE**

##### 2.3.4.1. *Principe*

La modélisation expérimentale en soufflerie ou en veine hydraulique constitue un outil indispensable dans de nombreux domaines de la mécanique des fluides. En s'appuyant sur la notion de similitude, elle permet d'étudier les phénomènes physiques réels sur des maquettes à une échelle différente de la réalité. L'intérêt est de pouvoir ramener un problème complexe à l'échelle et dans les conditions d'un laboratoire, et donc de pouvoir disposer de moyens d'investigation et de mesure performants. Elle permet également de prendre en compte des configurations géométriques très détaillées, qu'il est encore difficile de modéliser numériquement. Pour ces différentes raisons, la simulation en soufflerie présente un intérêt particulier pour l'étude de l'atmosphère. L'écoulement et la dispersion sur des sites complexes de plusieurs kilomètres (sites industriels, zones urbaines, ...) peuvent être reproduits sur des

maquettes de quelques mètres représentant les moindres détails. La modélisation physique constitue alors un moyen d'analyse des processus turbulents instationnaires et permet d'étudier des phénomènes tels que la dispersion des polluants ou le comportement des contraintes du vent sur les bâtiments ou les ouvrages d'art.

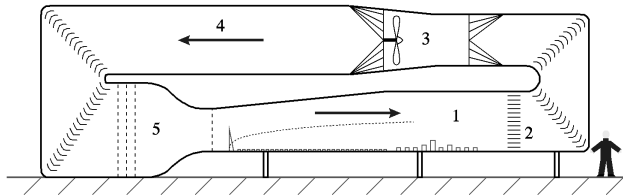
La modélisation expérimentale en soufflerie ou en veine hydraulique repose sur la notion de similitude. La similitude consiste à reproduire le comportement d'un écoulement en modifiant les échelles caractéristiques des paramètres tout en conservant les phénomènes physiques mis en jeu. On modifie en particulier l'échelle de longueur pour pouvoir reproduire des phénomènes atmosphériques sur une maquette de taille réduite. L'écriture de l'équation de Navier-Stokes adimensionnée (voir chapitre 3) fait intervenir une série de nombres caractéristiques qui expriment l'importance relative des différents phénomènes physiques. Si l'on modifie les échelles caractéristiques (longueur, vitesse, ...) de façon à ce que ces nombres restent inchangés, on constate que la solution de l'équation est identique. La reproduction à échelle réduite d'un écoulement doit donc garantir que les nombres sans dimension sont conservés par le changement d'échelle. Malheureusement, dans la plupart des cas, il est impossible de satisfaire cette condition simultanément pour les différents paramètres. On choisit alors de reproduire en priorité les phénomènes prépondérants :

- **Nombre de Rossby  $Ro = U/LW$**  : le nombre de Rossby correspond aux effets de la rotation de la Terre. Comme il est très difficile de reproduire ce phénomène à échelle réduite, on considère habituellement que le champ d'application des souffleries ou des veines hydrauliques est limité aux nombres de Rossby élevés. Cela correspond à des domaines d'étude inférieurs à quelques kilomètres.
- **Nombre de Froude  $Fr = U^2/igL$**  : la conservation du nombre de Froude est importante pour l'étude des écoulements en présence d'effets de gravité ou d'effets thermiques (écoulements stratifiés, rejets chauds, ...). Malheureusement, il est rarement possible de conserver simultanément le nombre de Froude et le nombre de Reynolds. Dans de telles situations, on choisira de reproduire le phénomène que l'on juge prépondérant.
- **Nombre de Reynolds  $Re = UL/\nu$**  : le nombre de Reynolds représente l'importance des effets turbulents dans l'écoulement. Il est donc essentiel dans la simulation de la dispersion turbulente. Pour compenser une modification de l'échelle de longueur  $L$ , liée au passage à une échelle réduite, on peut soit modifier la vitesse du fluide, soit sa viscosité, en utilisant de l'eau à la place de l'air. La similitude exacte sur le nombre de Reynolds est cependant impossible pour des écoulements atmosphériques. En effet, le rapport des échelles de longueur entre la réalité et la maquette est généralement compris entre 100 et 10000. Etant donné que le rapport des échelles de vitesse reste de l'ordre de 1 et que le rapport des viscosités cinématiques est limité à 15 si l'on utilise de l'eau à la place de l'air, il est impossible de conserver le nombre de Reynolds. Les valeurs de  $Re$  obtenues en soufflerie ou en veine hydraulique sont généralement inférieures de plusieurs ordres de grandeur à celles observées dans l'atmosphère. Cette similitude partielle est cependant compatible avec l'étude de la dispersion turbulente. En effet, la variation du nombre de Reynolds dans un écoulement turbulent affecte principalement la taille des plus petites structures, c'est-à-dire des petits tourbillons. Or nous avons montré, au paragraphe 2.2.3, que les petits tourbillons contribuent très peu à la dispersion turbulente d'une bouffée de polluants. La similitude partielle sur le nombre de Reynolds a donc peu d'effet sur l'étude du champ moyen de concentration. Par contre, la troncature du spectre et l'atténuation des petites structures peut altérer sensiblement l'étude des fluctuations de concentration.

#### 2.3.4.2. **Mise en œuvre**

En pratique, une soufflerie ou une veine hydraulique est une conduite à l'intérieur de laquelle le fluide est mis en mouvement par un ventilateur ou une pompe. Des exemples de soufflerie et de veine hydraulique sont présentés sur la Figure 22.

Soufflerie atmosphérique du LMFA/ECL



- 1) Veine d'essai
- 2) Echangeurs thermiques
- 3) Ventilateur
- 4) Divergent
- 5) Chambre de tranquillisation, convergent et grille de turbulence

b) Veine hydraulique de Météo-France

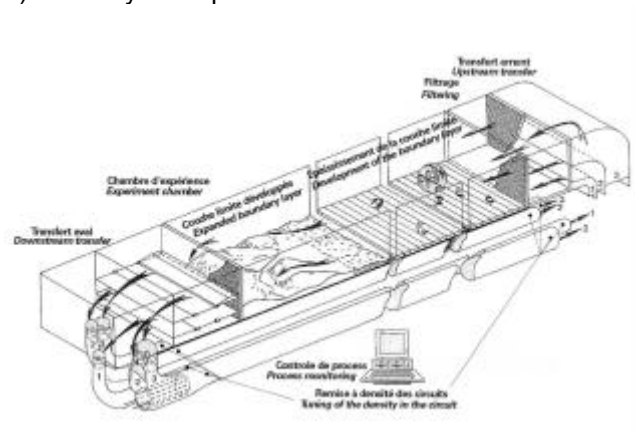


Figure 22 : Soufflerie atmosphérique de l'Ecole Centrale de Lyon (a) et veine hydraulique de Météo-France (b).

Pour reproduire en soufflerie ou en veine hydraulique un écoulement amont représentatif de la couche limite atmosphérique, plusieurs artifices techniques sont utilisés. Une grille de turbulence est placée sur toute la section d'entrée pour créer une turbulence de fond. Des ailerons placés au sol permettent de générer des gros tourbillons tandis que de la rugosité (petits cubes) est installée sur une distance de plusieurs mètres afin d'obtenir un profil de vitesse représentatif. En changeant la taille de ces éléments, il est possible de simuler artificiellement différentes conditions : zone de campagne, zone péri-urbaine, zone de centre urbain, ...

La maquette du site à étudier est placée en aval de ce dispositif. Les mesures sont réalisées avec différentes techniques dont le choix dépend de l'installation et du problème à étudier : tube de Pitot, micro-moulinet, fil chaud, anémométrie laser, anémométrie par image de particule pour la vitesse ; analyseur de gaz, analyseur d'hydrocarbures, traitement d'image pour la concentration en polluants.

**2.3.4.3. Avantages et inconvénients**

Les avantages et inconvénients de la modélisation physique sont résumés dans le Tableau 6.

<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reproduction réaliste de la complexité naturelle des phénomènes.</li> <li>• Permet de traiter des configurations géométriques complexes.</li> <li>• Permet facilement d'effectuer des études de sensibilité par rapport aux paramètres du problème.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coût souvent élevé (en raison du coût des maquettes).</li> <li>• Limitation à des échelles locales.</li> <li>• Pas de reproduction de la variabilité naturelle des conditions météorologiques.</li> <li>• Pas de chimie, de dépôt ou de modélisation des particules (en similitude).</li> </ul>

Tableau 6 : Avantages et inconvénients de la simulation physique.

## 2.4. RESUME SUR LA DISPERSION TURBULENTE

L'étude de la répartition d'une espèce dans un fluide, en particulier lorsque celui-ci est en écoulement, repose sur la notion de **concentration**. L'évolution de la concentration est due aux phénomènes d'**advection** par l'écoulement et de **diffusion moléculaire**. La **dispersion turbulente** est un mécanisme qui résulte de l'effet conjugué de l'advection et de la diffusion moléculaire. C'est un processus de dilution beaucoup plus efficace que la diffusion moléculaire. Il dépend des caractéristiques turbulentes de l'écoulement.

L'**équation d'advection-diffusion** est l'équation d'évolution de la concentration. Dans le cas d'un écoulement turbulent sans vitesse moyenne et d'un rejet instantané ponctuel, elle admet une **solution analytique** pour la concentration sous forme d'une distribution **gaussienne** dans l'espace. L'étalement d'un nuage de polluant est influencé par les différentes échelles de turbulence présentes sous forme de tourbillons dans l'écoulement. Les tourbillons de taille inférieure ou égale au nuage contribuent au mécanisme de **diffusion relative** (diffusion d'un nuage instantané autour de son centre de masse). Les tourbillons plus gros que le nuage instantané contribuent au déplacement de son centre (**diffusion du centre de masse**). La diffusion totale, correspondant à la **moyenne d'ensemble** sur un grand nombre de **réalisations** de la dispersion du nuage instantané, correspond à la somme de la diffusion relative et de la diffusion du centre de masse.

L'écart entre une réalisation particulière et le comportement moyen du nuage définit la notion de **fluctuation de concentration**. Au voisinage de la source, les fluctuations sont principalement dues à la diffusion du centre de masse (phénomène de battement) alors que pour des temps de diffusion plus importants, elles sont dues majoritairement à la diffusion relative.

Un gradient de vitesse moyenne peut augmenter fortement la dispersion turbulente dans la direction normale au gradient.

Il existe principalement quatre grandes **techniques de modélisation** de la dispersion turbulente :

- **Les modèles gaussiens** : ils sont basés sur des solutions analytiques de l'équation d'advection-diffusion couplées avec des paramétrisations semi-empiriques des principaux phénomènes physiques. On distingue les modèles de panache et les modèles à bouffées. Les modèles gaussiens fournissent une modélisation rapide adaptée aux études opérationnelles mais ne permettent pas de traiter directement des écoulements complexes.
- **Les modèles lagrangiens** : basés sur le suivi des trajectoires d'un grand nombre de particules dans l'écoulement, ils permettent de bien modéliser l'influence de la turbulence sur la dispersion. Couplé à un modèle à bouffées, ils peuvent permettre de déterminer les fluctuations de concentration. Le temps de calcul peut néanmoins être important lorsque l'on étudie un grand nombre de sources.
- **Les modèles eulériens** : basés sur la résolution de l'équation d'advection-diffusion sur un maillage, ces approches permettent de prendre en compte toute la complexité de l'écoulement. Elles peuvent cependant s'avérer coûteuse en temps de calcul et ne sont pas adaptées au voisinage des sources.
- **Les expériences en soufflerie ou en veine hydraulique** : basées sur les principes de similitude (reproduction des phénomènes sur des maquettes à échelle réduite), elles permettent de prendre en compte des écoulements turbulents très complexes. Elles sont cependant limitées à l'étude de la couche limite atmosphérique aux échelles locales (inférieures à quelques kilomètres).

### 3. METEOROLOGIE LOCALE

La dispersion des polluants dans l'atmosphère est due principalement à l'action du vent et de la turbulence qui transportent et diluent ces polluants. Afin de pouvoir comprendre les mécanismes de dispersion atmosphérique, il est donc nécessaire de décrire les caractéristiques de l'atmosphère et des principaux phénomènes météorologiques. Dans le premier paragraphe, nous présentons une vue générale de ces phénomènes. Dans le second paragraphe nous détaillons les caractéristiques de la couche limite atmosphérique sur un sol plat. Enfin, dans le troisième et le quatrième paragraphe nous décrivons comment ces caractéristiques sont modifiées en présence de relief et d'obstacles.

#### 3.1. GENERALITES

L'atmosphère est un système vaste et complexe au sein duquel il existe une multitude de phénomènes couplés. Une des difficultés, pour un modélisateur qui souhaite étudier un phénomène aussi spécifique que la dispersion de polluants à partir d'un site industriel, est d'isoler les phénomènes réellement déterminants pour la compréhension et la simulation du problème posé. L'objectif de ce paragraphe est, tout en rappelant un certain nombre de notions de base, de situer la part du système atmosphérique mise en jeu dans la dispersion à l'échelle locale.

##### 3.1.1. LES DIFFERENTES ZONES DE L'ATMOSPHERE

En raison du champ de pesanteur, orienté selon la verticale, l'atmosphère a tendance à s'organiser en couches stratifiées horizontalement. Les variations verticales de la température permettent de diviser l'atmosphère en plusieurs zones. Jusqu'à une altitude moyenne de 15 km (tropopause), la température décroît continuellement à raison d'environ 6,5°C par kilomètre. Cette zone appelée *troposphère*, est le siège de la plupart des phénomènes météorologiques et contient quasiment toute la vapeur d'eau présente dans l'atmosphère. Au-delà de la *tropopause*, la température augmente puis diminue plusieurs fois, formant plusieurs zones appelées *stratosphère*, *mésosphère*, *thermosphère* et *exosphère*.

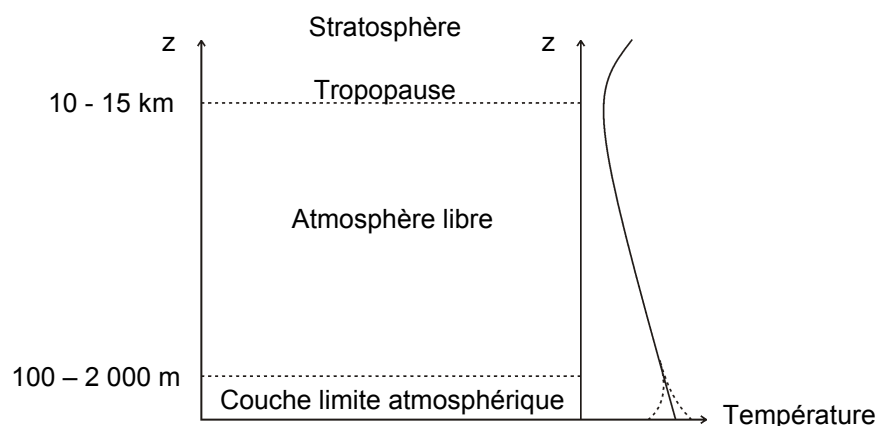


Figure 23 : Différentes zones de l'atmosphère. La partie droite de la figure illustre le profil vertical de température.

Dans la troposphère, la circulation générale de l'air à l'échelle planétaire est provoquée par un déséquilibre du bilan radiatif entre l'équateur et les pôles. En raison de la forme ellipsoïdale de la Terre, les régions équatoriales reçoivent plus de rayonnement solaire que les régions polaires



et il en résulte un flux de chaleur entre ces régions. Compte tenu de la faible efficacité des transferts de chaleur à l'intérieur des roches terrestres, les flux thermiques se font essentiellement par convection au sein des océans et de l'atmosphère. Les mouvements atmosphériques ainsi créés sont perturbés par deux effets : le frottement des masses d'air sur la surface du sol qui freine le mouvement ; la force de Coriolis (liée à la rotation de la Terre) qui dévie les flux d'air. La contribution relative de ces deux effets permet de distinguer, du point de vue dynamique, deux zones au sein de l'atmosphère :

- **L'atmosphère libre**, où les effets du frottement sur la surface de la Terre sont négligeables.
- **La couche limite atmosphérique (CLA)**, située au voisinage du sol et dans laquelle le frottement devient progressivement prépondérant par rapport à la force de Coriolis. La hauteur de la couche limite atmosphérique varie approximativement entre 100 m et 2000 m. Une description détaillée de cette zone est présentée au paragraphe 3.2.

Lorsqu'un nuage de polluant se disperse dans l'atmosphère, son extension verticale augmente au cours du temps ou lorsque la distance qu'il a parcourue augmente. Tant que le temps depuis le rejet ne dépasse pas quelques heures ou que la distance parcourue reste inférieure à une dizaine de kilomètres, on peut considérer que l'extension verticale du nuage est inférieure à la hauteur de la couche limite atmosphérique. Cela signifie que dans la plupart des problèmes relatifs à l'impact à courte distance (ou à court terme) d'un rejet dans l'atmosphère, la majeure partie des phénomènes de dispersion se développent au sein de la couche limite. C'est pourquoi nous consacrerons à cette zone le paragraphe 3.2.

Pour autant, si la majeure partie de la dispersion se développe dans la couche limite, l'écoulement atmosphérique dans cette couche peut être influencé par des phénomènes se déroulant dans toute la troposphère. Nous présentons rapidement, au paragraphe 3.1.2.2, un tour d'horizon des principaux phénomènes atmosphériques.

### 3.1.2. LES VARIABLES UTILISEES

L'analyse de l'écoulement de l'air dans l'atmosphère fait intervenir plusieurs grandeurs physiques importantes.

#### 3.1.2.1. Le vent

Le vecteur vitesse du vent  $\mathbf{u}$  est la première variable à considérer dans l'étude du mouvement atmosphérique. L'évolution de la vitesse dans l'espace et dans le temps est régie par l'équation de Navier-Stokes :

$$\underbrace{\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t}}_{\text{terme instationnaire}} + \underbrace{\mathbf{u} \cdot \nabla \mathbf{u}}_{\text{terme d'advection}} = - \underbrace{\frac{1}{\rho} \nabla P}_{\text{terme de pression}} + \underbrace{\mathbf{g}}_{\text{terme de gravité}} - \underbrace{2\mathbf{W} \times \mathbf{u}}_{\text{terme de Coriolis}} + \underbrace{\frac{\nu \Delta \mathbf{u}}{\rho}}_{\text{terme de frottement visqueux}} \quad (3.1)$$

où  $P$  représente la pression,  $\rho$  la masse volumique de l'air,  $\mathbf{g}$  l'accélération de la pesanteur,  $\mathbf{W}$  la vitesse angulaire de rotation de la Terre et  $\nu$  la viscosité cinématique de l'air. Afin de mettre en évidence l'importance relative des différents termes de cette équation, il est utile de la reformuler en adimensionnant les différentes variables par des échelles caractéristiques de l'atmosphère : la vitesse  $U_0$ , la masse volumique  $\rho_0$ , la pression  $P_0$  et la norme de la vitesse angulaire de la Terre  $\Omega_0$ . L'équation prend alors la forme adimensionnelle :

$$\frac{\partial \mathbf{u}^+}{\partial t^+} + \mathbf{u}^+ \cdot \nabla^+ \mathbf{u}^+ = - \frac{P_0}{\rho_0 U_0^2} \frac{1}{\rho^+} \nabla^+ P^+ - \frac{g L_0}{U_0^2} \mathbf{i}_z - \frac{\Omega_0 L_0}{U_0} 2 \mathbf{i}_\Omega \times \mathbf{u}^+ + \frac{\nu}{U_0 L_0} \Delta^+ \mathbf{u}^+ \quad (3.2)$$

où les variables adimensionnées sont notées avec un +. Cette équation fait apparaître des nombres sans dimension qui expriment l'importance relative des différents phénomènes :

- **Le nombre d'Euler**  $Eu^2 = \frac{\rho_0 U_0^2}{P_0}$  : rapport entre les effets d'inertie et les effets de pression.
- **Le nombre de Froude**  $Fr = \frac{gL_0}{U_0^2}$  : rapport entre les effets d'inertie et les effets de gravité, il est souvent exprimé en fonction du gradient de température. Il joue un rôle important dans les mouvements verticaux associés à la stratification thermique.
- **Le nombre de Rossby**  $Ro = \frac{U_0}{L_0 \Omega_0}$  : rapport entre les effets d'inertie et les effets de Coriolis. On remarque qu'aux échelles locales ( $L_0$  petit), le nombre de Rossby est grand ce qui signifie que les effets de la force de Coriolis sont négligeables.
- **Le nombre de Reynolds**  $Re = \frac{U_0 L_0}{\nu}$  : rapport entre les effets d'inertie et les effets visqueux. Les valeurs élevées du nombre de Reynolds dans l'atmosphère ( $>10^6$ ) indiquent que les écoulements atmosphériques sont fortement turbulents.

Le caractère turbulent du mouvement atmosphérique se traduit par des fluctuations importantes de la vitesse du vent observée en un point donné. Afin de distinguer le comportement moyen des fluctuations, on décompose souvent le vecteur vitesse instantanée comme la somme de deux termes :

$$\mathbf{u} = \bar{\mathbf{u}} + \mathbf{u}' \quad (3.3)$$

où  $\bar{\mathbf{u}}$  représente la vitesse moyenne et  $\mathbf{u}'$  la fluctuation de vitesse. Si l'on analyse la structure d'un écoulement turbulent, on constate qu'il est constitué d'une multitude de tourbillons de différentes échelles spatiales et temporelles. Chacune de ces échelles caractéristiques correspond à un type de phénomène. La Figure 24 illustre toute la gamme des phénomènes associés aux différentes échelles. On constate en particulier qu'il existe une corrélation entre l'échelle de temps et l'échelle spatiale des différents phénomènes, ce qui nous donne une idée de la vitesse caractéristique des mouvements d'air correspondants. Cela signifie également que plus la dimension caractéristique d'un phénomène est importante, plus le temps caractéristique de ce phénomène est long.

Même s'il existe des phénomènes associés à chaque échelle, il a été observé que l'énergie turbulente de l'air atmosphérique n'est pas répartie uniformément sur toutes ces échelles. Sur la gamme des échelles de temps inférieures à la semaine, la répartition d'énergie turbulente en fonction des échelles de temps est illustrée sur la Figure 25. On remarque qu'il existe deux gammes d'échelles qui contiennent beaucoup d'énergie, séparées par une zone peu énergétique, correspondant à une période caractéristique d'une heure. La première gamme correspond aux changements météorologiques associés au cycle jour-nuit et au passage des perturbations atmosphériques. La deuxième gamme correspond à la turbulence de petite échelle. Grâce à cette séparation, il sera possible de modéliser indépendamment les deux gammes d'échelles. Pour un temps de l'ordre de l'heure – qui correspond au temps caractéristique de transport des polluants sur des distances de l'ordre de quelques kilomètres – on pourra admettre que les variations météorologiques sont suffisamment lentes pour être supposées constantes et que la turbulence est suffisamment rapide pour être paramétrée par des modèles de turbulence.

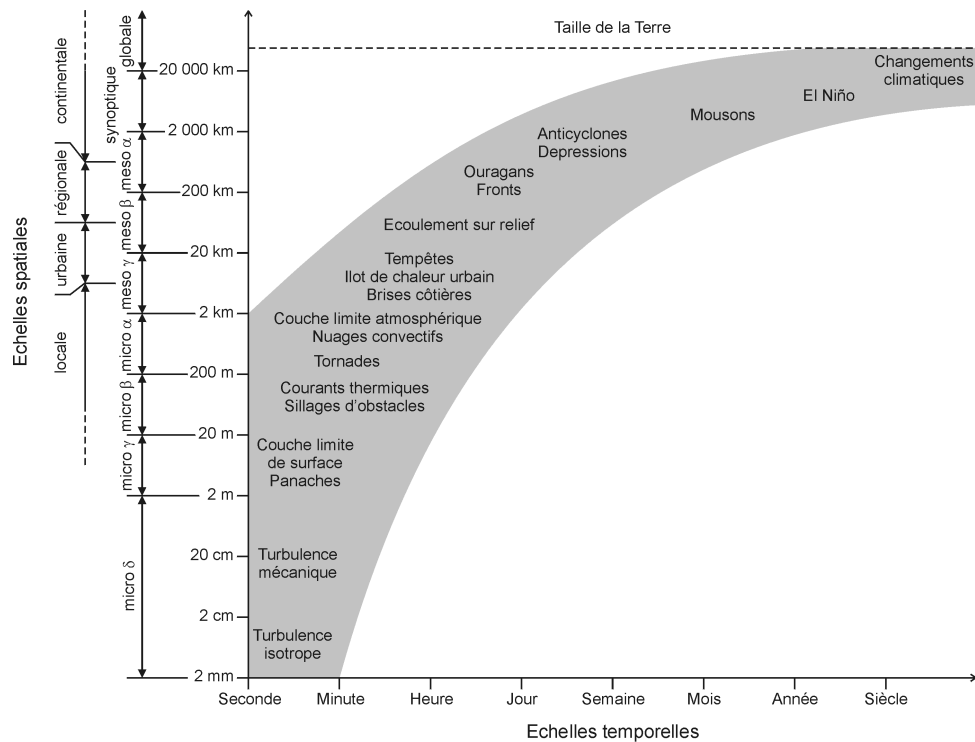


Figure 24 : Différentes échelles spatiales et temporelles des phénomènes dans l'atmosphère.

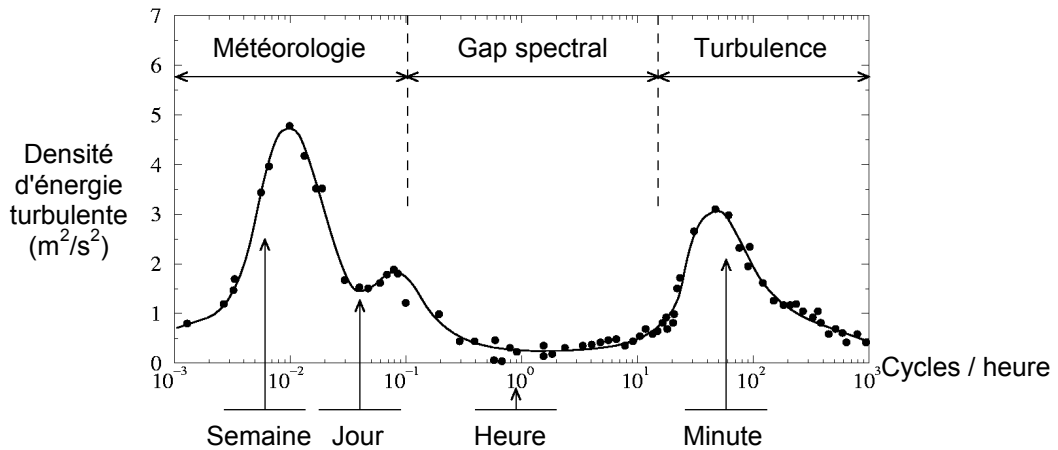


Figure 25 : Spectre d'énergie turbulente atmosphérique (d'après Van der Hoven, 1957).

### 3.1.2.2. La pression

La pression est une grandeur essentielle dans l'étude du mouvement de l'air atmosphérique. A moyenne et grande échelle (distances caractéristiques supérieures à quelques dizaines de kilomètres), il est souvent possible de négliger les mouvements verticaux de l'air devant les mouvements horizontaux. La projection verticale de l'équation 3.1 prend alors une forme simplifiée qui permet de caractériser les variations verticales de la pression :

$$\frac{\partial P}{\partial z} = -\rho g \tag{3.4}$$

Cet équilibre, appelé *équilibre hydrostatique*, est marqué par une décroissance de la pression avec l'altitude. Comme la masse volumique varie en fonction de la pression, cette décroissance n'est pas linéaire et suit plutôt le comportement illustré sur la Figure 26-a.

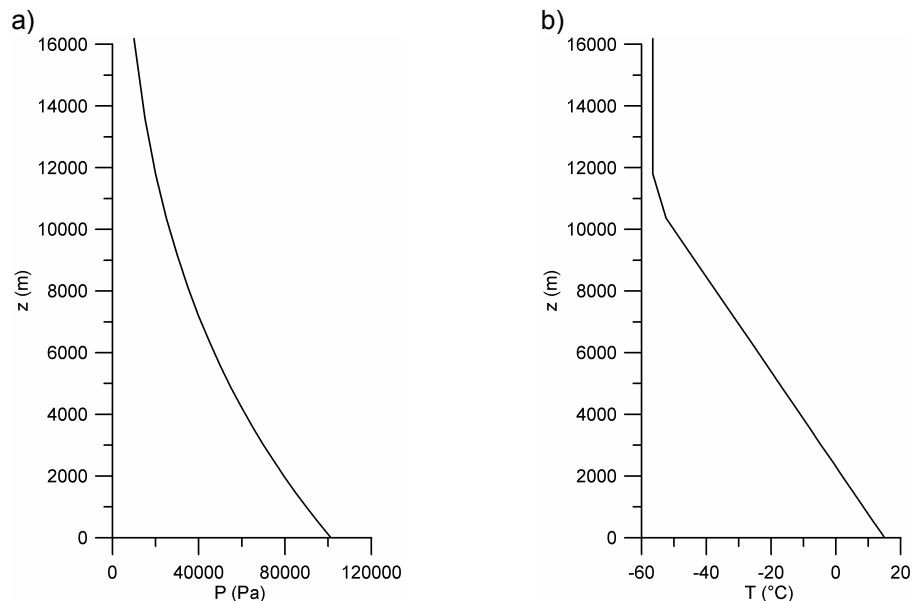


Figure 26 : Profils verticaux de pression (a) et de température (b) dans une atmosphère standard.

Aux échelles locales, inférieures à une dizaine de kilomètres, l'équilibre hydrostatique peut être perturbé par la présence de relief, de bâtiments ou par des effets de convection thermique. La détermination de la distribution de pression n'est alors possible qu'à l'aide de modèles numériques d'écoulement.

La pression n'a pas réellement d'influence directe sur la dispersion turbulente. C'est uniquement en agissant sur l'écoulement de l'air que cette variable agit sur la dispersion.

### 3.1.2.3. La température

Les écoulements atmosphériques ne sont pas isothermes. En effet, le moteur principal de ces écoulements est l'apport d'énergie par le rayonnement solaire. Le rayonnement chauffe la surface terrestre qui transmet sa chaleur à l'atmosphère par convection. Cela induit des différences de température – et donc de densité – entre les différentes zones de l'atmosphère. Sous l'effet de la gravité et de la poussée d'Archimède, il en résulte des mouvements de convection qui, à plus grande échelle, s'organisent en structures cycloniques ou anticycloniques et forment les vents météorologiques.

La température est donc une variable essentielle dans l'étude du mouvement atmosphérique. En moyenne, cette température décroît verticalement sur toute la hauteur de la troposphère, à raison d'environ 6,5°C/km (cf. Figure 26-b). Dans la couche limite atmosphérique, cette évolution n'est plus respectée et le gradient de température devient fortement dépendant de la quantité de chaleur apportée par le sol. Nous détaillerons la structure thermique de la CLA au paragraphe 3.2.3.

L'évolution verticale de la température de l'air détermine l'état de *stabilité thermique* de l'atmosphère. Dans une atmosphère au repos, la densité de l'air diminue avec l'altitude. Si, pour une raison quelconque, une particule d'air est déplacée verticalement, sa densité va varier en raison de la décroissance verticale de la pression qui s'exerce sur elle. Compte tenu de la faible

conductivité thermique de l'air, ce déplacement s'effectue sans échange de chaleur avec les particules voisines, c'est-à-dire de façon adiabatique. Si on admet que l'air atmosphérique suit l'équation d'état des gaz parfaits :

$$P = \rho R_a T \quad \text{avec } R_a = 287,05 \text{ J/kg/K pour de l'air sec} \quad (3.5)$$

alors, la variation de masse volumique de la particule d'air lors de son déplacement adiabatique vérifie la loi :

$$\rho = \rho_0 \left( \frac{P}{P_0} \right)^{\frac{1}{\gamma}} \quad (3.6)$$

où  $\gamma = c_p / c_v$ . Cette loi d'évolution de la densité de la particule au cours de son déplacement vertical n'a aucune raison d'être la même que la loi de variation de la densité de l'air environnant. En fonction des valeurs relatives des deux gradients verticaux de densité, on peut définir les trois états de stabilité de l'atmosphère (cf. Figure 27) :

- **Etat neutre** : après un déplacement vertical, la densité de la particule est la même que celle de l'air environnant. La poussée d'Archimède compense parfaitement son poids. Son mouvement n'est ni atténué, ni amplifié.
- **Etat stable** : après un déplacement vertical, la densité de la particule est plus élevée que celle de l'air environnant. La résultante de la poussée d'Archimède et du poids est orientée vers le bas. La particule subit donc une force de rappel qui la ramène à sa position initiale.
- **Etat instable** : après un déplacement vertical, la densité de la particule est plus faible que celle de l'air environnant. La résultante de la poussée d'Archimède et du poids est orientée vers le haut. Le mouvement de la particule s'amplifie indéfiniment.

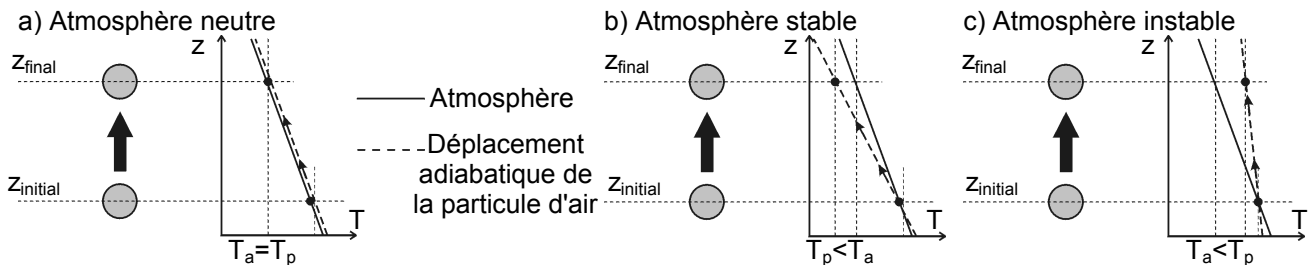


Figure 27 : Description du phénomène de stabilité atmosphérique.

Etant donné qu'en première approximation la pression est imposée par l'équilibre hydrostatique, les variations verticales de densité dépendent principalement des variations de température. Il est donc possible de reprendre le raisonnement ci-dessus en comparant le gradient vertical de température au gradient de température associé à un déplacement adiabatique. Pour simplifier l'évaluation de l'état de stabilité thermique de l'atmosphère, il est utile d'introduire la notion de *température potentielle*  $\theta$ , définie par :

$$\theta = T \left( \frac{P}{P_0} \right)^{\frac{R_a}{c_p}} \quad (3.7)$$

où  $P_0$  est une pression de référence, prise égale, par convention, à  $10^5$  Pa. On peut montrer que les trois états de stabilité se différencient en fonction du signe du gradient de  $\theta$  :

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \theta}{\partial z} = 0 \rightarrow \text{atmosphère neutre} \\ \frac{\partial \theta}{\partial z} > 0 \rightarrow \text{atmosphère stable} \\ \frac{\partial \theta}{\partial z} < 0 \rightarrow \text{atmosphère instable} \end{array} \right. \quad (3.8)$$

Une des conséquences majeures de l'état de stratification thermique est l'amplitude des mouvements verticaux de l'air atmosphérique et donc, indirectement, de la turbulence verticale. Lorsque l'atmosphère est stable, la force de rappel évoquée précédemment a pour effet d'atténuer tout mouvement vertical. Nous montrerons au paragraphe 3.3 que cela a des conséquences sur l'écoulement qui franchit un relief. De même, la turbulence verticale devient très faible. En atmosphère instable, au contraire, les mouvements verticaux sont amplifiés, ce qui génère des niveaux de turbulence élevés. Etant donné le rôle essentiel joué par la turbulence dans le processus de dispersion, l'efficacité de cette dispersion sera fortement liée à l'état de stabilité atmosphérique (cf. paragraphe 4.2).

### 3.1.3. TOUR D'HORIZON DES PHENOMENES ATMOSPHERIQUES

Nous avons rappelé plus haut que l'atmosphère est constituée d'une multitude de phénomènes couvrant une large gamme d'échelles spatiales et temporelles. Dans les paragraphes suivants, nous décrivons sommairement plusieurs phénomènes météorologiques qui n'ont pas d'interaction directe avec la dispersion dans la couche limite atmosphérique mais qui agissent indirectement sur le champ de vent et de turbulence dans cette couche limite.

#### 3.1.3.1. Rayonnement solaire et terrestre, échange sol-atmosphère

Le rayonnement solaire est une des principales sources d'énergie du système atmosphérique et la description des transferts radiatifs est une étape importante dans la modélisation de ce système. Le schéma de la Figure 28 résume les principaux mécanismes radiatifs observés dans l'atmosphère.

Les rayonnements présents dans l'atmosphère ont essentiellement trois origines : le soleil, la surface terrestre et l'atmosphère elle-même. La longueur d'onde associée à ces trois sources de rayonnement est très différente. En effet, si l'on suppose que ces systèmes se comportent comme des corps noirs, la loi de Wien permet de montrer que la longueur d'onde des rayonnements terrestre et atmosphérique se situe dans l'infrarouge, tandis que le rayonnement solaire est centré sur les longueurs d'onde visibles. C'est pourquoi on distingue généralement les comportements des ondes courtes (flux solaire) et des ondes longues (flux terrestre et atmosphérique).

Le comportement des différents rayonnements dépend d'une part de la composition de l'atmosphère (taux d'humidité, présence de nuages, polluants) et d'autre part des caractéristiques de la surface du sol. En effet, le rayonnement solaire incident, dont le flux au sommet de l'atmosphère peut être considéré comme constant, interagit avec le milieu atmosphérique (absorption, réflexion par les nuages, diffusion) avant d'atteindre la surface du sol, où une partie est réfléchi. Le rapport entre le flux incident et le flux réfléchi est l'*albedo*  $\alpha$ , qui dépend de la nature du sol. L'atmosphère elle-même émet un rayonnement qui dépend de sa composition et ce rayonnement interagit également avec le sol. Enfin, le rayonnement terrestre dépend de la température et de l'émissivité du sol. Il est aussi en partie absorbé par le milieu atmosphérique.

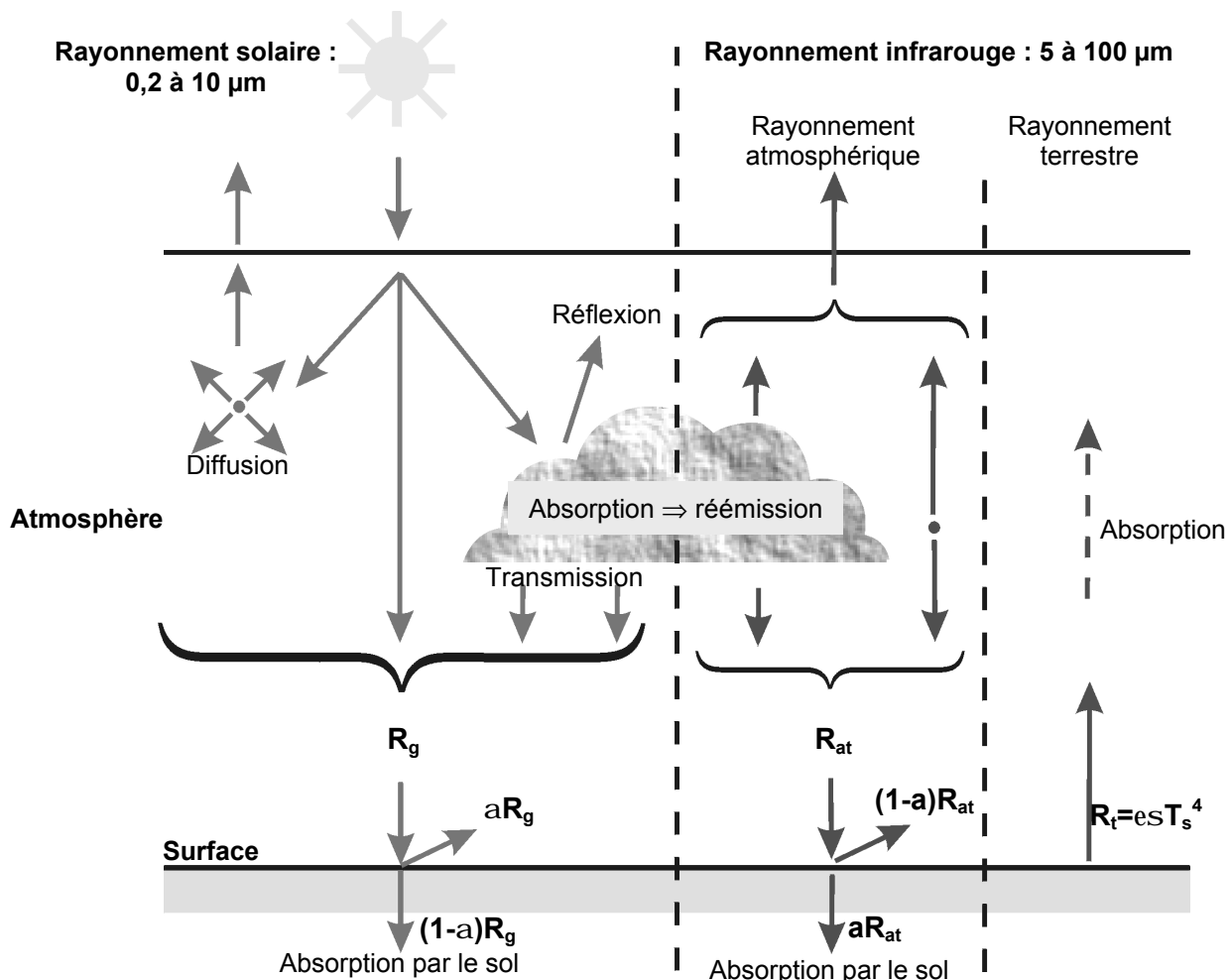


Figure 28 : Principaux mécanismes radiatifs au sein de l'atmosphère.

Toutes ces interactions conduisent à considérer une multitude de termes dans le bilan radiatif. La composition de l'atmosphère (présence de nuages et de polluants) et les propriétés du sol évoluant dans l'espace et dans le temps, la résolution du problème radiatif devrait en théorie passer par une modélisation tridimensionnelle couplée de l'ensemble du système atmosphérique, incluant les effets dynamiques, microphysiques et chimiques. En pratique, une telle approche est difficile à mettre en œuvre et ne présente pas d'intérêt pour l'étude de la dispersion dans la couche limite atmosphérique. Dans l'étude du transport des polluants dans la CLA, le rayonnement a principalement une influence sur deux processus :

- La stratification thermique qui conditionne les mouvements verticaux et l'intensité de turbulence.
- L'efficacité de certaines réactions chimiques qui dépendent de l'intensité du rayonnement reçu.

Pour prendre en compte ces deux effets, on se contentera généralement de connaître le flux radiatif net  $R_n$ , qui correspond au flux d'énergie qui arrive effectivement au niveau du sol, une fois que l'on a pris en compte tous les termes illustrés sur la Figure 28. Holtslag et Van Ulden (1983) ont proposé une paramétrisation du flux  $R_n$  qui est souvent utilisée dans les modèles de dispersion :

$$R_n = \frac{(1 - \alpha)K_{\downarrow} + (0,94 \cdot 10^{-5} T_s^2 - \varepsilon_s) \sigma T_s^4 + 60CI}{1,12} \quad (3.9)$$

avec

$$\left\{ \begin{array}{l} K_{\downarrow} = \begin{cases} (990 \sin(\psi) - 30)(1 - 0,75CI^{3,4}) & \text{le jour } (\sin(\psi) > 0) \\ 0 & \text{la nuit } (\sin(\psi) < 0) \end{cases} = \text{Flux solaire incident} \\ \sin(\psi) = \sin(\phi) \sin(\delta) + \cos(\phi) \cos(\delta) \cos\left[\frac{2\pi}{24}(t_{HTU} - 12)\right] = \text{Elévation solaire} \\ \delta = 23,45 \sin\left[\frac{2\pi}{365}(j + 284)\right] \end{array} \right.$$

où  $T_s$  est la température du sol,  $\varepsilon_s$  l'émissivité du sol,  $\sigma$  la constante de Stefan,  $CI$  la couverture nuageuse ou nébulosité (fraction du ciel couverte par des nuages),  $\phi$  la latitude,  $t_{HTU}$  l'heure locale et  $j$  le jour de l'année (1 à 365). Cette paramétrisation dépend donc des coordonnées spatio-temporelles de l'endroit considéré, des caractéristiques du sol et de la présence de nuage.

### 3.1.3.2. Force de Coriolis – Anticyclones et perturbations

La force de Coriolis, générée par la rotation de la Terre, est un phénomène déterminant des mouvements météorologiques à grande échelle. Si on simplifie l'équation 3.2 du mouvement atmosphérique, en ne conservant que les termes prédominants à grande échelle ( $L_0$  grand), on obtient pour le mouvement horizontal un équilibre entre le gradient de pression et la force de Coriolis, tous les autres effets étant négligeables :

$$2W \times \mathbf{u} = -\frac{1}{\rho} \tilde{\nabla} P \quad (3.10)$$

Cette équation, valable dans l'atmosphère libre, nous indique que le vent est perpendiculaire au gradient de pression et parallèle aux lignes isobares. Ce vent, appelé *vent géostrophique*, est illustré sur la carte de la Figure 29.

L'équation 3.10 permet d'expliquer que le vent "s'enroule" autour des zones de haute pression (dans le sens des aiguilles d'une montre dans l'hémisphère nord et dans le sens inverse dans l'hémisphère sud – on parle alors d'*anticyclone*) et des zones de basse pression (rotation en sens inverse des anticyclones – on parle de *cyclone* ou de *dépression*).

A l'intérieur de la couche limite atmosphérique, l'effet de la force de Coriolis devient progressivement négligeable devant les forces de frottement de l'air sur la surface terrestre. Néanmoins, même si la force de Coriolis n'a pas d'effet direct, l'écoulement dans la CLA dépend fortement de l'écoulement dans l'atmosphère libre qui lui dépend de cette force. Lorsque l'on souhaite étudier la dispersion turbulente dans la CLA, il n'est donc pas nécessaire de modéliser précisément l'effet de Coriolis dans la mesure où le vent que l'on s'impose dépend indirectement de cet effet.



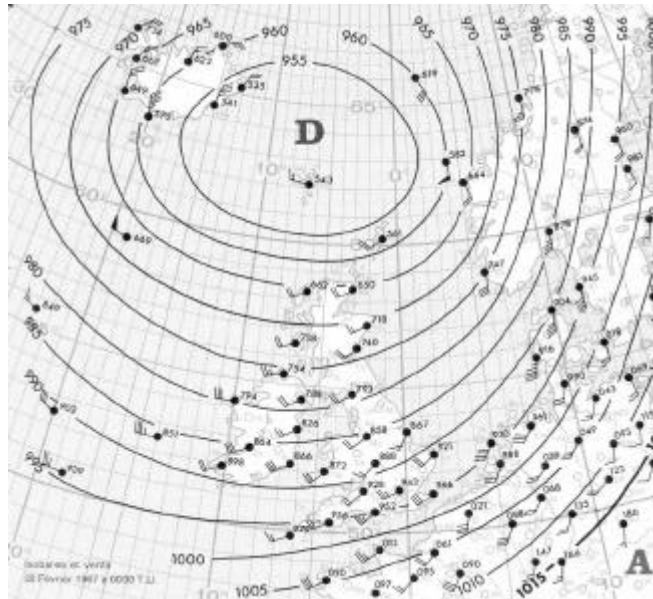


Figure 29 : Ecoulement géostrophique du vent dans un mouvement dépressionnaire. Le vent est presque parallèle aux lignes isobares.

### 3.1.3.3. Rôle de la vapeur d'eau

L'eau est présente dans l'atmosphère sous toutes ses phases :

- **Phase vapeur** : toute particule d'air contient une certaine quantité de vapeur d'eau. On peut quantifier la présence de vapeur d'eau à l'aide du *rapport de mélange* (masse d'eau/masse d'air sec), de l'*humidité spécifique* (masse d'eau/masse d'air humide) ou de l'*humidité relative* (pourcentage de vapeur par rapport à la saturation). Lorsque le taux de vapeur dépasse une valeur critique, on atteint la saturation et des particules d'eau ou de glace peuvent se former sur des noyaux de condensation.
- **Phase liquide** : l'eau liquide est présente dans l'atmosphère sous forme de gouttelettes de différentes tailles. La vitesse de chute d'une particule étant d'autant plus importante que cette particule est grosse, on peut schématiquement distinguer deux comportements distincts :
  - Gouttelettes formant des nuages (diamètre = 4 – 10  $\mu\text{m}$ , voir 100  $\mu\text{m}$  dans les nuages convectifs) : les petites gouttelettes, dont la vitesse de chute est trop faible, restent en suspension dans l'air et forment les nuages d'eau, les brumes, les brouillards ou les panaches de condensation.
  - Gouttes précipitantes (diamètre > 10-100  $\mu\text{m}$ ) : lorsque les gouttelettes dépassent une certaine taille (en raison de processus de condensation de vapeur ou de coalescence entre gouttes) leur vitesse de chute est suffisante et elles tombent pour former de la pluie.
- **Phase glace** : lorsque la température de l'air se situe en dessous de la température de solidification, l'eau peut prendre la forme de cristaux ou de gouttes gelées. En fonction de la taille de ces particules, on distingue également deux comportements :

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

- Nuages de cristaux : les nuages d'altitude (famille des cirrus) sont généralement des nuages de glace. Les particules qui les constituent sont suffisamment petites pour se maintenir en suspension dans l'air.
- Particules de glace précipitantes : au-delà d'une certaine taille, les particules de glaces tombent sous forme de précipitation et forment la neige, la grêle ou le grésil. Parfois, les particules de glace se réchauffent suffisamment au cours de leur chute pour se transformer en pluie.

Les mécanismes qui régissent les transformations entre les différentes structures de l'eau atmosphérique sont très complexes et ne présentent pas d'intérêt pour l'étude de la dispersion atmosphérique. Pour autant, la présence d'eau dans l'atmosphère influence de nombreux phénomènes météorologiques qui agissent sur la dispersion atmosphérique :

- **Effet sur le rayonnement** : la présence de nuages filtre une partie du rayonnement solaire mais également du rayonnement terrestre. Cela signifie que durant la journée, la présence de nuages diminue le flux radiatif net  $R_n$  arrivant au sol (cf. équation 3.9) alors que pendant la nuit, elle limite la déperdition d'énergie et le refroidissement du sol. Ce processus a des conséquences sur la stabilité thermique de l'atmosphère (voir paragraphe 3.2.3) et sur les réactions photochimiques.
- **Effet thermodynamique** : la proportion de vapeur d'eau dans l'air modifie les propriétés thermodynamiques du mélange air-vapeur, appelé *air humide*. En particulier, la constante  $R_a$  intervenant dans l'équation d'état 3.5 est modifiée. Il en résulte que la stabilité thermique de l'air humide est différente de celle de l'air sec. Cette modification doit être prise en compte dans l'étude de la dispersion dans la couche limite atmosphérique.
- **Effet mécanique de lessivage de l'atmosphère** : la pluie conduit à un lessivage des polluants atmosphériques par absorption de ces polluants dans les gouttes lors de leur chute. Les polluants ainsi absorbés sont transférés vers le sol et ne sont plus présents dans l'air. Il est donc essentiel de prendre en compte ce phénomène que l'on appelle *dépôt humide* (voir paramétrisation au paragraphe 4.6.2).
- **Effet sur des transformations chimiques** : la vapeur d'eau intervient dans certaines réactions chimiques mettant en jeu des polluants atmosphériques. Parfois, ce sont les polluants absorbés dans les gouttelettes d'un nuage qui réagissent en phase aqueuse. Toutes ces réactions modifient les concentrations de polluants dans l'air et il est donc nécessaire de les prendre en compte lorsqu'elles se produisent (voir le paragraphe 4.3.1).
- **Interaction avec des rejets de vapeur** : lorsque le rejet industriel contient de la vapeur d'eau, il peut se former un panache de condensation qui constitue une gêne visuelle ou qui favorise certaines réactions conduisant à des composés nocifs. Plus le taux d'humidité dans l'air ambiant est élevé, plus le panache atteint facilement l'état de saturation et donc plus les conséquences peuvent être importantes. La modélisation de ce phénomène suppose la connaissance du taux d'humidité dans l'air.

Dans les différents processus précédents, on constate que lorsque l'on s'intéresse à la dispersion, il n'est généralement pas nécessaire de représenter le détail des phénomènes faisant intervenir l'eau atmosphérique. Il suffit souvent de connaître le taux d'humidité moyen et la couverture nuageuse du site considéré.

### 3.2. DESCRIPTION DYNAMIQUE ET THERMIQUE DE LA COUCHE LIMITE ATMOSPHERIQUE SUR TERRAIN PLAT

Ce paragraphe présente les caractéristiques de la couche limite atmosphérique sur un terrain plat dégagé. Il s'agit de décrire la structure essentiellement verticale du vent, de la turbulence, de la température, étant entendu que ces paramètres sont déterminants dans l'étude de la dispersion des polluants. Dans ce paragraphe, nous nous intéresserons essentiellement à la couche limite qui se développe sur un terrain plat infini et dont les propriétés sont homogènes horizontalement. Une description des situations plus générales où le terrain est hétérogène est effectuée aux paragraphes 3.2.2.4 et 3.2.3.3.

#### 3.2.1. CARACTERISTIQUES GENERALES DE LA COUCHE LIMITE ATMOSPHERIQUE

La couche limite atmosphérique est la partie inférieure de l'atmosphère, à l'intérieur de laquelle les effets du sol influencent directement l'écoulement. Ces effets concernent le frottement de l'air sur le sol mais également l'apport de chaleur ou d'humidité par échange à la surface, qui modifie la stabilité thermique dans la couche limite.

L'extension verticale de la couche limite atmosphérique varie entre 100 m et 2000 m, en fonction des caractéristiques du sol, de l'ensoleillement et de l'historique de la couche. En réalité, il est difficile de définir la hauteur de la CLA sans décrire plus en détail la structure dynamique et thermique de cette partie de l'atmosphère.

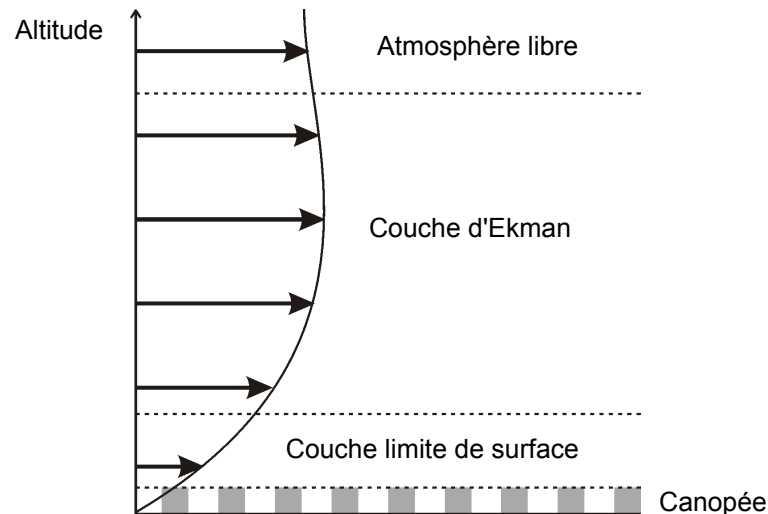


Figure 30 : Différentes zones de la couche limite atmosphérique.

D'un point de vue dynamique, c'est-à-dire du point de vue de l'écoulement, on distingue généralement trois zones distinctes dans la couche limite atmosphérique (cf. Figure 30) :

- **La couche de transition d'Ekman**, dans la partie supérieure, à l'intérieur de laquelle les effets du frottement sur le sol et les effets de Coriolis s'équilibrent.
- **La couche limite de surface (CLS)**, dans la partie la plus proche du sol, dans laquelle la force de Coriolis peut être négligée devant l'effet du frottement. L'épaisseur de cette zone est de l'ordre de 10 % de l'épaisseur totale de la couche limite atmosphérique. Cette zone sera décrite en détail aux paragraphes 3.2.2 et 3.2.3.

- **La canopée**, zone dans laquelle on peut identifier l'effet individuel des obstacles (micro-relief, bâtiments, arbres) et leurs interactions. La canopée est peu développée en milieu rural dégagé mais devient importante en milieu urbain. Elle peut alors atteindre plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur.

Nous montrerons au paragraphe suivant que l'équilibre dynamique est contrôlé par l'échange turbulent qui s'établit entre les différentes couches de l'écoulement. Or l'efficacité de cet échange turbulent dépend beaucoup de l'état de stabilité thermique de la couche limite atmosphérique. La structure thermique verticale de la CLA est déterminée par la quantité de chaleur apportée par le sol. Cette quantité évolue au cours du temps, principalement en fonction du rayonnement reçu. Cela conduit généralement à observer un cycle journalier de la structure thermique de la CLA, associé à l'évolution du rayonnement reçu par le sol au cours d'une journée. Ce cycle est illustré sur la Figure 31.

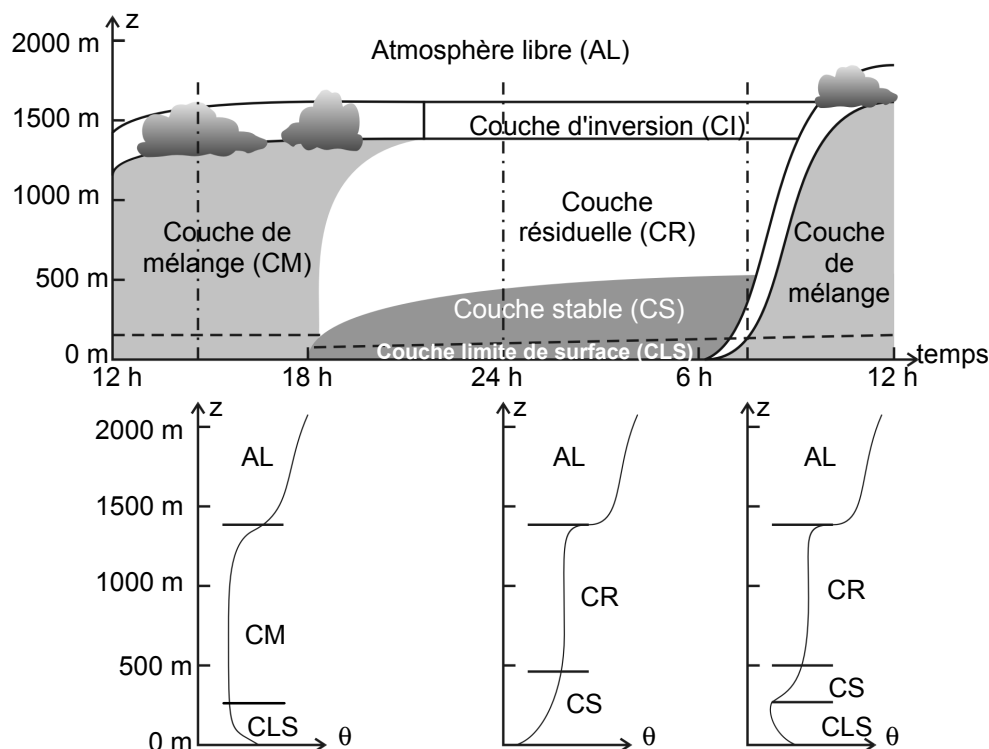


Figure 31 : Evolution de la structure thermique de la couche limite atmosphérique au cours d'une journée. Les profils représentés dans la partie inférieure du graphique illustre la variation verticale de la température potentielle à différentes heures de la journée.

Au cours de la journée, le sol est chauffé par le rayonnement solaire et restitue une partie de cette énergie à l'air situé au voisinage du sol. Le réchauffement des couches inférieures de la CLA conduit à une instabilité qui se caractérise par l'apparition de mouvements convectifs importants. Ces mouvements génèrent un niveau de turbulence élevé au sein d'une couche relativement épaisse, appelée *couche de mélange*, qui atteint entre 1000 et 2000 m. Cette hauteur dépend du flux radiatif net au niveau du sol (qui est fonction, entre autres, de la couverture nuageuse – cf. paragraphe 3.1.3.1) et des propriétés de la surface. En particulier, la couche de mélange sera plus épaisse par temps clair qu'en présence de nuages et plus épaisse au-dessus d'une surface artificielle (zone urbaine ou industrielle) qu'au-dessus d'une surface naturelle constituée de végétation.

Au moment du coucher du soleil, le flux solaire reçu par le sol devient nul si bien que le bilan radiatif total de la surface s'inverse : le sol se refroidit par rayonnement. Il devient alors rapidement plus froid que l'air situé au-dessus si bien que le sol se met à "pomper" la chaleur de l'atmosphère et à refroidir celle-ci. Ce refroidissement de la base de la CLA conduit à l'établissement d'une couche stable au voisinage du sol. Etant donné qu'une couche stable est

très peu turbulente, elle ne se mélange pas et donc s'étend peu verticalement. La hauteur de la couche stable dépend de l'intensité du refroidissement du sol, qui est lui-même fonction des propriétés du sol et de la présence de nuages. En particulier, la présence de nuage limite ce refroidissement par le mécanisme d'effet de serre. L'air qui se trouve au-dessus de la couche stable et qui faisait auparavant partie de la couche de mélange, constitue une couche convective qui n'est plus entretenue par apport de chaleur par le bas. Cette couche, appelée *couche résiduelle*, tend alors rapidement vers une stratification neutre. Au cours de la nuit, la couche stable se développe lentement au détriment de la couche résiduelle.

Au lever du jour, le sol est à nouveau chauffé par le rayonnement solaire et apporte un flux de chaleur positif à l'écoulement. La structure nocturne, constituée d'une couche stable et d'une couche résiduelle, est rapidement brisée par l'instabilité convective et en quelques heures, une nouvelle couche de mélange s'établit. Ce cycle se reproduit de jour en jour, avec plus ou moins les mêmes caractéristiques, même si les hauteurs des différentes couches varient en fonction de la période de l'année ou de la présence de nuages.

Dans les paragraphes suivants, nous allons présenter les principaux résultats théoriques et expérimentaux concernant la couche limite atmosphérique et plus particulièrement la couche limite de surface. En effet, c'est généralement dans cette zone que se situent à la fois les émetteurs et les récepteurs de polluants et il est donc important de connaître la dynamique de l'écoulement correspondant. Nous ne détaillerons pas les caractéristiques de la couche d'Ekman car son influence sur la compréhension des mécanismes de dispersion des polluants n'est pas essentielle. Il faut cependant noter qu'une paramétrisation de cette couche est généralement intégrée dans les préprocesseurs météorologiques des modèles de dispersion. La zone de canopée sera quant à elle décrite au paragraphe 3.4 où nous nous intéresserons à l'influence des bâtiments.

### 3.2.2. LA COUCHE LIMITE DE SURFACE THERMIQUEMENT NEUTRE

Pour bien comprendre les caractéristiques de la couche limite de surface, il est utile de commencer par une description d'un état de stratification neutre, où les phénomènes ne sont pas modifiés par les forces de flottabilité thermique.

La couche limite atmosphérique est caractérisée par l'existence de flux verticaux des différentes grandeurs de l'écoulement :

- **Flux de quantité de mouvement** (ou de vitesse), orienté vers le bas. Il est dû aux forces de frottement exercées par le sol.
- **Flux de chaleur**, apporté ou évacué par le sol, en fonction de l'équilibre énergétique de la surface terrestre. Il est donc orienté vers le haut (conditions instables) ou vers le bas (conditions stables).
- **Flux d'humidité**, apporté ou évacué par le sol, en fonction de la quantité d'eau qu'il contient et de la nature de la surface.

A priori, chacun de ces flux peut varier avec l'altitude, ce qui traduit l'idée que dans une couche donnée de l'atmosphère, l'air peut "stocker" ou "perdre" ces différentes grandeurs : la quantité de mouvement (par exemple destruction par dissipation visqueuse), la chaleur (apportée par exemple par le rayonnement) ou l'humidité (qui peut s'accumuler pour former un nuage). Pour prédire l'évolution des paramètres de la couche limite atmosphérique, il est donc important de connaître la valeur des flux imposés à la surface du sol. Nous reviendrons plus loin sur la détermination de ces flux.

Dans une couche d'air suffisamment fine située au voisinage du sol, le stockage ou la perte des grandeurs précédentes est faible devant la valeur des flux entrant et sortant de la couche, si bien que l'on peut supposer que ces flux ne varient quasiment pas avec la hauteur. Cette zone

où les flux verticaux évoluent peu est appelée *couche à flux constants* ou *couche limite de surface*. C'est à cette zone que nous allons nous intéresser par la suite.

### 3.2.2.1. Profil de vitesse

D'un point de vue dynamique, la couche limite de surface en atmosphère neutre est donc caractérisée par un flux de quantité de mouvement constant avec la verticale. Ce flux correspond à la contrainte turbulente (ou contrainte de Reynolds)  $\tau_0$ , définie par :

$$\tau_0 = \rho \overline{u'w'} \Big|_{z=0} \quad (3.11)$$

A partir de  $\tau_0$ , on définit par convention la *vitesse de frottement* par la relation :

$$u_* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}} \quad (3.12)$$

Pour déterminer le profil de vitesse dans la CLS, nous allons relier la contrainte de Reynolds au gradient vertical de vitesse :

$$\overline{u'w'} \Big|_{z=0} = -u_*^2 = -K \frac{\partial u}{\partial z} \quad (3.13)$$

où  $K$  est un coefficient de diffusivité turbulente. Cette relation n'est qu'une représentation particulière des mécanismes de turbulence (on parle de *modèle de turbulence*) mais elle constitue une bonne approximation de la réalité des phénomènes observés dans la CLS. La diffusivité  $K$  exprime la capacité de l'écoulement à faire diffuser verticalement la quantité de mouvement, sous l'effet de la turbulence. Il est montré au chapitre 2 que c'est également ce paramètre qui contrôle la diffusion verticale des polluants. On peut l'exprimer simplement sous la forme :

$$K = \kappa u_* z \quad (3.14)$$

où  $\kappa$  est une constante de proportionnalité, appelée *constante de Karman* ( $\kappa \simeq 0,4$ ). Nous reviendrons au paragraphe 3.2.2.3 sur l'interprétation de la relation précédente du point de vue de la turbulence. Si l'on introduit l'équation 3.14 dans l'équation 3.13 et qu'on intègre par rapport à  $z$  en considérant  $u_*$  constante, on obtient une description du profil de vitesse dans la CLS :

$$u(z) = \frac{u_*}{\kappa} \ln \left( \frac{z}{z_0} \right) \quad (3.15)$$

où  $z_0$  est la constante d'intégration. Physiquement,  $z_0$  est homogène à une longueur et correspond à la hauteur à laquelle le profil de vitesse s'annule. C'est pourquoi on appelle ce paramètre la *longueur de rugosité aérodynamique* ou plus simplement la *rugosité*. C'est un paramètre caractéristique du sol qui exprime sa capacité à freiner l'écoulement. Il dépend essentiellement de la présence d'obstacles. Nous présenterons au paragraphe 3.2.2.2 les principales méthodes permettant de déterminer ce paramètre.

La relation 3.15 exprime l'augmentation de la vitesse avec l'altitude. Ce *profil logarithmique* de vitesse est illustré sur la Figure 32 pour trois valeurs de rugosité et en considérant la même vitesse au sommet de la CLS. On observe sur cette figure que plus le sol est rugueux, plus le profil de vitesse est "freiné" à des altitudes élevées. En effet, d'un point de vue mathématique, l'équation 3.15 nous indique que pour une même vitesse au sommet de la CLS, la vitesse de

frottement augmente en fonction de la rugosité. La contrainte de frottement au sol  $\tau_0$ , qui est une fonction croissante de  $u_*$ , augmente donc lorsque la rugosité augmente.

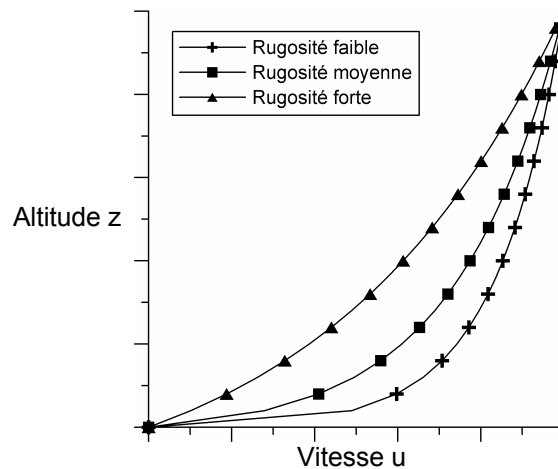


Figure 32 : Profil de vitesse dans une couche limite logarithmique, pour différentes valeurs de rugosité.

D'un point de vue physique, la présence de rugosité a pour effet de créer de la turbulence ( $z_0 \nearrow$  implique  $u_* \nearrow$  implique  $K \nearrow$ ), ce qui facilite la diffusion de quantité de mouvement de l'air atmosphérique vers le sol. L'épaisseur de la couche, où l'écoulement est ralenti, est donc d'autant plus épaisse que la rugosité du sol est forte. C'est ainsi qu'il a été observé que l'épaisseur de la couche limite atmosphérique en stratification neutre est proportionnelle à la vitesse de frottement. Parmi les nombreuses paramétrisations de cette hauteur, citons par exemple la formule de Nieuwstadt et Tennekes (1981) :

$$h_{CLA} = 0,3 \frac{u_*}{f} \quad (3.16)$$

où  $f$  est le paramètre de Coriolis, égal à  $2 \Omega_0 \sin(\phi)$ .

La relation 3.15 est certainement l'approche la plus utilisée pour décrire le profil vertical de vitesse dans la couche limite de surface en atmosphère neutre. Il faut d'ailleurs noter que ce profil constitue souvent une bonne approximation de la vitesse bien au-dessus de la CLS. C'est pourquoi de nombreux modèles de dispersion ne s'appuient que sur cette formule.

Lorsque les obstacles ou la végétation présents sur le sol ont une hauteur moyenne  $H$  qui est importante, il faut modifier l'équation 3.15 pour tenir compte du fait que la force due à ces obstacles s'exerce à une hauteur située entre 0 et  $H$ . Pour cela, on introduit une épaisseur de déplacement  $d$  dans l'équation 3.15 :

$$u(z) = \frac{u_*}{\kappa} \ln\left(\frac{z-d}{z_0}\right) \quad (3.17)$$

Des paramétrisations de  $d$  sont présentées au paragraphe 3.2.2.2. Avec la formule précédente, la vitesse s'annule à une hauteur égale à  $d + z_0$ . Or cela pose deux problèmes pratiques. D'une part, il est nécessaire de fournir une autre relation pour décrire le profil de vitesse en dessous de  $d + z_0$ . D'autre part, la vitesse réelle ne s'annule pas à cette hauteur mais plutôt au niveau du sol. En pratique, on admet généralement que la formule 3.17 ne s'applique qu'au-dessus d'une certaine hauteur, évaluée par Raupach *et al.* (1980) à  $H+1,5W$ , où  $W$  représente l'espacement moyen entre les obstacles.

Il existe une autre formule, pour décrire le profil de vitesse dans la CLS, qui est basée sur l'utilisation d'une loi de puissance :

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

$$u(z) = U_1 \left( \frac{z}{z_1} \right)^n \quad \text{ou} \quad u(z) = U_1 \left( \frac{z-d}{z_1} \right)^n \quad (3.18)$$

où  $U_1$  est la vitesse à une hauteur  $z_1$  quelconque et  $n$  est un exposant qui dépend de la structure du sol, et en particulier de sa rugosité. Une relation empirique entre  $n$  et  $z_0$  est présentée au paragraphe 3.2.2.2. Le profil en loi de puissance n'est fondé sur aucun raisonnement théorique. Il s'agit uniquement d'une formule analytique relativement simple qui décrit assez bien l'évolution verticale de la vitesse. Elle est cependant beaucoup moins utilisée dans les modèles de dispersion que les relations 3.15 ou 3.17.

### 3.2.2.2. Rugosité du sol et épaisseur de déplacement

Nous avons montré au paragraphe précédent que la forme du profil de vitesse dans la couche limite de surface dépend des caractéristiques du sol à travers les paramètres  $z_0$  (ou  $n$ ) et  $d$ . De nombreuses approches ont été développées pour fournir des valeurs réalistes de ces paramètres pour différents types de sols.

L'approche la plus élémentaire a consisté à établir des tables de valeurs de rugosité pour les principaux types de terrains rencontrés. Wieringa (1993) a effectué une synthèse de ce type d'approches et propose le tableau suivant :

Type de sol	Rugosité aérodynamique (m)
Mer, sable et neige transportés par le vent	0,0002 (dépend du vent)
Béton, désert plat,	0,0002 – 0,0005
Champ plat de neige	0,0001 – 0,0007
Champ de glace rugueuse	0,001 – 0,012
Sol en jachère	0,001 – 0,004
Herbe courte et mousse	0,008 – 0,03
Herbe longue et bruyère	0,02 – 0,06
Culture peu avancée	0,04 – 0,09
Culture à maturation	0,12 – 0,18
Broussaille continue	0,35 – 0,45
Forêt de pins matures	0,8 – 1,6
Forêt tropicale	1,7 – 2,3
Bâtiments éloignés (banlieues)	0,4 – 0,7
Ville à bâti continu	0,7 – 1,5

Tableau 7 : Rugosité aérodynamique pour différents types de sols (d'après Wieringa, 1993).

Si les approches typologiques sont souvent suffisantes pour des sols peu rugueux (souvent des sols naturels) où le rôle de la rugosité est secondaire et où on ne dispose de toute façon pas de données pour caractériser précisément le sol, elles s'avèrent souvent inadaptées pour décrire la variété de situations rencontrées en zones urbaines ou industrielles. Il est alors nécessaire d'utiliser des approches *morphométriques*, basées sur la description des dimensions géométriques des obstacles.

Les premières études sur les couches limites sur des parois rugueuses ont été réalisées sur des parois recouvertes de grains de sable (Nikuradse, 1933). Il a alors été montré que la rugosité aérodynamique correspondante est égale à  $1/30^e$  de la taille des grains (rugosité réelle). Depuis, de nombreux modèles ont été proposés pour paramétrer la rugosité d'un ensemble d'obstacles (voir la synthèse de Grimmond et Oke, 1999). La plupart de ces modèles sont basés sur des développements analytiques couplés à des expériences en soufflerie, sur des groupes réguliers d'obstacles, ou à des mesures de terrain. La plupart de ces modèles fournissent également l'épaisseur de déplacement  $d$ . Les paramètres géométriques utilisés pour décrire les obstacles sont la densité d'obstacles au sol  $\lambda_p$  et la densité frontale  $\lambda_f$ , définies sur la Figure 33-a. L'allure générale des lois d'évolution de  $z_0$  et  $d$  en fonction de  $\lambda_p$  est illustrée sur la Figure 33-b.



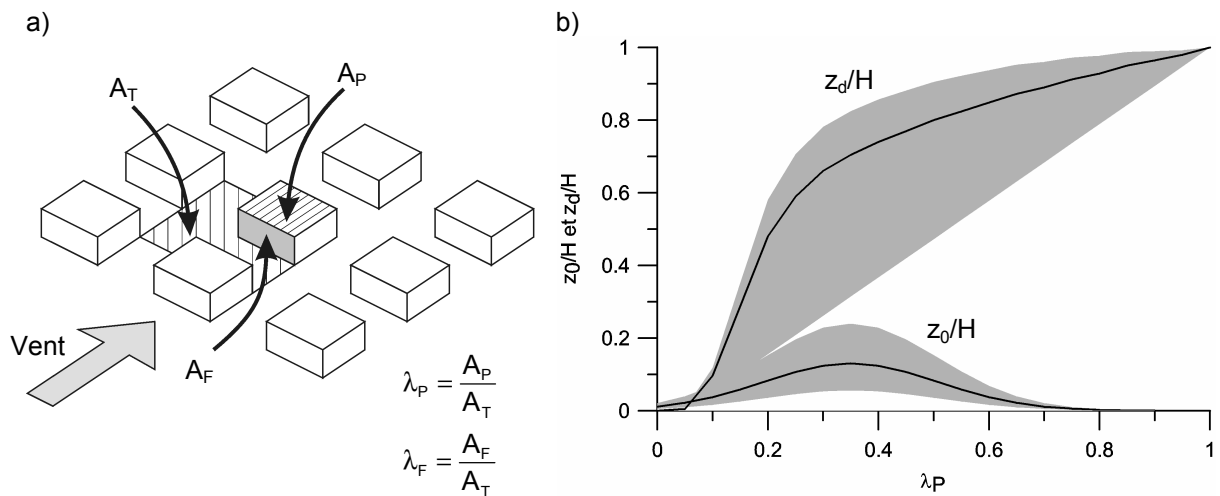


Figure 33 : (a) Définition des paramètres  $\lambda_P$  et  $\lambda_F$  et (b) allure de l'évolution de  $z_0$  et  $z_d$  en fonction de la densité d'obstacles au sol  $\lambda_P$  (d'après Grimmond et Oke., 1999). La courbe noire correspond à l'allure moyenne et la zone grisée à la plage de variabilité des données expérimentales.

A titre d'exemple, la formule 3.19 correspond au modèle particulier proposé par MacDonald et al. (1998) :

$$\begin{cases} \frac{d}{H} = 1 + \alpha^{-\lambda_P} (\lambda_P - 1) \\ \frac{z_0}{H} = \left(1 - \frac{d}{H}\right) \exp \left[ - \left( \frac{1}{2} \beta \frac{C_D}{\kappa^2} \left(1 - \frac{d}{H}\right) \lambda_F \right)^{-\frac{1}{2}} \right] \end{cases} \quad (3.19)$$

où  $C_D$  représente le coefficient de traînée moyen des obstacles et  $\alpha$  et  $\beta$  des constantes, évaluées respectivement à 4,43 et 1 pour des obstacles cubiques en quinconce et à 4,43 et 0,55 pour des obstacles alignés.

Dans le cas d'une surface mouvante, c'est-à-dire qui se déforme sous l'effet du vent (exemple de la mer, de la neige légère ou du sable), la rugosité devient dépendante de la vitesse du vent. Un modèle assez général a été proposé par Charnock (1955) pour déterminer la rugosité dans cette situation :

$$z_0 = \alpha_c \frac{u_*^2}{g} \quad (3.20)$$

où  $\alpha_c$  est la constante de Charnock, dont la valeur est de l'ordre de 0,016.

Lorsque l'on souhaite utiliser un profil de vitesse en loi de puissance, il est nécessaire de préciser l'exposant  $n$  en fonction du type de sol. Il existe beaucoup moins de paramétrisations que pour le coefficient  $z_0$ . Par contre, il est possible de se ramener aux paramétrisations de la rugosité en utilisant la relation  $n=f(z_0)$  indiquée sur la Figure 34.

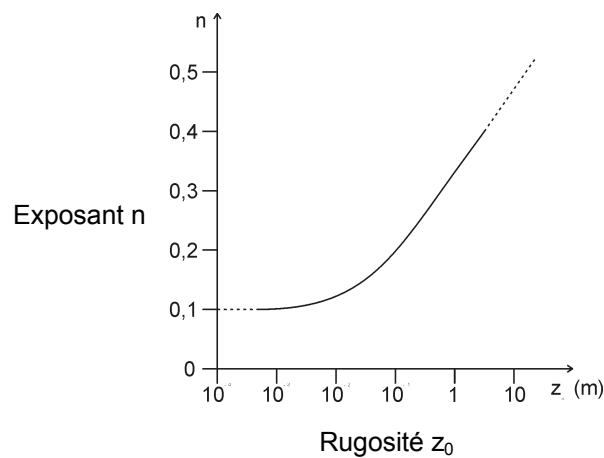


Figure 34 : Relation entre l'exposant  $n$  de la loi de puissance et la rugosité aérodynamique  $z_0$  (d'après Davenport, 1963).

### 3.2.2.3. Turbulence dans la couche limite de surface

Nous avons rappelé plus haut que la CLS est caractérisé par un flux vertical de quantité de mouvement constant. Une autre caractéristique de cette zone est que les termes de production et de dissipation d'énergie cinétique turbulente  $k$  (on rappelle que  $k = 0,5[\sigma_u^2 + \sigma_v^2 + \sigma_w^2]$ ) se compensent. On a ainsi :

$$\underbrace{-\overline{u'w'}}_{\text{Production d'énergie turbulente}} \frac{\partial u}{\partial z} - \underbrace{\varepsilon}_{\text{Dissipation d'énergie turbulente}} = 0 \quad (3.21)$$

Dans une couche limite neutre, la production d'énergie turbulente est liée au gradient de vitesse. En effet, c'est le frottement des couches de fluide les unes sur les autres qui génère des tourbillons dans l'écoulement. Plus le frottement, et donc le cisaillement, est important (par exemple lorsque la rugosité est forte), plus l'écoulement est turbulent. Pour vérifier cette règle, déterminons la valeur de l'énergie cinétique turbulente  $k$  à partir des valeurs des écarts-types des fluctuations de vitesse  $\sigma_u$ ,  $\sigma_v$  et  $\sigma_w$ . Il a été montré expérimentalement que ces fluctuations sont proportionnelles à  $u_*$  et constantes verticalement dans toute la CLS :

$$\frac{\sigma_u}{u_*} = 2,4 ; \quad \frac{\sigma_v}{u_*} = 1,9 ; \quad \frac{\sigma_w}{u_*} = 1,25 \quad (3.22)$$

Cela implique que  $k$  est constante et égale à :

$$k = 5,47u_*^2 \quad (3.23)$$

Comme  $u_*$  est directement liée à la contrainte de cisaillement  $\tau_0$ , on vérifie ainsi que l'écoulement est bien d'autant plus turbulent que le frottement au sol est élevé.

En introduisant l'équation 3.14 dans 3.21, on montre également que les taux de production et de dissipation de  $k$  sont égaux à :

$$P_k = \varepsilon = \frac{u_*^3}{\kappa z} \quad (3.24)$$

On montre ainsi que c'est au voisinage du sol – là où le cisaillement est le plus fort – que la production de turbulence est la plus importante.

Au paragraphe 3.2.2.1, nous avons posé que la diffusivité turbulente  $K$  est proportionnelle à  $u_*$  et à l'altitude  $z$  (équation 3.14). Il est maintenant possible d'interpréter physiquement cette hypothèse. La diffusivité turbulente exprime la capacité de l'écoulement à faire diffuser une grandeur, en l'occurrence la quantité de mouvement (voir chapitre 2 sur la dispersion turbulente).  $K$  doit donc être d'autant plus grande que l'écoulement est turbulent. Or nous venons de montrer ci-dessus que dans une couche limite, la turbulence est fonction du cisaillement et donc de  $u_*$ . C'est pourquoi  $u_*$  intervient dans l'expression de  $K$ . La dépendance par rapport à  $z$  provient du fait que la dispersion turbulente est déterminée par les plus gros tourbillons de l'écoulement. Or dans une couche limite, plus on s'éloigne du sol, plus il est possible d'observer des gros tourbillons (on dit que le sol "filtre" les tailles de tourbillons). L'efficacité de la dispersion turbulente doit donc augmenter lorsque l'on s'éloigne de la paroi.

#### 3.2.2.4. Couche limite sur un terrain hétérogène

Nous avons vu que les caractéristiques de la vitesse et de la turbulence du vent sont fortement influencées par les propriétés du sol et en particulier par la rugosité. Lorsque le sol n'a pas des propriétés uniformes d'un endroit à l'autre, on peut donc s'attendre à ce que l'écoulement atmosphérique ne soit pas homogène horizontalement.

Pour caractériser les variations horizontales du champ de vitesse sur un sol hétérogène, nous allons décrire le cas d'un saut de rugosité. Considérons un terrain divisé en deux parties : pour  $x < 0$ , la rugosité vaut  $z_{01}$  et pour  $x > 0$ , la rugosité est égale à  $z_{02} > z_{01}$  (cf. Figure 35). Si le vent souffle dans la direction  $x$ , on observe que l'écoulement pour  $x < 0$  correspond à un écoulement sur un sol uniforme de rugosité  $z_{01}$ . Pour  $x > 0$ , la zone influencée par le deuxième type de sol s'accroît verticalement lorsque  $x$  augmente. Dans cette zone, appelée *couche limite interne*, l'écoulement correspond à l'écoulement sur un sol uniforme de rugosité  $z_{02}$ . Le cisaillement et la turbulence  $y$  sont plus importants que dans l'écoulement amont. Entre cette couche et la zone extérieure où l'écoulement garde les propriétés de l'amont, se trouve une couche de transition à l'intérieur de laquelle le profil de vitesse ne peut pas être prédit par les relations des paragraphes précédents. La hauteur totale de la zone perturbée (couche limite interne + zone de transition) peut être modélisée par l'équation approchée (Walmsley, 1989 ; Garratt, 1990) :

$$\frac{h_{CLinterne}}{z_{02}} = a \left( \frac{x}{z_{02}} \right)^{0,8} \quad (3.25)$$

où  $a$  est une constante qui varie entre 0,25 et 1 selon les auteurs.

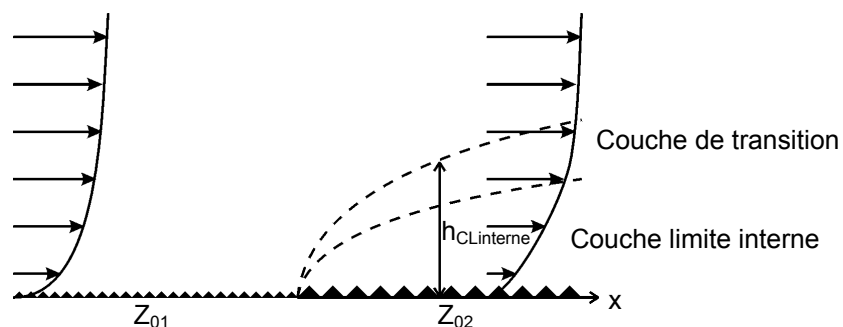


Figure 35 : Développement d'une couche limite interne lors d'un changement de rugosité.

La relation 3.25 permet d'évaluer la distance  $x$  nécessaire pour observer une couche suffisamment épaisse par rapport à l'épaisseur de la couche limite. Si on considère, à titre d'exemple,  $z_{02} = 1$  m et  $a = 0,5$ , il faut une distance de 316 m pour atteindre une hauteur de 50 m, ce qui constitue de l'ordre de 10 % de la hauteur d'une couche limite neutre standard. Cela signifie qu'il faut des distances assez importantes pour observer l'influence d'une variation de la texture du sol. Des variations des propriétés du sol sur des distances inférieures à quelques centaines de mètres ne parviennent généralement pas à modifier sensiblement la structure de la couche limite atmosphérique. On peut alors traiter ces variations en considérant une rugosité moyenne par rapport à ces hétérogénéités. Seules des variations sur de plus grandes distances (supérieures à 1 km) peuvent réellement modifier la CLA.

Les situations où l'effet d'un saut de rugosité est important s'observent sur les côtes (limite terre-mer) ou à la frontière entre une zone rurale et une zone urbaine ou industrielle. Il faut noter que ces processus sont souvent associés à des effets thermiques liés aux différences de propriétés des surfaces. Nous reviendrons sur ces phénomènes au paragraphe 3.2.3.3.

### 3.2.3. LA COUCHE LIMITE DE SURFACE THERMIQUEMENT STRATIFIEE

En réalité, la couche limite atmosphérique présente souvent une stratification thermique différente de la stratification neutre. Dans ce paragraphe, nous décrivons les caractéristiques de la couche limite de surface thermiquement stable ou instable.

#### 3.2.3.1. Description qualitative d'une couche limite stratifiée

##### **Bilan énergétique du sol**

L'état de stratification de la couche limite atmosphérique dépend essentiellement de la valeur du flux de chaleur échangé entre le sol et l'atmosphère.

Le bilan énergétique de la surface du sol peut être exprimé sous la forme (voir également la Figure 36-b) :

$$R_n = H_0 + Q_E + Q_G \quad (3.26)$$

où

- **$R_n$  est le flux radiatif net** : c'est la résultante de tous les flux radiatifs reçus ou émis par la surface du sol. Il peut être modélisé par l'équation 3.9.
- **$H_0$  est le flux de chaleur sensible** : c'est le flux de chaleur échangé par convection entre la surface du sol et l'air atmosphérique. C'est ce terme qui influence la stratification atmosphérique. Il se modélise par différence en déterminant les trois autres termes de l'équation 3.26 (on utilise la relation  $H_0 = R_n - Q_E - Q_G$ ).
- **$Q_E$  est le flux de chaleur latente** : c'est le flux de chaleur évacué par l'eau est s'évaporant. Pour exprimer ce flux, on le relie généralement au flux de chaleur sensible (Holtslag et Van Ulden, 1983).
- **$Q_G$  est le flux dans le sol** : C'est le flux qui pénètre dans le sol par conduction thermique. Ce terme dépend de l'état thermique du sol qui est généralement assez mal connu. En connaissant l'historique de la température de surface, il est possible de modéliser l'évolution de ce terme.

La détermination des différents termes de l'équation 3.26 constitue un problème couplé qui est souvent traité dans les préprocesseurs météorologiques des modèles de dispersion atmosphériques. Les détails des approches disponibles pour résoudre ce problème sont présentés par Holtslag et Van Ulden (1983) ou par Fisher *et al.* (1998). L'allure de l'évolution standard des quatre termes de 3.26 est illustrée sur la Figure 36-b.

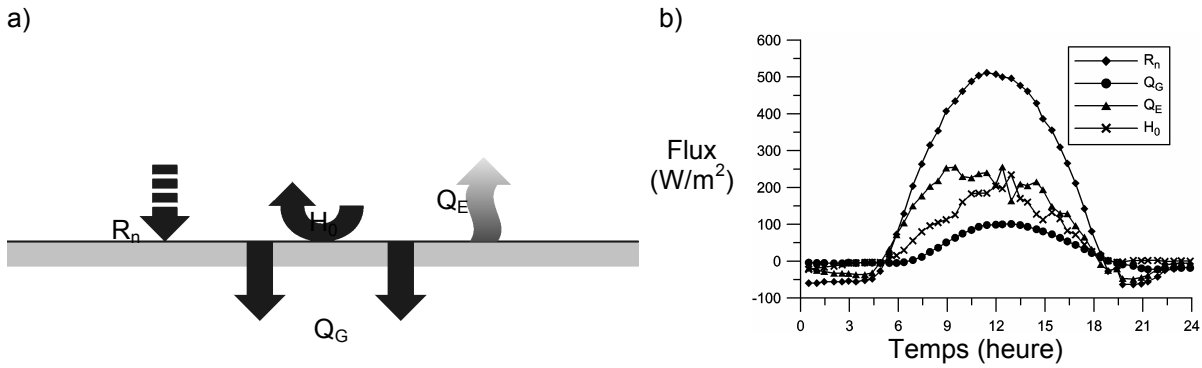


Figure 36 : (a) Bilan énergétique du sol et (b) évolution journalière standard des différents termes de l'équation 3.26 (par convention, on considère que  $R_n$  et  $Q_G$  sont positifs lorsqu'ils sont orientés vers le bas et que  $H_0$  et  $Q_E$  sont positifs lorsqu'ils sont orientés vers le haut).

Du point de vue de la dispersion, la principale conclusion à retenir est que généralement, durant la journée, le flux  $H_0$  est positif (= orienté vers le haut : le sol réchauffe l'atmosphère) tandis que durant la nuit,  $H_0$  est négatif (= orienté vers le bas : l'atmosphère se refroidit par le sol).

**Instabilité de Rayleigh-Bénard**

Afin de mieux comprendre la structure thermique dans la couche limite atmosphérique sous l'effet d'un flux de chaleur (positif ou négatif) imposé au niveau du sol, nous allons tout d'abord nous intéresser au problème académique d'une couche de fluide au repos comprise entre deux parois solides maintenues à des températures différentes  $T_{haut}$  et  $T_{bas}$  (cf. Figure 37).

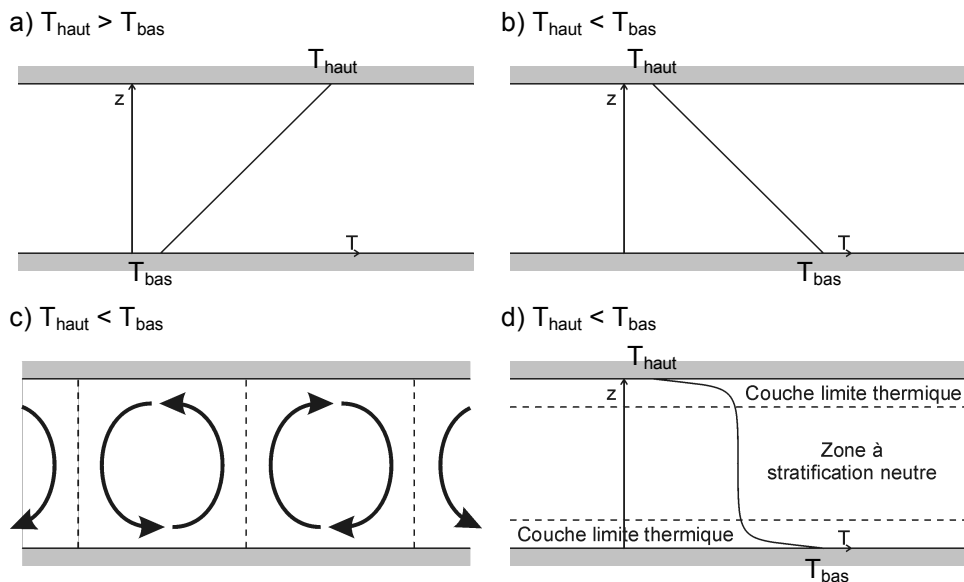


Figure 37 : Profils de température dans une couche de fluide comprise entre deux plaques planes.

Si la température des deux plaques est identique ( $T_{haut} = T_{bas}$ ), la température du fluide est uniforme entre les deux plaques. La stratification est alors neutre.

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

Si  $T_{\text{haut}} > T_{\text{bas}}$ , le flux de chaleur est orienté du haut vers le bas. Le fluide est plus lourd dans la partie inférieure que dans la partie supérieure. Il est donc en équilibre stable du point de vue des forces de flottabilité et aucun mouvement n'apparaît. L'échange thermique associé à la différence de température s'effectue alors uniquement par conduction si bien qu'il s'établit un gradient linéaire de température entre les deux plaques (cf. Figure 37-a).

Si  $T_{\text{haut}} < T_{\text{bas}}$ , le flux de chaleur est orienté du bas vers le haut. Le fluide situé en haut est plus lourd que le fluide situé en bas. En l'absence de mouvement, le gradient thermique entre les deux plaques est linéaire (cf. Figure 37-b). Au-delà d'une valeur critique de la différence ( $T_{\text{bas}} - T_{\text{haut}}$ ), l'équilibre devient instable (*instabilité de Rayleigh-Bénard*) et des mouvements convectifs apparaissent, visant à faire passer le fluide le plus lourd en dessous du plus léger (cf. Figure 37-c). Ces mouvements forment des recirculations qui s'organisent en cellule contra-rotatives. Ils provoquent une homogénéisation de la température entre les plaques, à l'exception de deux zones, situées à proximité des parois, où s'effectue toute la variation de température (cf. Figure 37-d). Ces zones sont appelées *couches limites thermiques*. Dans la partie centrale du fluide, appelée *couche de mélange*, on observe quasiment une stratification neutre.

Même si les conditions imposées dans les situations stables et instables peuvent sembler symétriques, on observe donc que les structures thermiques et dynamiques qui résultent de ces deux états sont totalement différentes. Des comportements similaires apparaissent dans l'atmosphère.

#### **Structure thermique d'une couche limite stratifiée**

La couche limite atmosphérique ne correspond pas exactement à la situation décrite ci-dessus mais les observations effectuées dans le cas précédent permettent d'expliquer les phénomènes observés dans la CLA.

Dans l'atmosphère, lorsqu'au cours de la journée le flux de chaleur apporté par le sol est positif, une instabilité de Rayleigh-Bénard conduit à l'établissement d'une couche convective sur toute l'épaisseur de la couche limite. La couche limite thermique qui s'établit dans la partie inférieure de cette couche correspond à la couche limite de surface. Nous présenterons au paragraphe 3.2.3.2 une théorie permettant de décrire le profil de température dans la CLS. Au-dessus de cette couche, les mouvements de convection conduisent à rétablir un profil de stratification neutre : c'est la *couche de mélange*. Le profil de température potentielle dans la couche limite atmosphérique est illustrée sur la Figure 31.

Au cours de la nuit, le flux de chaleur devient orienté de l'atmosphère vers le sol et conduit à un refroidissement de la CLA par le bas. La couche limite n'est alors en principe constituée que d'une seule couche dans laquelle la température évolue continûment. Cette couche unique correspond à la couche limite stable. En pratique, il faut cependant inclure dans la CLA nocturne la couche résiduelle, qui résulte de l'action des mouvements convectifs au cours de la journée précédente (cf. Figure 31).

#### **Caractéristiques turbulentes d'une couche limite stratifiée**

Dans une couche limite neutre ou stable, la turbulence de l'écoulement est uniquement d'origine mécanique (due au frottement du fluide sur lui-même). L'existence d'une stratification stable conduit même à une destruction de la turbulence sous l'effet de la stabilité. Nous avons mentionné, au paragraphe 3.2.2.3, que la production mécanique de turbulence est d'autant plus forte que l'on se rapproche du sol. Cela signifie qu'en situation stable, on peut distinguer deux couches distinctes :

- Une couche située au voisinage du sol, de hauteur égale à  $L_{MO}$ , à l'intérieur de laquelle la production mécanique de turbulence est plus forte que la destruction par la stabilité.
- Une couche, située au-dessus de  $z = L_{MO}$ , à l'intérieur de laquelle les termes de destruction par la stabilité l'emportent sur les termes de production mécanique.

La longueur  $L_{MO}$  est appelée longueur de Monin-Obukhov. Nous montrerons au paragraphe 3.2.3.2 que cette longueur est à la base de la théorie de la couche limite de surface.

Dans une couche limite instable (ou convective), les effets thermiques créent de la turbulence qui vient s'ajouter à la turbulence produite mécaniquement. On peut là encore distinguer deux zones, selon l'importance relative des deux phénomènes :

- Une couche située au voisinage du sol, de hauteur égale à  $L'_{MO}$ , à l'intérieur de laquelle la production mécanique de turbulence est plus forte que la production par les effets convectifs.
- Une couche, située au-dessus de  $z = L'_{MO}$ , à l'intérieur de laquelle la production convective de turbulence l'emporte sur la production mécanique.

Par convention, on choisit de définir la longueur de Monin-Obukhov en atmosphère instable comme  $L_{MO} = - L'_{MO}$ . L'action de la stratification thermique sur la turbulence est résumée dans le Tableau 8.

<b>Stratification</b>	<b>Rôle des effets mécaniques sur la turbulence</b>	<b>Rôle des effets thermiques sur la turbulence</b>	<b>Intensité de turbulence</b>	<b>Comportements pour <math>z &lt; L_{MO}</math></b>	<b>Comportements pour <math>z &gt; L_{MO}</math></b>
Stable	Production	Destruction	Faible	Prod. Mécanique > Destr. Thermique	Prod. Mécanique < Destr. Thermique
Neutre	Production	Aucun	Moyenne	-	-
Instable	Production	Production	Forte	Prod. Mécanique > Prod. Thermique	Prod. Mécanique < Prod. Thermique

Tableau 8 : Actions comparées des effets mécaniques et thermiques sur la turbulence.

Au paragraphe 2.2.3, il est démontré que l'étalement d'un panache de polluants dépend directement des caractéristiques de la turbulence et en particulier des fluctuations de vitesse  $\sigma_u$ ,  $\sigma_v$  et  $\sigma_w$ . Or la stratification thermique influence fortement ces fluctuations et plus particulièrement les fluctuations de vitesse verticale. Dans une atmosphère neutre ou stable, les fluctuations verticales de vitesse ont une fonction de densité de probabilité approximativement gaussienne autour de zéro (cf. Figure 38). Cela signifie qu'il existe la même probabilité d'avoir une particule de fluide se déplaçant à une certaine vitesse vers le haut ou vers le bas. Ce comportement explique en partie que la distribution de concentration, associée à une source ponctuelle de polluants, soit gaussienne.

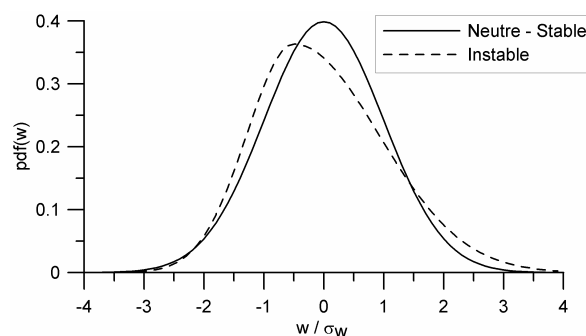


Figure 38 : Densité de probabilité des fluctuations verticales de vitesse en fonction de l'état de stabilité thermique de l'atmosphère.

En atmosphère instable, on observe expérimentalement que malgré la symétrie du problème, il n'y a pas de symétrie dans la fonction de distribution des vitesses verticales. En effet, on constate sur la Figure 38 que les mouvements orientés vers le haut sont plus rapides mais moins fréquents que les mouvements orientés vers le bas. Ce phénomène s'explique par une différence d'inertie entre l'air chaud et l'air froid. L'air chaud (qui monte) a moins d'inertie et se met plus facilement en mouvement que l'air froid qui descend. C'est pourquoi il peut atteindre des vitesses plus rapides. Pour garantir que la vitesse moyenne reste nulle, il faut donc que les mouvements descendants, qui sont plus lents, soient plus fréquents.

Cette fonction de distribution non gaussienne des vitesses se répercute directement sur la répartition de concentration dans un panache, qui prend une allure analogue à celle de la Figure 38. Nous reviendrons sur ce résultat au paragraphe 4.2.

### 3.2.3.2. Théorie de similitude

Dans le paragraphe précédent, nous avons présenté des résultats essentiellement qualitatifs sur la structure thermique de la CLA. Au cours de ce paragraphe, nous présentons la théorie de similitude de Monin-Obukhov qui permet de décrire plus quantitativement les caractéristiques dynamiques et thermiques de cette couche.

La théorie de Monin-Obukhov fait intervenir plusieurs variables caractéristiques des échelles du problème considéré :

- **La vitesse de frottement  $u_*$ .**
- **La longueur de Monin-Obukhov  $L_{MO}$  :** nous avons introduit au paragraphe précédent la signification physique de cette longueur. En réalité, cette longueur est définie par la relation :

$$L_{MO} = \frac{u_*^2}{\kappa(g/T_0)\theta_*} = \frac{-\rho C_p u_*^3}{\kappa(g/T_0)H_0} \quad (3.27)$$

Les valeurs de  $L_{MO}$  permettent de distinguer les différents états de stabilité thermique de l'atmosphère :  $L_{MO} > 0$  en stable,  $L_{MO} < 0$  en instable et  $L_{MO} \rightarrow \infty$  en neutre.

- **La température de frottement  $\theta_*$  :** cette échelle de température est définie par la relation :

$$\theta_* = \frac{-H_0}{\rho C_p u_*} \quad (3.28)$$

La théorie de similitude de Monin-Obukhov est fondée sur l'idée que les gradients verticaux de quantité de mouvement et de température potentielle, adimensionnés par les paramètres précédents, ne peuvent dépendre que de la variable  $\zeta = z / L_{MO}$  :

$$\begin{cases} \kappa z \frac{\partial u}{u_* \partial z} = \varphi_m(\zeta) \\ \kappa z \frac{\partial \theta}{\theta_* \partial z} = \varphi_h(\zeta) \end{cases} \quad (3.29)$$

Les fonctions de forme  $\varphi_m$  et  $\varphi_h$  peuvent être déterminées à partir d'expériences dans l'atmosphère. La relation la plus couramment utilisée a été proposée par Businger *et al.* (1971) :



$$\begin{cases} \varphi_m(\zeta) = \sqrt{\varphi_h(\zeta)} = (1-16\zeta)^{-1/4} & \text{si } L_{MO} < 0 \text{ (cas instable)} \\ \varphi_m(\zeta) = \varphi_h(\zeta) = 1 & \text{si } L_{MO} = 0 \text{ (cas neutre)} \\ \varphi_m(\zeta) = \varphi_h(\zeta) = 1+5\zeta & \text{si } L_{MO} > 0 \text{ (cas stable)} \end{cases} \quad (3.30)$$

L'intégration sur z des équations 3.29 fournit les profils de vitesse et de température potentielle :

$$\begin{cases} u(z) = \frac{u_*}{\kappa} \left[ \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) - \psi_m(\zeta) \right] & \text{avec } \psi_m(\zeta) = \int [1 - \varphi_m(s)] d(\ln(s)) \\ \theta(z) - \theta_0 = \frac{\theta_*}{\kappa} \left[ \ln\left(\frac{z}{z_{0T}}\right) - \psi_h(\zeta) \right] & \text{avec } \psi_h(\zeta) = \int [1 - \varphi_h(s)] d(\ln(s)) \end{cases} \quad (3.31)$$

où  $\theta_0$  est la température potentielle au sol et  $z_{0T}$  la rugosité thermique. Les fonctions  $\psi_m$  et  $\psi_h$ , calculées à partir des équations 3.30, sont :

$$\begin{cases} \psi_m(\zeta) = 2 \ln\left[\frac{1+x}{2}\right] + \ln\left[\frac{1+x^2}{2}\right] - 2\arctan(x) + \pi/2 \\ \psi_h(\zeta) = 2 \ln\left[\frac{1+x^2}{2}\right] \end{cases} \quad \text{si } L_{MO} < 0 \text{ (cas instable)} \\ \psi_m(\zeta) = \psi_h(\zeta) = 0 & \text{si } L_{MO} = 0 \text{ (cas neutre)} \\ \psi_m(\zeta) = \psi_h(\zeta) = -5\zeta & \text{si } L_{MO} > 0 \text{ (cas stable)} \end{cases} \quad \text{avec } x = (1-16\zeta)^{1/4} \quad (3.32)$$

En intégrant les équations 3.32 dans 3.31, il est possible de représenter le profil de vitesse dans la CLS pour différents états de stabilité thermique (cf. Figure 39-a). On observe en particulier que l'augmentation de turbulence en régime instable crée une homogénéisation de la vitesse dans la couche limite (profil plus "plat") alors que la diminution de turbulence en régime stable augmente le cisaillement du profil de vitesse.

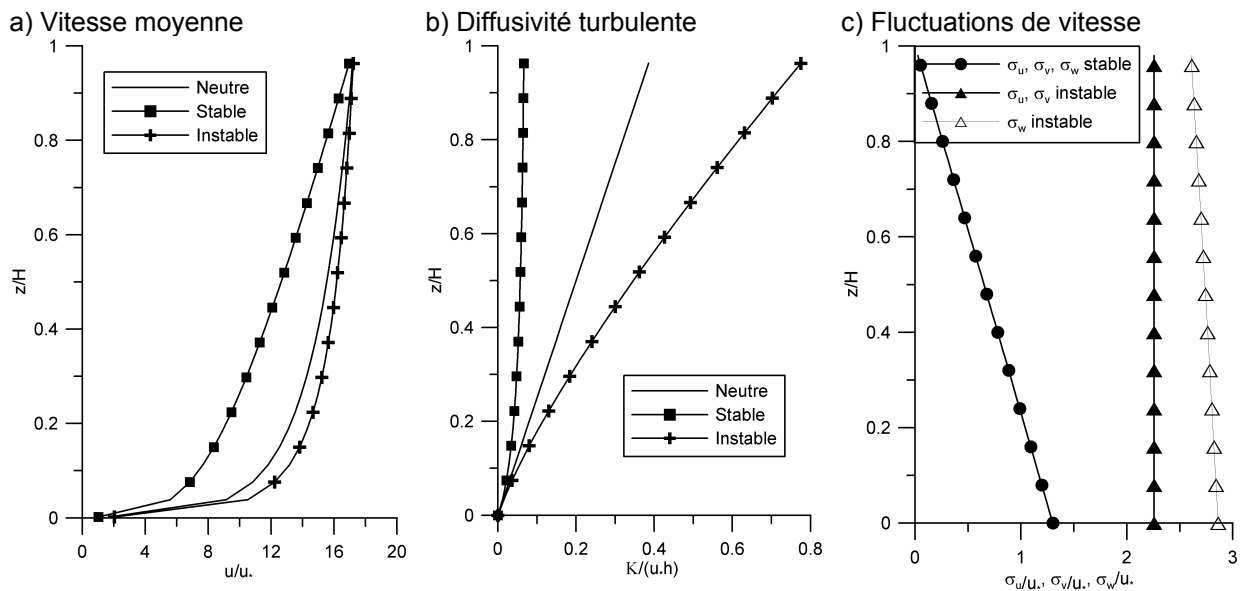


Figure 39 : Profil de vitesse (a), de diffusivité turbulente (b) et de fluctuations de vitesse (c) pour différents états de stabilité thermique de la CLA.

La théorie de similitude permet également de déterminer les profils d'évolution des grandeurs turbulentes. A partir des équations 3.29 et 3.13, il est possible d'exprimer le coefficient de diffusivité turbulente K dans le cas général d'une atmosphère stratifiée :

$$K = \frac{\kappa u_* z}{\phi_m(\zeta)} \tag{3.33}$$

Le profil de K, illustré sur la Figure 39-b pour différents états de stabilité, confirme que la capacité de l'atmosphère à "mélanger" est d'autant plus importante que cette atmosphère est instable.

L'équation de conservation de l'énergie cinétique turbulente peut être réécrite en prenant en compte le terme de production ou de destruction de turbulence par les effets thermiques :

$$\underbrace{-\overline{u'w'}}_{\text{Production mécanique d'énergie turbulente}} \frac{\partial u}{\partial z} + \underbrace{\frac{g}{\theta} \overline{w'\theta'}}_{\text{Production thermique d'énergie turbulente}} - \underbrace{\varepsilon}_{\text{Dissipation d'énergie turbulente}} = -\overline{u'w'} \frac{\partial u}{\partial z} (1 - Ri) - \varepsilon = 0 \tag{3.34}$$

où Ri est le nombre de Richardson, défini ici par :

$$Ri = \zeta \frac{\phi_h(\zeta)}{\phi_m^2(\zeta)} \tag{3.35}$$

Les termes de production totale et de dissipation d'énergie turbulente peuvent alors s'écrire :

$$P_k = \varepsilon = \frac{u_*^3}{\kappa z} \phi_m(\zeta) (1 - Ri) \tag{3.36}$$

Le niveau de turbulence peut être caractérisé par les profils des écarts-types de fluctuations de vitesse  $\sigma_u$ ,  $\sigma_v$  et  $\sigma_w$ . Les expériences sur le terrain ont permis de montrer que ces écarts-types ne dépendaient pas uniquement de  $z / L_{MO}$  (limite de validité de la théorie de similitude). L'allure de ces profils est décrite par les relations suivantes (voir aussi la Figure 39-c) :

$$\left. \begin{aligned} \frac{\sigma_u}{u_*} = \frac{\sigma_v}{u_*} &= (12 - 0,5h/L_{MO})^{1/3} \\ \frac{\sigma_w}{u_*} &= 1,25(12 - 3z/L_{MO})^{1/3} \end{aligned} \right\} \text{ si } L_{MO} < 0 - \text{cas instable (Panofsky } et al., 1977) \tag{3.37}$$

$$\frac{\sigma_u}{u_*} = \frac{\sigma_v}{u_*} = \frac{\sigma_w}{u_*} = 1,3(1 - z/h) \text{ si } L_{MO} > 0 - \text{cas stable (Hanna, 1982)}$$

On constate qu'en atmosphère stable, la turbulence est isotrope (identique dans les trois directions). En atmosphère instable, cette turbulence est plus élevée. Elle est également plus forte selon la verticale que dans le plan horizontal.

**3.2.3.3. Effets spécifiques sur un terrain hétérogène**

La théorie de similitude de Monin-Obukhov fournit une description de la couche limite de surface sur un terrain plat de caractéristiques homogènes. Lorsque les propriétés du sol varient spatialement, il apparaît des comportements spécifiques qui ne peuvent pas être décrits par cette théorie. Comme dans le cas d'une atmosphère neutre (cf. paragraphe 3.2.2.4), on peut en première approximation considérer que l'extension verticale des perturbations associées à ces hétérogénéités augmente avec la taille caractéristique des hétérogénéités. Par exemple, une différence de propriétés thermique entre deux façades d'un bâtiment aura une influence sur une distance caractéristique de l'ordre de la taille du bâtiment, alors que les différences de propriétés entre une ville (dans sa globalité) et la campagne environnante auront des effets sur toute

l'épaisseur de la couche limite urbaine. Il existe une multitude de situations pour lesquelles des effets analogues peuvent être observés. Nous présentons ici les deux principales situations qui nécessitent une prise en compte particulière dans une modélisation de la dispersion atmosphérique.

### **Brises côtières**

Les différences de caractéristiques dynamiques et surtout thermiques entre une surface terrestre et une étendue d'eau (lac, mer ou océan) génèrent des circulations particulières, à la limite entre ces deux surfaces, appelées *brises côtières*. Ces mouvements sont illustrés sur la Figure 40.

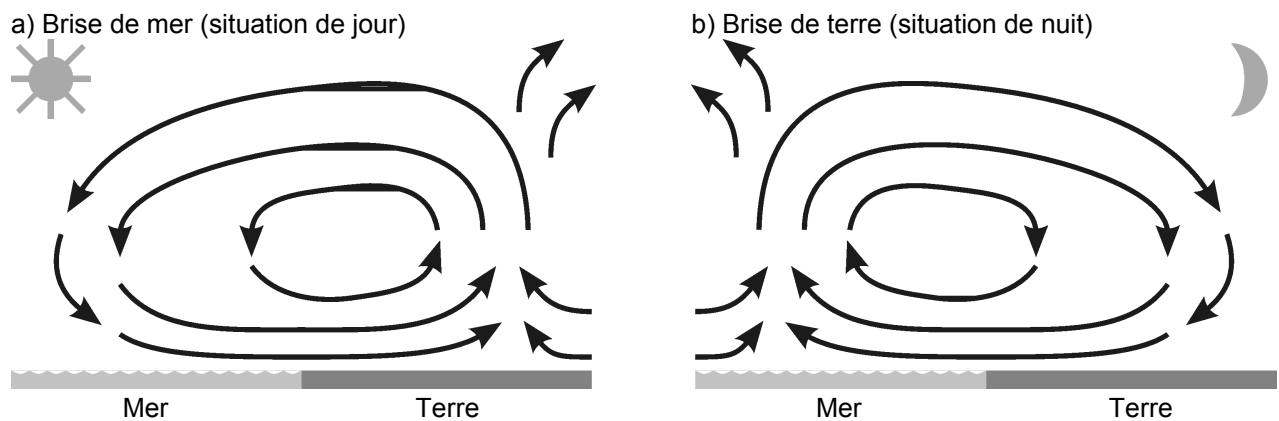


Figure 40 : Circulation du vent en situation de brises côtières.

La valeur élevée de la capacité thermique de l'eau limite l'amplitude des variations de la température de surface de la mer au cours du cycle jour-nuit. Par contre, la température de la surface terrestre admet des variations beaucoup plus importantes. Il en résulte que la terre est plus chaude que la mer durant la journée et qu'elle est plus froide au cours de la nuit. Le réchauffement différentiel des masses d'air situées au-dessus de la mer et de la terre conduit à des différences de densité qui aboutissent à l'établissement d'un courant perpendiculaire à la côte orienté de la mer vers la terre au cours de la journée (brise de mer) et de la terre vers la mer au cours de la nuit (brise de terre).

Les caractéristiques de la brise de mer sont mieux connues en raison de son développement sur la surface terrestre (Stull, 1988). Ce phénomène peut conduire à des vitesses horizontales élevées (plusieurs mètres par seconde). Les vitesses ascendantes au-dessus de la terre varient entre 0,5 et 2,5 m/s. Pour compenser le courant circulant de la mer vers la terre, un courant en sens inverse se forme en altitude, avec des vitesses entre 1 et 2 m/s. L'extension verticale de la brise de mer varie entre 100 et 500 m tandis que l'épaisseur caractéristique de la circulation complète (incluant le courant de retour) varie entre 500 et 2000 m. Le front de pénétration de la brise de mer à l'intérieur des terres avance au cours de la journée et peut atteindre une distance de 20 à 50 km des côtes.

Nous reviendrons au paragraphe 4.2 sur l'influence des brises côtières sur la dispersion atmosphérique de polluants émis au voisinage des côtes.

### **Ilot de chaleur urbain ou industriel**

Au-dessus d'une agglomération ou d'un site industriel, le comportement de la CLS est modifié. En effet, les caractéristiques d'un sol urbain ou industriel sont différentes de celles correspondant à un sol rural. La présence de nombreux bâtiments renforce la rugosité aérodynamique du sol, avec des valeurs de  $z_0$  de l'ordre du mètre contre quelques millimètres pour une prairie (cf. paragraphe 3.2.2.2). Les spécificités d'un milieu urbain ou industriel perturbent également le bilan énergétique. Les matériaux utilisés (béton, goudron, baies

vitrées, ...) ont en moyenne une albédo plus faible qu'un sol de campagne, ce qui signifie qu'ils absorbent plus de chaleur. De plus, le piégeage du rayonnement par des réflexions multiples entre les bâtiments provoque une diminution de l'albédo effective pouvant atteindre un facteur 2 (Oke, 1988). Ce renforcement du rayonnement infrarouge réémis par le sol, est combiné à la présence au-dessus de ces sites de particules polluantes et de gaz à effet de serre. A cela s'ajoutent le faible taux de végétalisation et le développement des réseaux souterrains d'assainissement qui tendent à diminuer le flux de chaleur latente lié à l'évapo-transpiration. Enfin, en raison de l'activité humaine, la production de chaleur est renforcée. Tous ces effets contribuent à créer un réchauffement de l'atmosphère au-dessus des zones urbaines ou industrielles, effet appelé *îlot de chaleur*. On considère ainsi que l'écart de température entre l'intérieur et l'extérieur d'une ville varie entre 2°C à 12°C (Landsberg, 1981).

La longueur caractéristique horizontale de l'hétérogénéité liée à une ville ou à un complexe industriel est du même ordre de grandeur que l'épaisseur de la couche limite atmosphérique, si bien que l'équilibre de celle-ci ne peut plus être atteint. Il se développe alors des écoulements spécifiques à l'agglomération. La Figure 41 illustre les principaux comportements observés. Lorsque l'intensité du vent est supérieure à 3 m/s, la discontinuité des conditions de paroi génère le développement de couches limites internes, dominées par les effets dynamiques. La turbulence est principalement d'origine mécanique. En dessous de 3 m/s, des mouvements convectifs, liés au réchauffement du site, apparaissent et forment un dôme convectif, dans lequel la turbulence d'origine thermique prédomine. En pratique, les phénomènes réels sont plus complexes et on observe généralement une combinaison de ces deux situations.

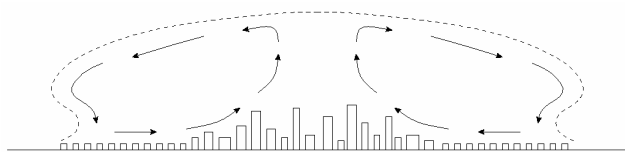
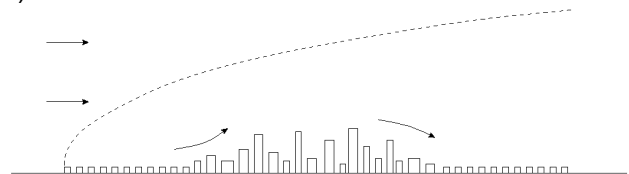
a)  $u < 3$  m/s : Dôme convectifb)  $u > 3$  m/s : Panache urbain

Figure 41 : Ecoulement au-dessus d'une agglomération ou d'un site industriel (d'après Oke, 1979).

Ces différents mouvements internes aux agglomérations et aux grands complexes industriels jouent un rôle essentiel dans l'étude de la dispersion atmosphérique.

### 3.3. INFLUENCE DU RELIEF

La présence de relief est un élément important à considérer dans l'étude de la dispersion atmosphérique de polluants. En effet, comme nous le verrons par la suite, le comportement d'un panache peut être sensiblement modifié par la présence d'une colline, d'une vallée ou d'un relief montagneux. Dans l'évaluation de l'impact d'un rejet industriel, la mauvaise représentation de l'effet d'un relief peut conduire soit à une surestimation des conséquences, qui entraînera des décisions inutiles et coûteuses, soit à une sous-estimation des concentrations, pouvant induire des conséquences dommageables (plaintes, amendes). Les situations typiques où la présence d'un relief peut conduire à des niveaux de pollution plus élevés que dans le cas d'un terrain plat sont :

- Situation où l'écoulement induit par le relief conduit à rabattre vers le sol des polluants émis en altitude (exemple de l'impact d'un panache sur un relief en situation stable)
- Situation où la morphologie du relief conduit à un confinement des polluants (exemple des polluants émis dans une vallée et bloqués par une couche d'inversion). Ces situations peuvent générer des concentrations fortes loin de la source.

Il est donc important d'étudier l'influence du relief sur l'écoulement atmosphérique, qui est le vecteur de la pollution. Depuis plus de 30 ans, de très nombreux travaux ont porté sur l'étude et la modélisation de l'écoulement atmosphérique en présence de relief. Pour une revue générale des écoulements sur relief, on se référera aux ouvrages de Blumen (1990) ou Kaimal et Finnigan (1994). Dans le paragraphe 3.3.1, nous rappelons les principales caractéristiques d'un écoulement en présence de relief. Dans le paragraphe 3.3.2, nous proposons une revue des techniques de modélisation permettant de prendre en compte le relief.

#### 3.3.1. DESCRIPTION PHENOMENOLOGIQUE DE L'ECOULEMENT SUR UN RELIEF

##### 3.3.1.1. Généralités

Le relief est une déformation de la surface terrestre que l'on peut caractériser en tout point par l'altitude du sol repérée par rapport au niveau de la mer. Afin de distinguer les notions de relief et d'obstacle, on considérera que les variations d'altitude sur une distance horizontale supérieure à environ 100 mètres seront classées dans la notion de relief tandis que les variations sur des distances inférieures seront classées dans la rugosité ou les obstacles.

La première conséquence de la variation de l'altitude du sol sur l'écoulement atmosphérique est la possibilité, dans certaines circonstances, d'induire un mouvement vertical de l'air pour franchir le relief. Or nous avons rappelé au paragraphe 3.1.2.3 que l'amplitude des mouvements verticaux dépend de l'état de stabilité atmosphérique. Afin d'évaluer l'interaction possible entre la stabilité thermique et la présence d'un relief, il est utile d'exprimer le temps caractéristique  $T_s$  des mouvements verticaux liés à la stratification. Pour cela, on introduit généralement la fréquence de flottabilité de Brunt-Väisälä comme :

$$N = \frac{1}{T_s} = \sqrt{\frac{g}{\theta} \frac{\partial \theta}{\partial z}} \quad (3.38)$$

Physiquement,  $N$  correspond à la fréquence des oscillations que l'on observe dans le cas d'une atmosphère stable. On considérera que  $N$  peut prendre des valeurs réelles positives ou nulles.

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

Les principaux effets induits par la présence d'un relief sur l'écoulement atmosphérique peuvent être classés en fonction de la proximité de ce relief :

- **Écoulement en champ proche** : dans le champ proche du relief, on distinguera :
  - **La modification et la déviation de l'écoulement incident lors du franchissement du relief.** Ce mouvement résulte de l'obstruction générée par le relief qui oblige une partie du fluide à passer au-dessus de la montagne ou à la contourner, selon le degré de stabilité.
  - **Les écoulements thermiques forcés par le relief.** L'inclinaison des pentes du relief induit des effets d'ombrage et un forçage thermique qui varie d'un côté à l'autre de la montagne. Il en résulte des mouvements de brises thermiques plus ou moins complexes.
- **Sillage en champ lointain** : en champ lointain, on distinguera :
  - **Le sillage aérodynamique.** La force de traînée générée par la présence du relief induit un déficit de vitesse dans le sillage de ce relief. Le comportement observé est analogue à celui d'un sillage aérodynamique classique (diminution et étalement transversal du déficit de vitesse lorsque l'on s'éloigne du relief).
  - **Les ondes de relief.** Lorsque l'écoulement arrivant sur le relief est stable, la perturbation verticale induite par celui-ci génère un mouvement oscillatoire qui se propage vers l'aval du relief. Les mouvements d'ondes de relief peuvent se propager ainsi sur plusieurs dizaines, voire plusieurs centaines de kilomètres en aval, et parfois atteindre le sommet de la troposphère.

Dans la suite, nous décrivons avec plus de détails les caractéristiques de l'écoulement autour de reliefs simples tels qu'une colline ou une vallée.

### 3.3.1.2. **Écoulement sur une colline isolée**

La colline en forme de cloche est une forme simple de relief qui permet d'identifier les principaux processus mis en jeu. Dans la suite, on considérera une colline bi- ou tridimensionnelle de hauteur  $h$  et de dimension horizontale  $L_h$ , telle que  $L_h \gg h$ . Nous décrivons successivement l'écoulement dans les cas d'un vent incident neutre et stable.

#### **Écoulement neutre**

Considérons un écoulement de couche limite arrivant sur une colline bidimensionnelle tel que cela est illustré sur la Figure 42. Afin de décrire l'écoulement moyen au-dessus de cette colline, nous avons représenté sur la Figure 43 l'allure des courbes d'évolution de la vitesse entre l'amont et l'aval, à différentes hauteurs au-dessus du relief. A l'amont de la colline et au voisinage du sol, on observe une légère décélération associée à l'augmentation de pression due au blocage du relief. Au sommet de la colline, l'écoulement est fortement accéléré et ce d'autant plus que l'on se rapproche du sol. Sur le versant aval de la colline, il apparaît un déficit de vitesse important, qui peut même dans certains cas conduire à un écoulement de retour (zone de recirculation). Au-delà de cette zone, dans le sillage de la colline, le déficit de quantité de mouvement diffuse progressivement vers le haut et la vitesse augmente pour tendre vers des valeurs correspondant au profil amont.

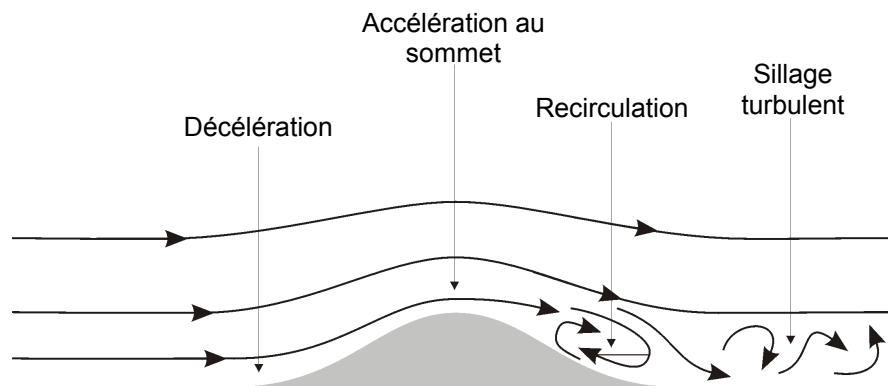


Figure 42 : Ecoulement sur une colline bidimensionnelle.

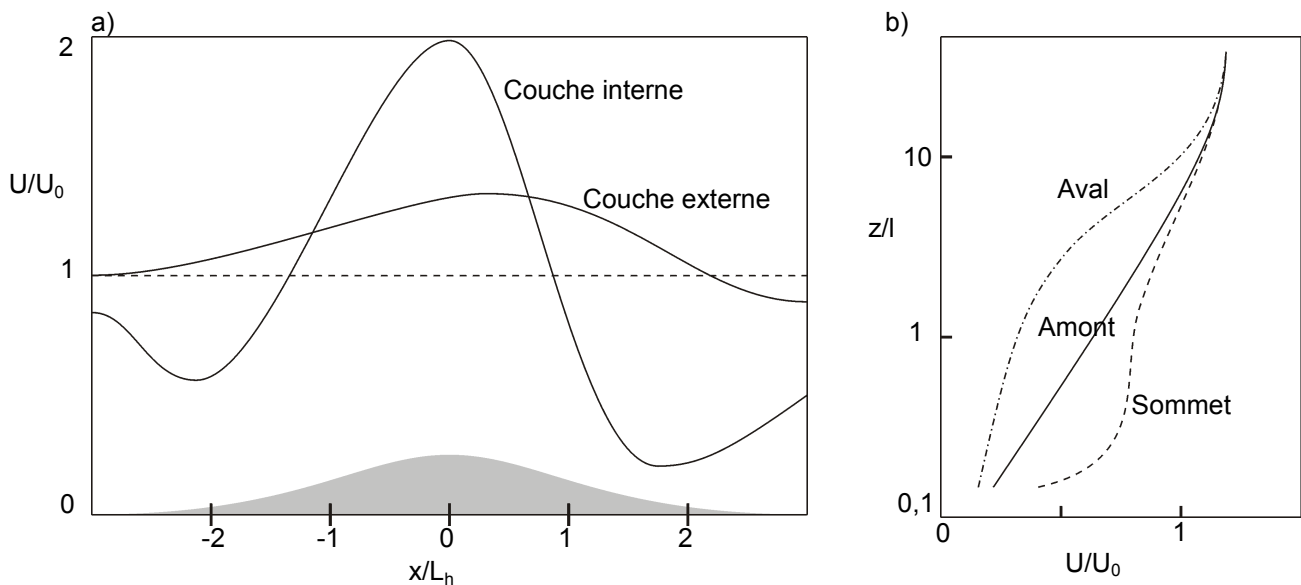


Figure 43 : Allure des évolutions de vitesse au-dessus d'une colline bidimensionnelle. a) Evolution de la vitesse en fonction de  $x$ , à deux hauteurs par rapport au relief. b) Profils verticaux de vitesse à l'amont, au-dessus et à l'aval de la colline (la longueur  $l$  correspond à l'épaisseur de la couche interne).

Afin de mieux comprendre cet écoulement, il peut être utile de le décomposer en différentes zones en fonction des mécanismes physiques qui contrôlent l'écoulement (Jackson et Hunt, 1975 ; Hunt *et al.*, 1988a). Ces zones sont représentées sur la Figure 44. Dans la zone interne, au voisinage de la surface, l'écoulement est dominé par les effets du cisaillement si bien que le profil vertical de vitesse est analogue au profil incident (avec un décalage correspondant à la hauteur du relief). Dans la couche externe, on considère que l'écoulement n'est soumis qu'à des effets non-visqueux, les effets du frottement au sol n'ayant pas le temps d'agir pendant le temps que met l'écoulement pour franchir la colline. La couche intermédiaire est une zone de transition entre les deux couches précédentes, où les effets visqueux et non-visqueux coexistent. Enfin, en aval de la colline, il se forme une zone de sillage où la turbulence prédomine.

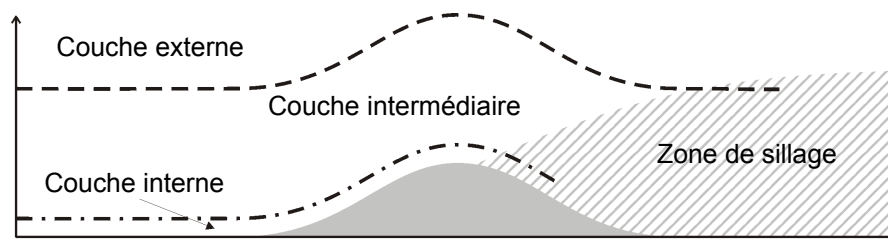


Figure 44 : Différentes zones de l'écoulement sur une colline bidimensionnelle.

### Écoulement stratifié

Lorsque l'écoulement incident est thermiquement stratifié (comme nous l'avons expliqué au paragraphe 3.2, l'état convectif se caractérise par un gradient thermique neutre sur la majeure partie de la couche limite ; c'est pourquoi nous ne nous intéresserons qu'à l'effet d'un gradient thermique stable), le comportement du fluide au-dessus d'un relief peut être sensiblement modifié. Dans une première analyse, nous supposerons que le temps caractéristique de franchissement du relief par l'écoulement ( $L_h/U_0$ ) ne permet pas des échanges d'énergie substantiels entre le sol et l'air. Lorsque cette hypothèse n'est plus vérifiée (cas d'un écoulement faible et d'un forçage thermique important), des mouvements de convection libre peuvent se développer et générer des brises de pente. Une description sommaire de ces phénomènes est proposée au paragraphe 3.3.1.3 dans le cas d'une vallée.

Lorsque cette hypothèse est vérifiée, les comportements observés dépendent de la compétition entre les effets d'inertie et de gravité, que l'on peut quantifier au travers de deux temps caractéristiques :

- Le temps caractéristique  $L_h/U_0$  de franchissement du relief par l'écoulement.
- Le temps caractéristique  $1/N$  des mouvements verticaux associés à la stabilité.

Le rapport entre ces deux temps caractéristiques permet de définir le nombre de Froude :

$$Fr_h = \frac{U_0}{NL_h} \quad (3.39)$$

Lorsque le nombre de Froude est supérieur à 1, le temps de franchissement est assez long pour que des mouvements verticaux aient le temps de se développer lors du franchissement de la colline. Dans le cas d'une colline 3D (Figure 45-a), cela signifie que l'écoulement franchit la colline en s'élevant verticalement et sans la contourner horizontalement. On observe également une accélération du vent sur le versant aval du relief (déferlement ou "Foehn dynamique"). Lorsque le nombre de Froude est inférieur à 1, le temps de franchissement est trop court pour que des mouvements verticaux aient le temps de se développer si bien que l'écoulement est obligé de contourner le relief horizontalement pour pouvoir le franchir (Figure 45-c et d). Il n'y a alors quasiment pas de mouvement dans le plan vertical.

En présence de stratification thermique, la décomposition de la Figure 44 peut toujours être utilisée. La couche externe est alors dominée par les effets non-visqueux (inertie et gradient de pression) et par la force de flottabilité résultant de la stratification thermique. Dans la couche interne, l'effet de la stratification thermique est négligeable et le frottement sur le sol prédomine.

Les cartographies de la Figure 45 illustrent clairement que la présence de relief couplé à une stratification thermique stable peut fortement affecter l'écoulement atmosphérique et indirectement la dispersion de polluants émis au voisinage de ce relief. La prise en compte de cet effet est donc essentiel pour une bonne estimation des conséquences d'un rejet dans l'atmosphère.



Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

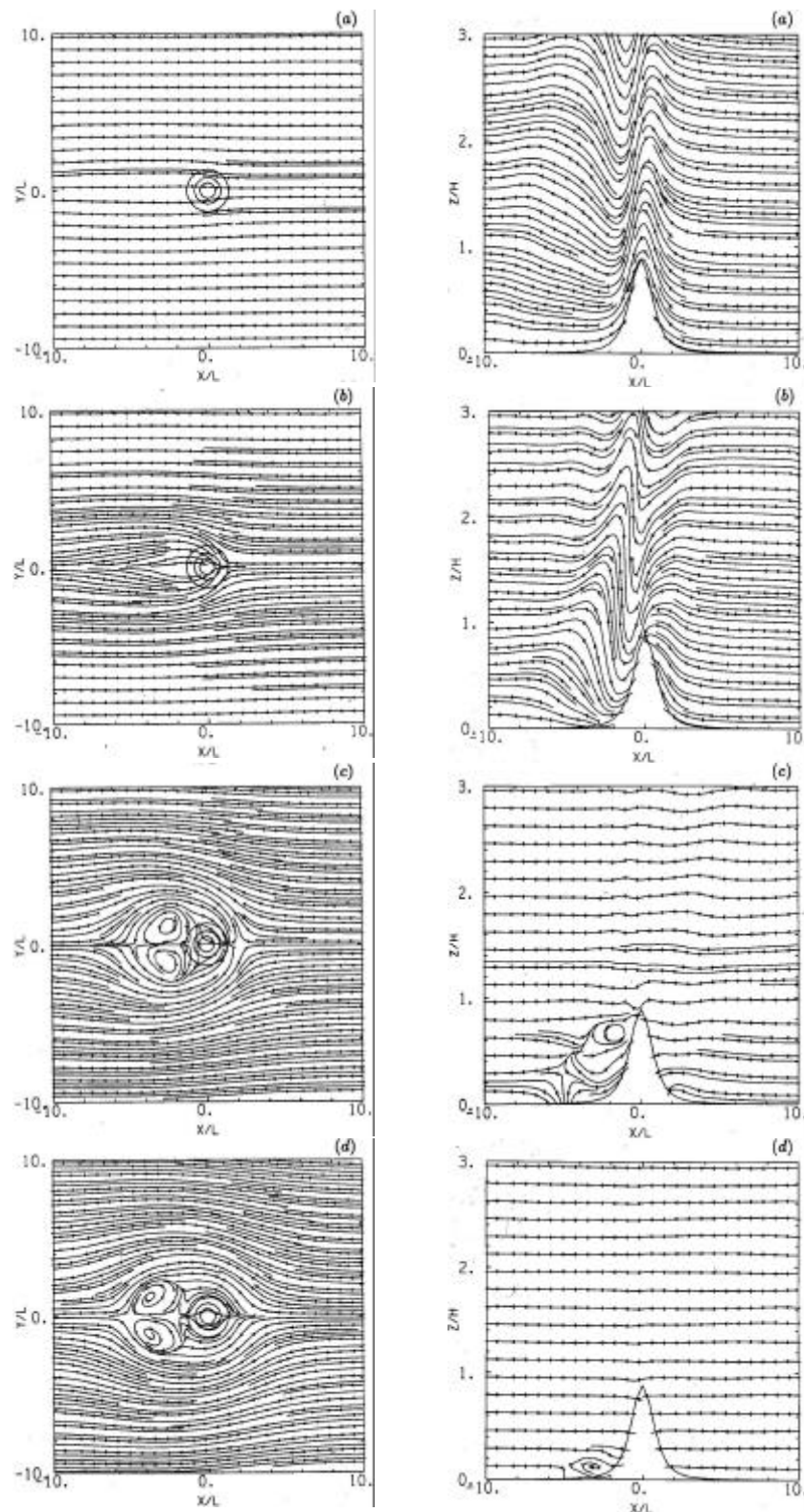


Figure 45 : Lignes de courant de l'écoulement sur une colline tridimensionnelle en forme de cloche, obtenues par simulations numériques (d'après Smolarkiewicz et Rotunno, 1989). L'écoulement circule de la droite vers la gauche. A gauche sont représentées les lignes de courant à la surface et à droite les lignes de courant dans le plan vertical passant par le sommet. Les valeurs du nombre de Froude  $Fr_h$  dans l'écoulement amont sont 2,22 (a), 0,66 (b), 0,22 (c) et 0,055 (d).

### 3.3.1.3. *Ecoulement dans une vallée*

Le relief en forme de vallée est le deuxième type de relief simple que l'on rencontre fréquemment dans la nature. L'écoulement que l'on observe dans une vallée dépend là encore du rapport entre le temps de franchissement et le temps caractéristique des échanges énergétiques avec le sol. Lorsque le temps de franchissement est inférieur au temps d'échange, l'écoulement dans la vallée est contrôlé par le vent géostrophique au-dessus de celle-ci. Les principes évoqués au paragraphe précédent concernant les différentes zones de l'écoulement s'appliquent alors également au cas d'une vallée.

Lorsque le temps de franchissement de la vallée est supérieur au temps d'échange, l'écoulement est contrôlé par des mouvements de convection qui se développent à l'intérieur de la vallée. Dans la plupart des grandes vallées, où l'écoulement extérieur a du mal à pénétrer, cette situation se produit beaucoup plus fréquemment que la précédente et c'est pourquoi nous allons la décrire plus en détail.

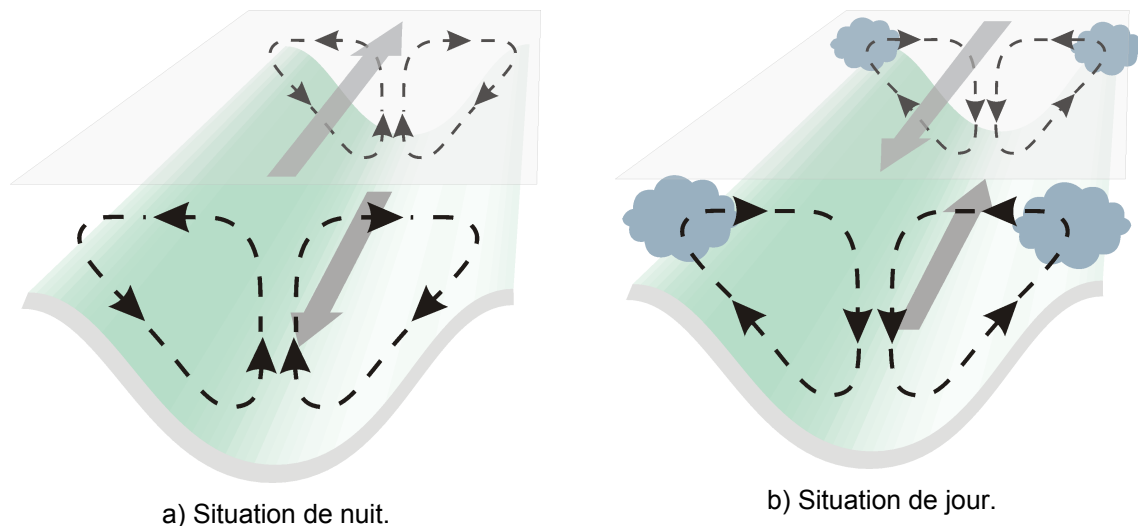


Figure 46 : Brises thermiques dans une vallée. a) Brises descendant les pentes la nuit. b) Brises remontant les pentes le jour et pouvant conduire à la formation de nuages sur les sommets.

Le bilan énergétique de la surface du sol conduit généralement à un flux de chaleur sensible apporté à l'air atmosphérique qui est positif au cours de la journée et négatif durant la nuit. Sur un terrain plat, ce forçage thermique conduit à l'établissement d'une stratification respectivement instable et stable. Lorsque le sol est en pente, comme dans une vallée, la force de gravité conduit à un mouvement permanent appelé *écoulement catabatique* et illustré sur la Figure 46. Pendant la nuit, l'air refroidi par le sol au voisinage des pentes s'écoule par gravité à la fois transversalement et longitudinalement vers le point le plus bas de la vallée. Il en résulte également des mouvements de compensation transversaux (élévation de l'air au centre de la vallée) et longitudinaux (courant qui remonte la vallée au-dessus de celle-ci). Durant la journée, le sens de l'écoulement est complètement inversé avec des brises qui remontent les pentes et des courants de compensation qui descendent au-dessus et au centre de la vallée. La seule différence est qu'il peut se former des nuages convectifs au sommet des montagnes, associés à l'élévation de l'air qui se charge en humidité le long des pentes. En réalité, le phénomène décrit précédemment n'est pas stationnaire au cours de la journée car la hauteur d'inversion en dessous de laquelle se forment les cellules convectives augmente au cours du temps. Cela implique que des polluants émis dans la vallée sont bien mélangés en dessous de cette hauteur mais qu'ils ne peuvent pas diffuser au-dessus. Comme ils ne peuvent pas non plus diffuser

latéralement dans la vallée, les niveaux de concentration peuvent atteindre des valeurs élevées dans cette situation.

#### 3.3.1.4. *Ecoulement sur un relief complexe*

Au-delà des configurations simples d'une colline ou d'une vallée, il est nécessaire d'aborder la question des reliefs complexes que l'on rencontre dans la nature. L'écoulement du vent sur ce type de terrain est constitué de la superposition des différents comportements évoqués précédemment, à savoir des ondes de relief, des mouvements de contournement ou de franchissement des sommets qui dépendent de la stratification thermique, des phénomènes de brises catabatiques au sein des vallées... Il est donc difficile de caractériser ce type d'écoulement par des comportements précis. Afin cependant de distinguer les différentes situations rencontrées, Fisher *et al.* (1998) proposent une classification des reliefs en 3 types :

- **Les collines**, où le relief est peu prononcé. Les résultats présentés pour le cas d'une colline isolée peuvent être appliqués à cette situation.
- **Le terrain complexe**, correspondant à une zone de moyenne montagne et constitué de crêtes et de vallées.
- **Le terrain très complexe**, qui correspond à une situation extrême de terrain complexe, avec des sommets escarpés, des pentes abruptes et des vallées encaissées.

Les trois types précédents sont illustrés par trois exemples sur la Figure 47.

a) Collines autour de Lyon

b) Terrain complexe d'Auvergne

c) Terrain très complexe des Alpes

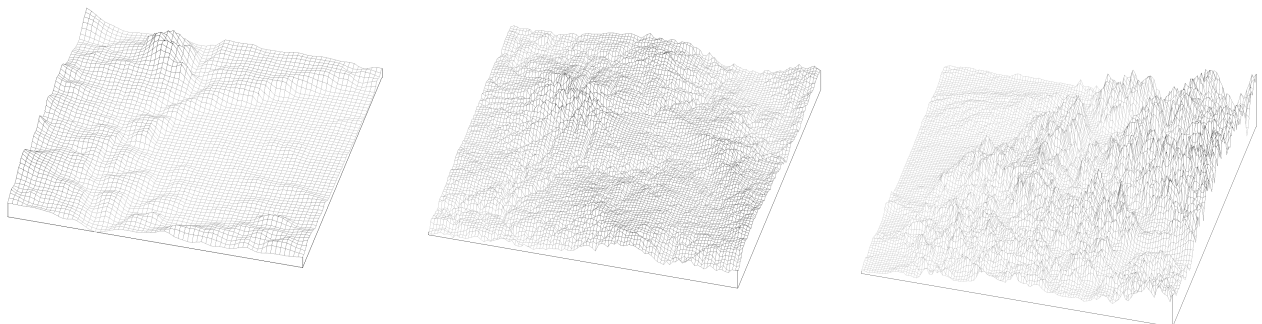


Figure 47 : Différentes formes de relief complexe : a) collines, b) terrain complexe et c) terrain très complexe. L'échelle horizontale est différente sur les trois figures mais le rapport entre l'échelle verticale et l'échelle horizontale (facteur = 10) est conservé.

Dans la suite de ce chapitre, nous allons nous intéresser aux différentes approches de modélisation de l'écoulement sur un relief.

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

### 3.3.2. MODELISATION DE L'ECOULEMENT SUR UN RELIEF

Les différentes approches de modélisation peuvent être classées en plusieurs catégories. Nous nous référons ici à la classification, proposée par Fisher *et al.* (1998) dans une synthèse sur le sujet, qui distingue les modèles diagnostiques et les modèles pronostiques.

#### 3.3.2.1. *Modèles diagnostiques*

Un modèle diagnostique permet de reconstituer le champ tridimensionnel stationnaire du vent à partir de valeurs de vitesse fournies en quelques points ou profils (généralement obtenus à l'aide de mesures). Un tel modèle ne permet pas de prévoir l'évolution temporelle du champ de vent à partir d'un état initial (voir les modèles pronostiques) mais il peut être appliqué à différents instants successifs dans la mesure où l'on dispose des données correspondantes. Il existe essentiellement deux méthodes pour reconstituer un champ de vent de façon diagnostique : les approches linéarisées et les approches basées sur l'équation de continuité.

##### *Modèles linéarisés*

Le principe d'un modèle linéarisé est de résoudre l'équation du mouvement au-dessus du relief par une méthode de perturbation. Cette approche a été développée par Jackson et Hunt (1975) et Hunt *et al.* (1988a et b). L'écoulement non perturbé est supposé vérifier la loi logarithmique d'un profil de couche limite sur une paroi rugueuse. Afin de tenir compte des différentes couches caractéristiques de l'écoulement (cf. paragraphe 3.3.1.2), la méthode de perturbation est appliquée différemment d'une couche à l'autre, avec des hypothèses de raccordement entre les zones.

Un des principaux intérêts d'une méthode de perturbation est de fournir une solution linéaire du problème posé, qui autorise l'utilisation du principe de superposition de solutions. Ainsi, pour traiter le cas d'un relief quelconque, la topographie est décomposée en modes de Fourier et une solution analytique de l'écoulement est obtenue pour chaque mode. On superpose alors les diverses solutions obtenues pour reconstituer le champ de vent global.

L'avantage de cette méthode est de fournir une solution rapide à calculer, en raison du traitement analytique du problème, de la linéarité de la solution, et du fait qu'il n'est pas nécessaire de mailler tout l'espace mais uniquement la surface du sol. Elle peut donc être mise en œuvre dans des modèles opérationnels, en particulier pour des applications à la dispersion atmosphérique. Cette méthode a cependant plusieurs inconvénients qui en limite l'application. Tout d'abord, l'utilisation d'une solution linéarisée restreint la validité de cette solution au cas d'un relief peu accidenté. Ensuite, il est supposé que le temps caractéristique des échanges énergétiques est long devant le temps de franchissement du relief, si bien qu'il n'est pas possible de simuler des effets de brises thermiques. Enfin, l'utilisation de la transformation de Fourier dans la résolution limite en théorie le modèle à des reliefs périodiques. Même si ce point peut être contourner en rajoutant une zone "d'amortissement" du relief au bord du domaine, il n'en reste pas moins qu'il est difficile avec un tel modèle de maîtriser les conditions aux limites du domaine.

**Modèles basés sur l'équation de continuité**

Un modèle basé sur l'équation de continuité ("mass-consistent model" en anglais) permet de reconstruire un champ de vent à partir des valeurs de vitesse et de direction du vent fournies en quelques points ou profils. La méthode utilisée dans un tel modèle se décompose en deux étapes :

- **L'interpolation du vent sur un maillage** : à partir des valeurs fournies, le champ de vent est calculé en tout point d'un maillage décrivant le domaine d'étude, à l'aide d'une méthode d'interpolation spécifique. De nombreuses méthodes ont été développées pour interpoler le champ de vent en surface puis en altitude. Sans entrer dans plus de détail, rappelons simplement que le choix de cette méthode est déterminant pour garantir la cohérence physique du champ de vitesse sur l'ensemble du domaine et que deux méthodes différentes fourniront après la procédure d'ajustement des résultats différents.
- **L'ajustement du champ interpolé pour vérifier l'équation de continuité** : une fois que l'on a obtenu un champ de vent interpolé à partir des données initiales, il est important de garantir que ce champ est en accord avec l'équation de continuité, en particulier en présence de relief. Pour cela, on utilise une méthode de minimisation qui consiste à rechercher le champ de vitesse le plus proche du champ interpolé et vérifiant l'équation de continuité. En général, on cherche à minimiser une fonctionnelle du type :

$$J = \int_{\Omega} (U - U_0)^2 + (V - V_0)^2 + \frac{1}{\alpha} (W - W_0)^2 d\Omega \quad (3.40)$$

où  $\Omega$  est le domaine d'étude,  $(U_0, V_0, W_0)$  le champ de vitesse interpolé et  $(U, V, W)$  le champ ajusté de divergence nulle. Le paramètre  $\alpha$  permet d'ajuster différemment le champ de vitesse selon l'horizontale et la verticale, afin de tenir compte de la stabilité ( $\alpha > 1$  en instable,  $\alpha = 1$  en neutre et  $\alpha < 1$  en stable).

Pour que cette méthode fournisse un champ de vitesse réaliste et reproduise correctement les structures dynamiques de l'écoulement, il est important que :

- La présence du relief constitue le principal terme de forçage de l'écoulement
- Les données météorologiques d'entrée décrivent les principales structures du champ de vitesse.

En effet, il faut garder à l'esprit que ce type de modèle ne permet pas de reproduire des comportements qui ne sont pas implicitement contenus dans les données ou dans la présence du relief. De plus, le champ de vitesse obtenu ne vérifie généralement pas l'équation de conservation de la quantité de mouvement et ne constitue qu'une première approximation du champ de vent réel.

Les avantages d'une telle approche sont sa rapidité de mise en œuvre et son utilisation possible sur a priori n'importe quel type de relief. L'inconvénient majeur, déjà évoqué plus haut, est que la qualité du champ de vent obtenu dépend beaucoup de la quantité, de la position, de la qualité et de la représentativité des données utilisées en entrée du modèle.

### 3.3.2.2. *Modèles pronostiques*

Un modèle pronostique permet de calculer l'évolution temporelle du champ tridimensionnel du vent, à partir de la connaissance d'un état initial, en résolvant les équations instationnaires du mouvement. De manière générale, cette catégorie de modèle est certainement celle qui fournit les résultats les plus satisfaisants dans le plus grand nombre de cas. Néanmoins, leur mise en œuvre nécessite une quantité importante de données et des ressources informatiques importantes.

Les modèles pronostiques sont basés sur une résolution des équations moyennées de conservation de la masse, de la quantité de mouvement et de l'énergie sur un maillage tridimensionnel du domaine d'étude. Diverses paramétrisations existent pour traiter les conditions limites au niveau du sol, le rayonnement, la turbulence, la présence de vapeur d'eau, etc... Toutes ces paramétrisations peuvent avoir un effet sur la prise en compte du relief mais la seule distinction que nous ferons concerne l'hypothèse faite pour l'équation du mouvement vertical car son impact sur la représentation du relief est déterminante. Nous distinguerons ainsi :

- **Les modèles hydrostatiques** : dans ces modèles, l'équation du mouvement vertical est réduite à l'équilibre hydrostatique entre la gravité et le gradient de pression (cf. équation 3.4). Cela revient à supposer que l'accélération verticale est faible devant les autres termes. La vitesse verticale est obtenue uniquement par conservation de la masse, ce qui facilite la résolution numérique et limite le temps de calcul. Cependant, un tel modèle n'est applicable que dans l'hypothèse où le relief n'est pas trop perturbé et n'induit pas de mouvements verticaux importants.
- **Les modèles non-hydrostatiques** : dans un modèle non-hydrostatique, le mouvement vertical est résolu à partir de l'équation complète du mouvement vertical. La résolution numérique nécessite alors des temps de calculs très importants mais cette approche est indispensable dans le cas d'un relief très accidenté.

### 3.3.2.3. *Synthèse sur les champs d'application des modèles*

Afin de synthétiser les paragraphes précédents, nous avons rassemblé dans le Tableau 9 les principales caractéristiques des modèles d'écoulement sur relief. Dans le Tableau 10 nous décrivons les modèles adaptés à chaque type de relief.

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

Type de modèle		Caractéristiques	Données météorologiques nécessaires	Ressources informatiques nécessaires	Remarques
Diagnostic	Linéarisé	Solution linéaire des équations du mouvement avec un profil amont du type couche limite logarithmique	Vitesse et direction en un point ou profil de vitesse	Très limitées	Applicable sur un terrain peu complexe avec des pentes peu prononcées
	Méthode de conservation de la masse	Interpolation du champ de vent et ajustement pour vérifier l'équation de continuité	Vitesse et direction en différents points ou profils + parfois température	Limitées	Peut être appliqué sur tout type de terrain, avec cependant des précautions pour les pentes très prononcées
Prognostique	Hydrostatique	Résolution complète des équations instationnaires du mouvement avec une simplification sur l'équation verticale	Conditions aux limites à grande échelle pour vitesse et direction, température, humidité	Variables	Ne peut pas être appliqué en terrain très complexe ou avec des petites mailles
	Non-hydrostatique	Résolution complète des équations instationnaires du mouvement	Conditions aux limites à grande échelle pour vitesse et direction, température, humidité	Très importantes	Pas de réelles limitations. C'est l'approche la plus performante

Tableau 9 : Synthèse des modèles d'écoulement sur relief (d'après Fisher et al., 1998).

Type de relief	Modèle diagnostique approprié	Modèle prognostique approprié	Echelle caractéristique
Colline isolée avec des pentes peu prononcées	linéarisé		locale
Vallée isolée	conservation de la masse	hydrostatique	locale
Relief de collines	linéarisé	hydrostatique	locale
Terrain complexe	conservation de la masse	hydrostatique / non- hydrostatique	locale-régionale
Terrain très complexe	conservation de la masse	non-hydrostatique	locale-régionale

Tableau 10 : Champs d'application des différents types de modèles d'écoulement sur relief (d'après Fisher et al., 1998).

Les tableaux précédents nous indiquent quel type de modèle il faut choisir lorsque l'on souhaite prendre en compte l'influence d'un relief particulier. Mais avant de faire ce choix, il est important de se demander dans quelles situations il est nécessaire (ou non) de prendre en compte le relief dans l'étude de la dispersion atmosphérique. Au paragraphe 4.5.1, nous présentons l'influence d'un relief sur la dispersion de polluants et nous indiquons dans quelles situations il est important de modéliser l'effet du relief.

### 3.4. INFLUENCE DES BATIMENTS

La présence d'obstacles et de bâtiments au niveau du sol modifie sensiblement l'écoulement atmosphérique par rapport à un écoulement de couche limite qui se développe sur un sol plan. Ces perturbations de l'écoulement, localisées autour ou dans le sillage des obstacles ont pour effet de modifier le comportement d'un panache de polluants transporté à proximité. Nous verrons plus loin que la modification du panache est d'autant plus importante que la source de polluants est proche du ou des obstacles présents.

Pour décrire les principaux effets des obstacles sur l'écoulement et la dispersion, nous distinguerons le cas d'un obstacle isolé (paragraphe 3.4.1) et le cas d'un groupe d'obstacles interagissant mutuellement (paragraphe 3.4.2). Au paragraphe 3.4.3 nous résumons les approches disponibles pour modéliser l'écoulement autour d'obstacles.

#### 3.4.1. ECOULEMENT AUTOUR D'UN OBSTACLE ISOLE

L'écoulement autour d'un obstacle isolé a fait l'objet par le passé d'une multitude de travaux. Notre objectif ici n'est pas d'en faire une revue détaillée mais plutôt de résumer les principales caractéristiques de cet écoulement. Pour une synthèse détaillée, on pourra se référer aux articles de Hosker (1984, 1985).

Considérons un écoulement de couche limite arrivant sur un obstacle tridimensionnel, comme cela est illustré sur la Figure 48. Les dimensions caractéristiques de l'obstacle dans les directions longitudinale, transversale et verticale sont notées respectivement  $L$ ,  $W$  et  $H$ . Le champ de vitesse autour de l'obstacle peut être décomposé en 4 zones :

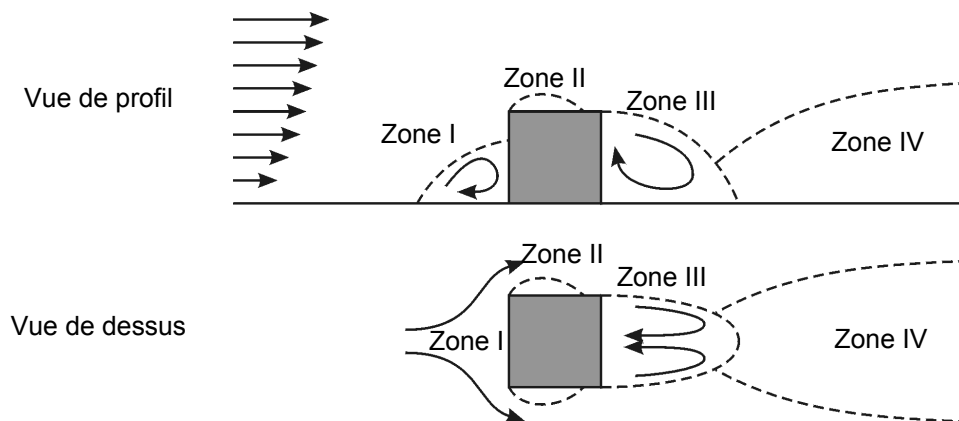


Figure 48 : Écoulement autour d'un obstacle isolé.

- **Zone de déplacement à l'amont de l'obstacle (zone I) :** cette zone est marquée par la déviation des lignes de courant qui conduisent l'écoulement à contourner l'obstacle par les côtés ou par le dessus. D'un point de vue dynamique, l'écoulement est dominé par les forces de pression associées à la présence des parois. La déformation de l'écoulement liée à l'obstacle est trop rapide pour que les effets du frottement visqueux sur les parois aient le temps d'agir et en particulier de créer ou dissiper la turbulence ("distorsion rapide" des structures turbulentes).

A l'amont de l'obstacle se forme une petite recirculation d'axe horizontal. Elle s'étend en amont jusqu'à environ  $0,9 H$  à  $1,3 H$  et atteint sur la face amont de l'obstacle une hauteur située entre  $0,5 H$  et  $0,8 H$  (cela dépend de la rugosité du profil de vent incident). Différentes paramétrisations empiriques des dimensions de cette zone sont disponibles dans la



littérature (Hosker, 1985). Le tourbillon est ensuite entraîné latéralement par l'écoulement moyen et prend une forme en "fer à cheval" qui s'étend dans le sillage (cf. Figure 49).

- **Zone de décollement sur le toit et les faces latérales de l'obstacle (zone II)** : lorsque le bâtiment présente des arêtes vives, des recirculations peuvent se former sur le toit et sur les faces latérales. La longueur de ces zones est de l'ordre de la hauteur  $H$  (formules empiriques dans Wilson, 1979 ou Hosker, 1985). Le rapport entre cette longueur et la longueur du bâtiment détermine donc s'il y a ou non rattachement de la recirculation à la paroi. Cette condition détermine fortement les caractéristiques de la zone de recirculation qui se forme dans le sillage de l'obstacle.
- **Zone de recirculation dans le sillage proche (zone III)** : dans le sillage de l'obstacle se forme une zone de recirculation (ou zone de cavité) dont la structure détaillée est particulièrement complexe (cf. Figure 49). Les dimensions caractéristiques de la zone de recirculation sont connues à travers plusieurs résultats expérimentaux et relations empiriques. Ces dimensions dépendent généralement des dimensions de l'obstacle et du rattachement (ou non) des recirculations latérales. Nous avons en particulier reporté, sur la Figure 50, l'évolution de l'extension longitudinale de cette zone en fonction du rapport  $W/H$ .

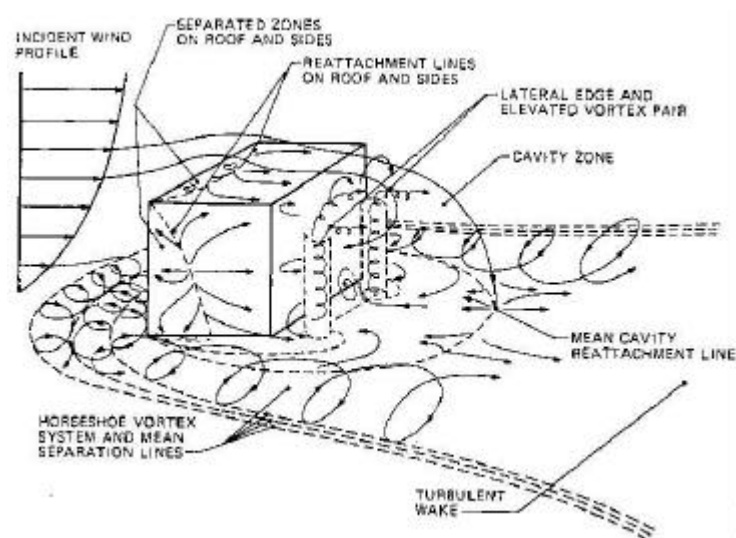


Figure 49 : Détail de l'écoulement autour d'un obstacle isolé (d'après Hosker, 1984).

- **Zone de sillage lointain (zone IV)** : au-delà de la recirculation décrite précédemment se forme une zone de sillage, caractérisée par un déficit de vitesse et par un excès de turbulence par rapport au profil d'écoulement à l'amont de l'obstacle. Dans cette zone, l'écoulement a "oublié" la forme détaillée de l'obstacle et ne dépend plus que du produit de son coefficient de traînée avec son aire frontale ( $HWC_D$ ). Les profils transversaux de vitesse et de turbulence tendent à suivre des lois d'évolution auto-similaires. Hunt (1974) a en particulier montré que le déficit de vitesse moyenne diminue en  $(x/H)^{-(3+n)/(2+n)}$  et que l'excès de fluctuation turbulente diminue en  $(x/H)^{-(4+n)/(2+n)}$ , où  $n$  est l'exposant de la loi de puissance qui décrit le profil de vitesse à l'amont de l'obstacle.

La structure d'écoulement décrite précédemment est spécifique au cas des obstacles tridimensionnels que l'on rencontre le plus fréquemment sur les sites industriels réels. Il faut noter qu'un obstacle bidimensionnel peut générer des comportements sensiblement différents que nous ne détaillerons pas dans ce rapport.

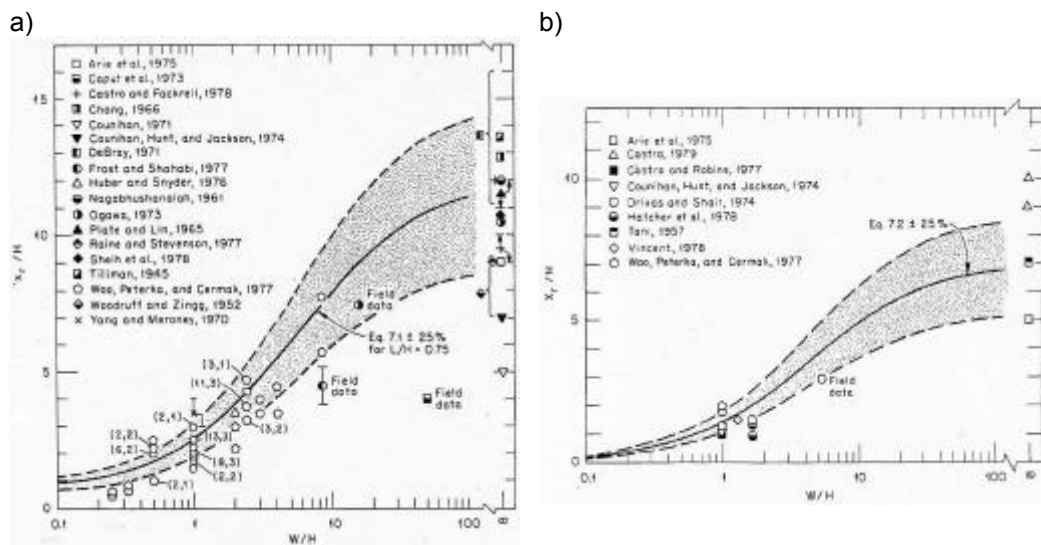


Figure 50 : Longueur  $x_r$  de la zone de recirculation en aval d'un obstacle isolé (d'après Hosker, 1984). a) dans le cas où la recirculation sur le toit ne se rattache pas. b) dans le cas où elle se rattache.

Lorsque le bâtiment ne présente pas une symétrie de révolution par rapport à un axe vertical, la structure de l'écoulement devient dépendante de la direction du vent. Il n'existe pas de comportement universel associé à une variation de la direction du vent car le détail de l'écoulement est fortement dépendant de la forme exacte de l'obstacle. On peut simplement noter que la direction du vent aura principalement une influence sur le sillage proche de l'obstacle. Le sillage lointain sera affecté si la surface frontale de l'obstacle ou son coefficient de traînée varient avec la direction du vent.

Le niveau de turbulence de l'écoulement amont est également susceptible de modifier l'écoulement au voisinage de l'obstacle. Il semble que l'on puisse distinguer deux régimes distincts (Humphries et Vincent, 1976a et b) :

- Régime où la turbulence au voisinage de l'obstacle est principalement générée par l'obstacle lui-même.
- Régime où la turbulence advectée par l'écoulement domine celle créée par l'obstacle. Dans ce deuxième cas, l'échange turbulent entre l'intérieur et l'extérieur des zones de recirculation est renforcé, ce qui a pour effet de diminuer la taille de ces recirculations (Hosker, 1984).

Le rapport entre le taux de turbulence amont et celle générée par l'obstacle dépend de la taille de ce dernier et de la rugosité et des obstacles présents en amont.

La stratification thermique de l'atmosphère peut également jouer un rôle sur l'écoulement au voisinage d'un obstacle. Les principaux effets sont observés lorsque l'atmosphère est stable. Les modifications par rapport à l'état neutre sont analogues à celles déjà décrites pour l'écoulement autour d'un relief isolé (cf. paragraphe 3.3.1.2) et les résultats de la littérature sur les obstacles s'appuient sur ces études. On notera ainsi que l'écoulement a tendance à contourner l'obstacle horizontalement lorsque le nombre de Froude, basé sur la hauteur de l'obstacle, devient inférieur à 1 (cela n'est possible que pour des bâtiments de grande taille). Par ailleurs, il faut rappeler qu'au voisinage du sol où se situent les bâtiments, la turbulence d'origine mécanique limite l'effet de la stabilité. On pourra ainsi considérer qu'en dessous d'une valeur limite du rapport  $H/L_{MO}$  de l'ordre de un, l'effet de la stabilité sur l'écoulement autour d'un obstacle est négligeable.

### 3.4.2. ECOULEMENT DANS UN GROUPE D'OBSTACLES

La généralisation des résultats précédents aux situations présentant plusieurs obstacles en interaction constitue encore aujourd'hui un problème délicat, sur lequel des travaux de recherche se poursuivent.

Le premier point à aborder consiste à déterminer à partir de quand il n'est plus possible de traiter les obstacles comme isolés les uns des autres et à partir de quand leur interaction devient prépondérante sur l'écoulement. Sur la base des travaux expérimentaux de Hussain et Lee (1980), Hosker (1985) et Oke (1988) proposent une classification des régimes d'écoulement dans un alignement régulier d'obstacles rectangulaires. Cette classification, faisant intervenir trois régimes distincts, est présentée sur la Figure 51.

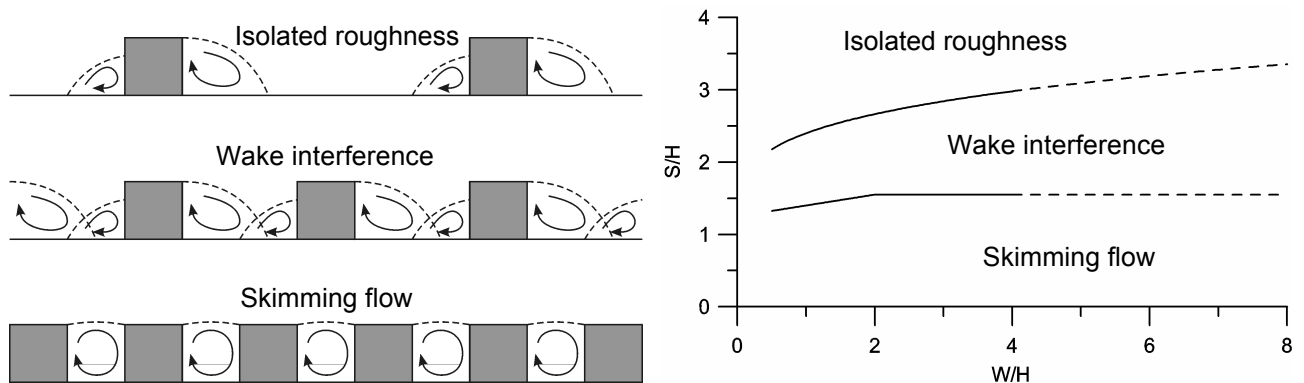


Figure 51 : Différents régimes d'écoulement dans un groupe d'obstacles.  $S$  représente l'espacement entre les obstacles.

Le régime d'*isolated roughness* correspond à des obstacles suffisamment éloignés les uns des autres pour ne pas interagir entre eux. En régime de *wake interference*, les bâtiments sont assez proches pour que la zone de recirculation du bâtiment amont interagisse avec la zone de déplacement du bâtiment aval. Dans ce régime, l'échange entre l'écoulement extérieur et l'écoulement au-dessous du niveau des toits est important. Le régime de *skimming flow* correspond à un écoulement interne confiné entre les bâtiments, ce qui se traduit par peu d'échange avec l'écoulement externe.

A l'exception de quelques cas particuliers (rues, intersections, ...), il est difficile de trouver des comportements universels pour le détail de l'écoulement dans un groupe d'obstacles. Lorsque l'espace entre les bâtiments s'apparente à des rues en forme de cavité, appelées *rues-canyons*, des recirculations stationnaires se constituent, avec des caractéristiques qui dépendent de la géométrie de la rue et de la vitesse, de la direction et de la turbulence du vent extérieur (Soulhac, 2000). A l'intersection entre deux rues, le mélange des courants d'air issus des deux rues amont suit un comportement qui dépend de la direction du vent (Soulhac, 2000). Gandemer et Guyot (1976 ; 1981) ont également identifié l'allure des écoulements autour d'organisations particulières de bâtiments et d'immeubles.

Au-delà de ces configurations spécifiques, on s'intéresse généralement aux caractéristiques moyennes du champ de vitesse et de turbulence à l'intérieur d'un groupe d'obstacles. Les études récentes sur le sujet (Isnard, 1999 ; MacDonald *et al.*, 2000, Soulhac *et al.*, 2001) permettent d'identifier les principaux effets observés. En ce qui concerne l'écoulement moyen, un groupe d'obstacles aura pour effets :

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

- **La réduction de vitesse dans le groupe en raison de la traînée des obstacles** : la traînée due aux obstacles induit une perte de quantité de mouvement qui se traduit par une diminution de vitesse dans le groupe et une accélération compensatrice au-dessus. Cette traînée est une traînée de pression lorsque les obstacles sont suffisamment éloignés et une traînée de frottement lorsque l'écoulement est canalisé entre les faces des bâtiments.
- **La déviation de l'écoulement par des effets de portance** : lorsque l'axe principal du groupe d'obstacles est orienté par rapport au vent, la résultante de l'effort des bâtiments sur l'écoulement est orientée de façon quelconque et conduit à l'apparition d'une vitesse transversale non nulle.
- **L'augmentation de vitesse due à l'obstruction de l'écoulement par les bâtiments** : pour la même vitesse de débit, l'écoulement entre les bâtiments est d'autant plus rapide que la densité de bâtiments est importante car la section de passage du fluide est plus faible.

Les principaux effets d'un groupe d'obstacles sur la turbulence sont :

- **La création de turbulence** : l'augmentation du cisaillement lié au frottement sur les parois des bâtiments est à l'origine d'une création d'énergie turbulente.
- **Filtrage des grosses échelles** : en présence d'obstacles, la dimension caractéristique des structures turbulentes est limitée à la plus petite des distances entre l'espacement des obstacles et la distance au sol. Le spectre d'énergie turbulente peut alors être modifié par rapport à une situation sans obstacles.

Les principaux paramètres qui contrôlent ces phénomènes sont la porosité du groupe (surface non couverte par des obstacles / surface totale), la dimension caractéristique des obstacles, leur forme et leur organisation. Il faut noter qu'il n'existe aujourd'hui quasiment pas de modèle pour traiter l'écoulement et la dispersion dans un groupe d'obstacles.

Sur la base d'expériences en veine hydraulique et en soufflerie, MacDonald (2000) et Soulhac *et al.* (2001) ont chacun proposé un modèle pour décrire le profil de vitesse moyenne au sein d'un groupe d'obstacles. Ces modèles sont basés sur une description du profil de vitesse en dessous du niveau des toits (hauteur H) par une loi en exponentielle :

$$u(z) = U_H \exp \left[ a \left( \frac{z}{H} - 1 \right) \right] \quad (3.41)$$

Le coefficient a est paramétré en fonction des caractéristiques géométriques des obstacles (porosité, taille, organisation). Afin d'illustrer l'influence des obstacles sur le profil de vitesse moyenne, nous avons reporté sur la Figure 52 l'influence de la porosité du groupe d'obstacles à l'aide du modèle de Soulhac *et al.*.

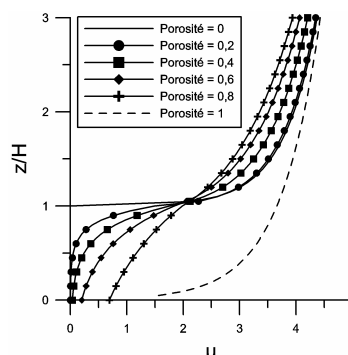


Figure 52 : Profils de vitesse dans un groupe d'obstacles, pour différentes valeurs de porosité (d'après Soulhac *et al.*, 2001).

### 3.4.3. MODELISATION DE L'ÉCOULEMENT AUTOUR D'OBSTACLES

Nous avons vu dans les paragraphes précédents que l'écoulement autour d'obstacles fait intervenir des phénomènes complexes. Leur représentation suppose donc la mise en œuvre de techniques de modélisation particulières. Nous distinguerons trois types d'approches :

- **Les approches paramétriques** : dans un certain nombre de problèmes, il n'est pas nécessaire de connaître l'ensemble du champ de vitesse mais uniquement quelques caractéristiques particulières de ce champ : déviation verticale ou latérale de l'écoulement, dimensions des zones de recirculation, intensité de turbulence dans un groupe d'obstacles ... Ces comportements peuvent être décrits à l'aide de formules paramétriques simples, souvent obtenues à partir de résultats expérimentaux (Hosker, 1984). De telles approches peuvent être utilisées pour décrire la modification de la dispersion atmosphérique sous l'effet d'obstacles simples. Elles ne sont par contre pas adaptées dans des situations complexes quelconques.
- **Les modèles simplifiés** : les modèles simplifiés permettent de décrire le champ de vitesse sans avoir à résoudre les équations du mouvement dans leur forme la plus générale. Ces modèles s'appuient généralement sur des hypothèses simplificatrices concernant la géométrie des obstacles (exemple des modèles de rue-canyon, adaptés à la géométrie particulière des rues – voir une revue dans Soulhac, 2000) ou concernant la physique de l'écoulement (exemple des modèles basés sur la conservation de la masse, analogues à ceux déjà évoqués au paragraphe 3.3.2.1 pour le cas du relief – voir Kaplan et Dinar, 1996). On peut également citer les modèles d'écoulement en canopée (MacDonald, 2000 et Soulhac *et al.*, 2001), qui fournissent les caractéristiques moyennes de l'écoulement dans un groupe de bâtiments, à l'aide de solutions analytiques paramétrées.
- **Les modèles eulériens tridimensionnels** : les approches les plus précises pour décrire l'écoulement autour d'un ou plusieurs obstacles quelconques sont certainement les modèles eulériens tridimensionnels, basés sur une résolution détaillée de l'équation de Navier-Stokes (souvent dans sa forme moyennée) sur un maillage décrivant les obstacles. La principale limitation de ces approches est la lourdeur de leur mise en œuvre. En effet, elles supposent de décrire chaque obstacle de l'écoulement avec un grand nombre de cellules du maillage si bien que compte tenu de la capacité actuelle des ordinateurs, il n'est pas possible de traiter des configurations très complexes. De plus, pour simplifier la résolution du problème, on utilise souvent la forme moyennée des équations du mouvement, qui suppose l'ajout d'un modèle de turbulence (cf. paragraphe 2.3.3). Ce modèle induit un certain nombre d'erreurs dans la représentation des phénomènes, en particulier dans les écoulements autour d'obstacles.

Il existe donc différentes techniques plus ou moins complexes et plus ou moins précises (l'un allant souvent avec l'autre) pour modéliser l'écoulement autour d'obstacles. Le choix du type de modèle à utiliser dans une simulation de la dispersion de polluants dépend avant tout de l'impact des obstacles sur cette dispersion. Nous présenterons l'interaction entre les obstacles et la dispersion atmosphérique au paragraphe 4.5.2 et nous indiquerons dans quels cas il est utile de modéliser spécifiquement l'effet des obstacles. Il faut cependant garder à l'esprit que le choix du modèle d'écoulement n'est pas complètement indépendant du choix du modèle de dispersion. En effet, un modèle de dispersion peut avoir besoin d'informations qui ne sont pas fournies par tous les modèles d'écoulement. Inversement, il est souvent inutile d'utiliser un modèle d'écoulement trop complexe si le modèle de dispersion utilisé par la suite fait des hypothèses très grossières.

### 3.5. RESUME SUR LA METEOROLOGIE LOCALE

Les phénomènes météorologiques constituent le vecteur des polluants transportés dans l'atmosphère. Pour comprendre et modéliser la dispersion atmosphérique, il est donc essentiel de décrire les principaux phénomènes météorologiques, en particulier à l'échelle locale.

L'atmosphère peut être décomposée en plusieurs couches horizontales. La partie inférieure de l'atmosphère, à l'intérieur de laquelle les effets du sol sont importants, constitue la **couche limite atmosphérique (CLA)**. Les variables couramment utilisées pour décrire l'atmosphère sont :

- **La vitesse du vent** : dans l'atmosphère, l'écoulement du vent est **turbulent**, ce qui se caractérise par une fluctuation désordonnée de la vitesse dans l'espace et dans le temps.
- **La pression** : la pression décroît avec l'altitude sous l'effet de la gravité (**équilibre hydrostatique**).
- **La température** : la température décroît avec l'altitude. Le gradient vertical de température permet de caractériser l'**état de stabilité thermique** de l'atmosphère. Dans un **état neutre**, il n'y a pas d'action des effets thermiques sur le mouvement vertical de l'air. Dans un **état stable**, le mouvement et la turbulence dans la direction verticale sont atténués par les forces de flottabilité. Dans un **état instable**, les mouvements verticaux et la turbulence sont amplifiés.

Les phénomènes météorologiques recouvrent une **large gamme d'échelles spatiales et temporelles** qui n'ont pas toutes la même influence sur la dispersion de polluants. On considérera que les phénomènes internes à la CLA ont une influence directe sur la dispersion à court terme de rejets industriels tandis que les phénomènes de plus grande échelle peuvent être pris en compte à travers quelques paramètres particuliers. Parmi les phénomènes qui peuvent être paramétrés, on peut citer les **effets radiatifs**, la présence d'**humidité** ou l'effet de la **force de Coriolis**.

La structure de la CLA dépend principalement de l'état de stratification thermique de l'atmosphère, qui évolue au cours du temps. D'un point de vue dynamique, on distingue au sein de la CLA, la **couche limite de surface (CLS)** et la **couche d'Ekman**. D'un point de vue thermique, la CLA est constituée de la couche limite de surface associée à la **couche de mélange** au cours de la journée (atmosphère instable) et de la couche limite de surface associée à la **couche résiduelle** au cours de la nuit (atmosphère stable).

Le profil de vitesse dans la CLA est déterminé en partie par le **frottement au sol**. Plus ce frottement est important, plus le profil de vitesse est cisailé. C'est également le frottement qui est à l'origine de la **turbulence mécanique**. L'intensité du frottement dépend de la **rugosité aérodynamique** du sol, dont il existe des modèles typologiques et morphométriques.

L'état de stratification thermique conduit à la production (**état instable = turbulence forte**) ou à la destruction (**état stable = turbulence faible**) de turbulence. Cela modifie le profil de vitesse et les propriétés de la couche limite. Les caractéristiques de la couche limite de surface en atmosphère stratifiée, sur un terrain plat uniforme, peuvent être décrites par la **théorie de similitude de Monin-Obukhov**.

Sur un sol hétérogène, des comportements spécifiques apparaissent, tels que des **couches limites internes**, des **brises côtières** ou des phénomènes d'**îlot de chaleur**.

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

La présence de **relief modifie sensiblement l'écoulement** par rapport au cas d'un sol plat. Le comportement de l'écoulement sur un relief dépend de la stabilité thermique de l'atmosphère. Dans le cas d'une colline isolée, l'air a tendance à **s'élever pour franchir le relief en atmosphère neutre** et à le **contourner en atmosphère stable**. Des phénomènes de **brises thermiques** peuvent également se développer sur les pentes des reliefs, en particulier au sein des vallées.

Les méthodes de modélisation de l'écoulement sur relief peuvent être classées de la façon suivante :

- **Les modèles diagnostiques** : on distingue les **modèles linéarisés** et les **modèles de conservation de la masse**.
- **Les modèles pronostiques** : on distingue les **modèles hydrostatiques** et les **modèles non-hydrostatiques**.

A plus petite échelle, les **obstacles ou les bâtiments** perturbent également l'écoulement dans la couche limite de surface. Dans le cas d'un obstacle isolé, l'écoulement **contourne l'obstacle à l'amont**, forme une **zone de recirculation** dans le sillage proche et une **zone de déficit de vitesse** dans le sillage lointain. L'influence d'un obstacle est plus forte en aval qu'en amont de celui-ci. Cette influence diminue lorsque l'on s'éloigne de l'obstacle.

Lorsque plusieurs obstacles interagissent (**groupe d'obstacles**), on observe une **diminution globale de la vitesse** associée à la traînée des obstacles et une **modification de la turbulence** de l'écoulement.

On peut distinguer trois types de méthodes de modélisation de l'écoulement autour d'obstacles :

- **Les approches paramétriques.**
- **Les modèles simplifiés.**
- **Les modèles eulériens tridimensionnels**

## 4. DISPERSION ATMOSPHERIQUE

Ce chapitre présente un résumé des connaissances théoriques et empiriques sur la dispersion de matière dans les écoulements atmosphériques. Afin de bien comprendre le rôle joué par les différents phénomènes, nous présentons dans un premier temps le cas "simple" de la dispersion dans une atmosphère neutre, sur un sol plat, à partir d'une source ponctuelle. Les paragraphes suivants décrivent différents effets plus complexes qui peuvent modifier le comportement du panache et les concentrations observées : la stratification thermique, la nature et les conditions initiales du rejet, l'influence du relief et des bâtiments, les phénomènes de déposition et les processus d'envol de particules, les fluctuations de concentration.

### 4.1. INTRODUCTION A LA DISPERSION DE POLLUANTS ISSUS D'UNE SOURCE PONCTUELLE EN ATMOSPHERE NEUTRE

Le cas que l'on rencontre le plus fréquemment dans l'étude de la dispersion de polluants industriels est le cas d'un rejet ponctuel continu, qui s'effectue par exemple au niveau d'une cheminée. C'est pourquoi nous allons souvent nous intéresser à ce cas dans la suite du chapitre.

L'allure générale du nuage de polluants issu d'une source ponctuelle (appelé *panache*) est illustrée sur la Figure 53. L'enveloppe du nuage a une forme allongée qui s'étire dans la direction du vent. Il faut noter qu'un panache n'est visible à l'œil nu que si l'espèce transportée est visible et en concentration suffisante (exemple des panaches de condensation ou de particules solides).

a) Exemple d'un panache industriel



b) Profils de concentration dans un panache et au niveau du sol

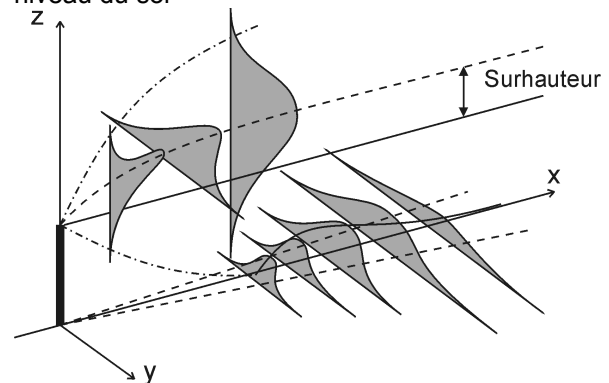


Figure 53 : Dispersion d'un panache à partir d'une source ponctuelle.

La concentration en polluants dans un panache n'est pas uniforme. Elle est maximale au voisinage de l'axe du panache et diminue plus on s'éloigne de cet axe. Nous avons montré au chapitre 2 que la distribution transversale de concentration est approximativement gaussienne pour une source ponctuelle (cf. Figure 53-b et Figure 54). **Cette distribution gaussienne est principalement caractérisée par le débit  $Q$  de la source, par la vitesse  $U$  du vent et par ses écarts-types transversaux  $s_y$  et verticaux  $s_z$ .** Au cours du transport du panache par le vent, ces écarts-types augmentent sous l'effet du mélange par la turbulence atmosphérique. Nous reviendrons aux paragraphes 4.1.3 et 4.2.2 sur les paramètres qui régissent cette évolution. En raison du fait que la quantité transportée par le panache doit rester constante, l'étalement de la distribution transversale de concentration se traduit par une diminution de la concentration sur l'axe du panache (cf. Figure 54). Ainsi, on peut considérer que plus on s'éloigne du point de rejet, plus la concentration due à ce rejet diminue et tend vers zéro.



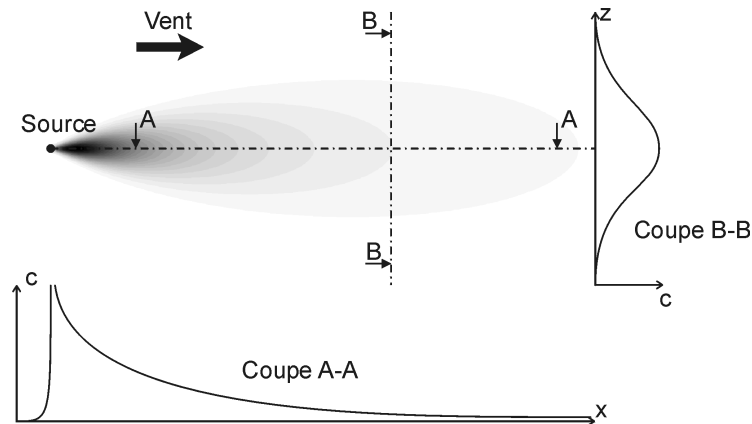


Figure 54 : Profils de concentration dans un panache.

Le comportement simplifié que nous venons de décrire est en réalité compliqué par une multitude d'effets liés à la complexité des écoulements atmosphériques. L'action de ces effets sur la concentration dans le panache est schématisée sur la Figure 55. On note sur cette figure que la prise en compte de la plupart des effets s'effectue à travers la connaissance du champ de vent ou de turbulence. En particulier, un modèle gaussien tient compte de ces différents effets en paramétrant leur influence sur les variables  $U$ ,  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$ ,  $Q$  et sur la position de la source. Les effets présentés sur la Figure 55 sont introduits progressivement au cours de ce chapitre.

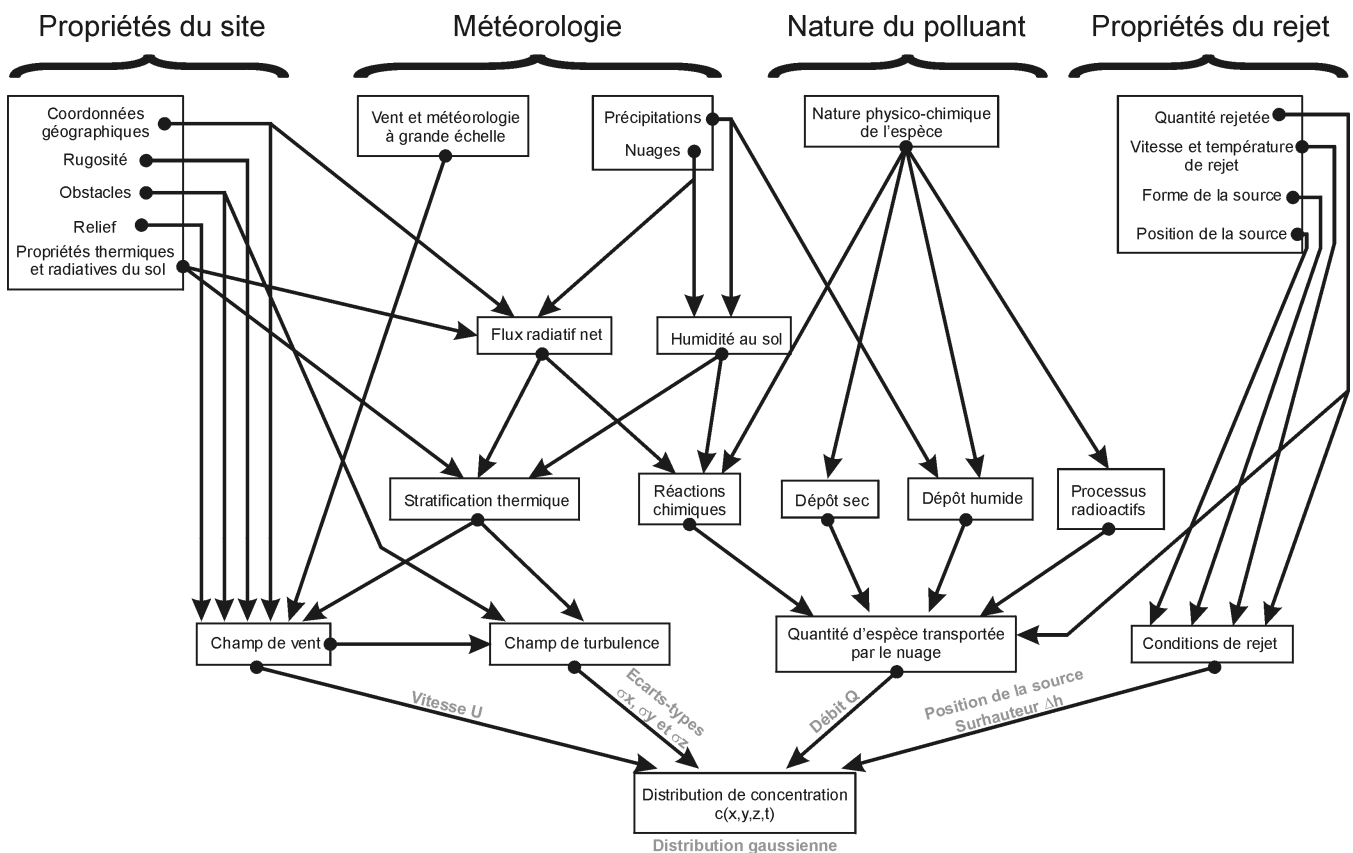


Figure 55 : Schéma de synthèse des processus qui affectent la distribution de concentration dans un panache. Les indications en gris clair représentent les paramètres utiliser pour prendre en compte les différents effets dans un modèle gaussien.

#### 4.1.1. INFLUENCE DE LA SURFACE TERRESTRE

Le premier effet qui induit une modification de la dispersion d'un panache est la présence du sol. En effet, la surface terrestre constitue un obstacle à la diffusion des polluants qui ne peuvent pas pénétrer dans le sol. Tant que le panache est situé loin au-dessus du sol, il n'est quasiment pas modifié par sa présence. Lorsque l'étalement vertical du panache est suffisant pour que la concentration à la surface soit non négligeable, **la présence du sol a pour effet d'augmenter localement la concentration**, comme cela est illustré sur la Figure 56. S'il n'y a pas de mécanisme de dépôt, le gradient vertical de concentration au sol est nul.

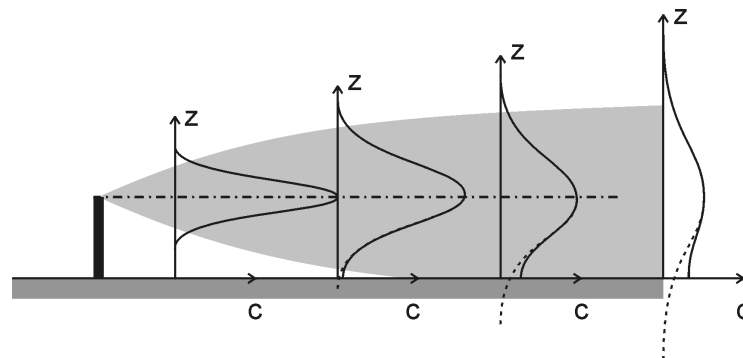


Figure 56 : Interaction d'un panache de polluants avec le sol. Les courbes en pointillés représentent les profils de concentration en l'absence de sol et les courbes continues correspondent à la situation avec sol.

Conceptuellement, le panache se comporte comme s'il existait une source image, de même débit que la source réelle, et symétrique de celle-ci par rapport au sol. Cette notion de réflexion du panache par rapport au sol est utilisée dans les modèles gaussiens pour prendre en compte la présence du sol (cf. paragraphe 2.3.1). Il faut noter que dans les modèles gaussiens, les formulations classiques, utilisées pour paramétrer les écarts-types  $\sigma_y$  et  $\sigma_z$ , (exemple des formulations de Pasquill ou de Doury ; voir aux paragraphes 4.1.3 et 4.2.2) ne tiennent pas compte de la présence du sol. Il est donc nécessaire, dans ce type de modèle, de modéliser explicitement l'existence d'une paroi au niveau du sol.

#### 4.1.2. INFLUENCE DE LA VITESSE DU VENT ET DU GRADIENT DE VITESSE

La vitesse du vent constitue un des paramètres déterminants de la dispersion des polluants dans l'atmosphère. Il est donc important de déterminer le rôle de la vitesse et de définir comment déterminer cette vitesse lorsque le champ de vitesse n'est pas uniforme. Nous ne nous intéresserons ici qu'à la vitesse moyenne du vent. Le rôle de la turbulence sera abordé au paragraphe suivant.

##### Rôle de la vitesse

Dans le cas d'un rejet instantané, la vitesse du vent influence le transport (ou *advection*) de la bouffée de polluants. Si le rejet est effectué à l'instant  $t = 0$ , un capteur situé à une distance  $x$  en aval du rejet mesurera une concentration maximale au bout d'un temps  $\Delta t = x / U$ . Cette durée est donc d'autant plus courte que la vitesse du vent est élevée (cf. Figure 57). Par contre, la concentration maximale observée sera indépendante de la vitesse du vent, tant que cette vitesse est suffisamment élevée (en fait, cela est vrai tant que la turbulence de l'écoulement est proportionnelle à la vitesse moyenne). Pour des vents faibles ( $U \lesssim 1$  m/s) ou des situations fortement convectives, la concentration maximale observée lors du passage du nuage n'est plus

indépendante de la vitesse. Des paramétrisations particulières sont alors nécessaires pour traiter ces situations.

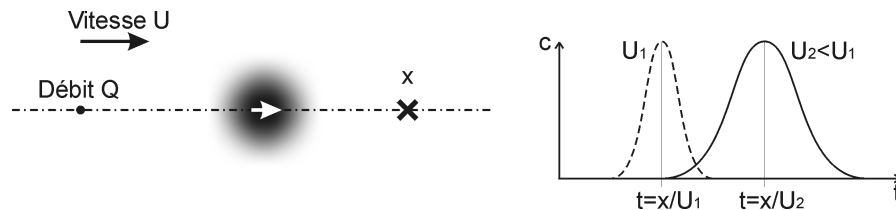


Figure 57 : Evolution de concentration lors du passage d'une bouffée de polluants rejetée de façon ponctuelle (en  $x = 0$ ) et instantanée (en  $t = 0$ ). Le graphe à droite de la figure représente les évolutions de concentration au point de coordonnée  $x$ , pour deux valeurs de vitesse.

**Dans le cas d'un rejet continu (de débit constant au cours du temps), la concentration en tout point du panache est inversement proportionnelle à la vitesse du vent.** L'allure de la distribution spatiale de concentration, en particulier les écarts-types  $\sigma_y$  et  $\sigma_z$ , reste identique quelle que soit la vitesse du vent :

$$c \propto \frac{1}{U} \quad (4.1)$$

Ce résultat très important n'est cependant valable que si la vitesse du vent est suffisamment élevée (une relation inversement proportionnelle entre la concentration et la vitesse du vent conduit à une concentration infinie lorsque la vitesse du vent est nulle). Pour des vents faibles ( $U \lesssim 1$  m/s), le panache diffuse uniquement sous l'effet de la turbulence d'origine convective. Des paramétrisations particulières sont également nécessaires pour traiter ces situations.

#### **Détermination de la vitesse effective dans un vent non uniforme**

Les comportements décrits précédemment suppose que l'on connaisse une valeur de vitesse représentative du transport du panache ou de la bouffée par le vent moyen. Or dans l'atmosphère, le vent n'est pas uniforme dans l'espace et entre autre sur le volume occupé par le panache. En particulier, la vitesse du vent varie avec l'altitude. Il est donc important de déterminer à quelle vitesse se déplace le nuage de polluants.

L'exemple caractéristique de ce problème est le cas d'un rejet de polluants au niveau du sol (exemple de l'émission à partir d'une nappe d'hydrocarbure). Même si la vitesse du vent à 10 m d'altitude est importante, on sait que la vitesse au niveau du sol, c'est-à-dire à l'emplacement du rejet, est toujours égale à zéro. Si l'on se contentait d'utiliser une vitesse nulle, on pourrait penser que le nuage reste immobile et se disperse autour de sa position initiale uniquement sous l'effet de la turbulence. Or en réalité on constate que ce n'est pas le cas. En effet, avec ou sans vent, le nuage se disperse et s'étale verticalement, vers des zones où la vitesse du vent n'est plus égale à zéro. Le nuage est alors transporté par le vent, à une vitesse qui évolue au cours de son étalement.

La vitesse à laquelle se déplace le centre de masse du panache est appelée *vitesse effective d'advection*. Des méthodes de calcul de cette vitesse ont déjà été présentées au paragraphe 2.3.1.5. Il faut noter qu'une prise en compte spécifique de ce phénomène n'est nécessaire que dans les modèles gaussiens. Les modèles lagrangiens et eulériens permettent de traiter la dispersion dans n'importe quel type de champ de vitesse non uniforme.

### 4.1.3. INFLUENCE DE LA TURBULENCE SUR LA DISPERSION

La rapidité avec laquelle les polluants se diluent dans l'atmosphère dépend principalement de la turbulence de l'écoulement dans la couche limite atmosphérique. Nous avons rappelé au chapitre 3 que la turbulence atmosphérique a deux origines :

- **Le frottement mécanique** du vent sur la surface du sol.
- **La stratification thermique** qui crée (en atmosphère instable) ou détruit (en atmosphère stable) la turbulence.

Quels que soient les mécanismes qui créent la turbulence, **on observe dans l'atmosphère que l'étalement d'un nuage de polluants (quantifié par ses écarts-types  $s_x$ ,  $s_y$  et  $s_z$ ) est d'autant plus rapide que la turbulence de l'écoulement (quantifié par les écarts-types des fluctuations de vitesse  $s_u$ ,  $s_v$  et  $s_w$ ) est élevée.** Nous avons présenté au chapitre 2 les comportements généraux des écarts-types de diffusion dans un écoulement turbulent. D'un point de vue pratique, un grand nombre de paramétrisations ont été développées pour relier ces écarts-types à des paramètres qui expriment l'intensité de la turbulence atmosphérique. Afin de simplifier l'approche de ces phénomènes, nous allons dans un premier temps présenter le cas d'une atmosphère neutre, où la turbulence est uniquement d'origine mécanique. Nous détaillerons au paragraphe 4.2.2 les paramétrisations adaptées au cas d'une atmosphère stratifiée.

De manière générale, il existe deux types de paramétrisations des écarts-types de dispersion dans l'atmosphère :

- **Les paramétrisations par classes** qui décrivent l'évolution des écarts types pour des états particuliers de l'atmosphère. Ces paramétrisations sont le plus souvent dérivées d'expériences de terrain effectuées dans des situations particulières. C'est sur cette base qu'est fondée la *première génération* de modèles gaussiens de dispersion
- **Les paramétrisations continues** qui relient l'évolution des écarts-types à des grandeurs caractéristiques de l'atmosphère. Ces paramétrisations s'appuient sur des développements théoriques associés à des constantes empiriques. Les paramétrisations sont utilisées dans la *deuxième génération* de modèles gaussiens.

Si l'on se limite au cas d'une atmosphère neutre, l'étalement d'un panache dépend uniquement de la turbulence d'origine mécanique. Nous avons montré au chapitre 3 que cette turbulence est due au frottement du vent sur le sol, qui dépend de la rugosité aérodynamique de la surface terrestre. En atmosphère neutre, le principal paramètre pris en compte dans les paramétrisations des écarts-types sera donc la rugosité du sol sur lequel s'effectue la dispersion. Lorsque cette rugosité n'est pas uniforme, il sera nécessaire de tenir compte des remarques effectuées au paragraphe 3.2.3.3.

#### **Paramétrisations par classes**

Nous avons représenté, sur la Figure 58, l'évolution des écarts-types de dispersion obtenus à partir des paramétrisations de Pasquill, de Briggs (1973) et du Brookhaven National Laboratory. Les formules ayant permis de calculer ces évolutions sont fournies en annexe 2. Chacune de ces paramétrisations a été obtenue à partir d'expériences sur des terrains de rugosités différentes. Cela explique que l'on observe des différences parfois importantes entre les courbes de la Figure 58. La paramétrisation de Briggs permet de distinguer deux types de rugosité (sol "rural" et "urbain"). On constate que la rugosité la plus élevée (sol urbain) induit un étalement plus important du panache dans les directions transversale et verticale. Ce résultat est en accord avec les remarques effectuées plus haut.

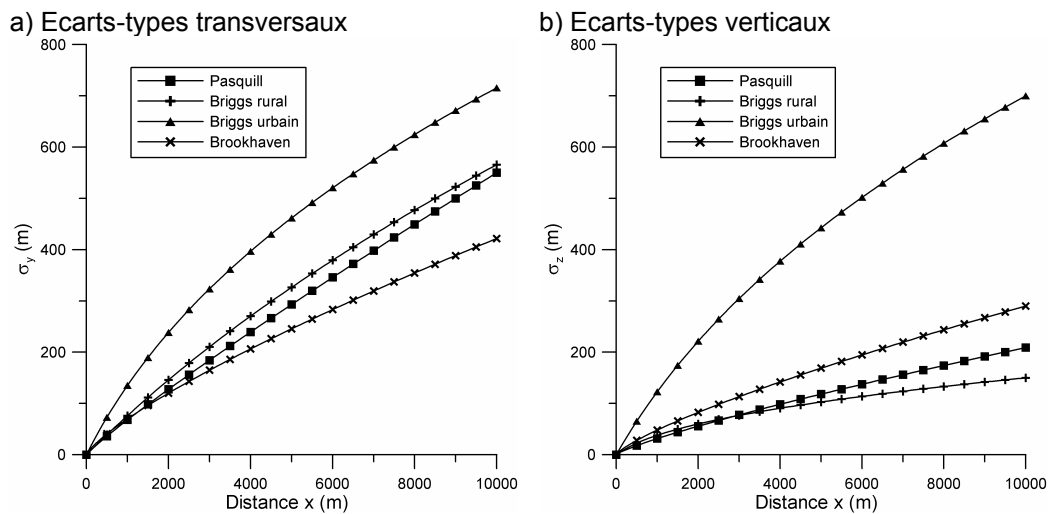


Figure 58 : Evolution des écarts-types de dispersion – Formulations par classes.

D'autres formulations, basées sur le temps de diffusion et non sur la distance, sont également disponibles (exemple de la paramétrisation de Doury, présentée en annexe 2). D'un point de vue pratique, les formulations par classes sont très faciles à mettre en œuvre puisqu'il suffit de choisir une formulation et d'appliquer les relations fournies en annexe 2. Cependant, compte tenu des écarts constatés sur la Figure 58 entre les différentes formulations, il est évident que ce type d'approche est trop sommaire pour espérer représenter finement des différences de comportements entre plusieurs sols. C'est pourquoi des paramétrisations continues ont été développées et sont aujourd'hui plus largement utilisées dans les modèles de dispersion utilisant les écarts-types (modèles gaussiens).

**Paramétrisation continues**

Les paramétrisations continues des écarts-types de diffusion sont basées sur les éléments théoriques de la théorie statistique de la dispersion turbulente, présentés au paragraphe 2.2.3. Pour représenter les comportements asymptotiques de l'équation 2.16, de nombreux auteurs utilisent les relations suivantes pour exprimer les écart-types de diffusion  $\sigma_y$  et  $\sigma_z$  (Weil, 1985) :

$$\sigma_y = \frac{\sigma_v t}{\sqrt{1 + \frac{1}{2} \frac{t}{T_{Ly}}}} \quad \text{et} \quad \sigma_z = \frac{\sigma_w t}{\sqrt{1 + \frac{1}{2} \frac{t}{T_{Lz}}}} \quad (4.2)$$

où  $t$  représente le temps de diffusion depuis l'instant du rejet, et  $T_{Ly}$  et  $T_{Lz}$  les échelles de temps lagrangiennes dans les directions  $y$  et  $z$ . L'évolution de  $\sigma_y$  et  $\sigma_z$  fournie par la relation 4.2 est proportionnelle à  $t$  au début du rejet et à  $t^{1/2}$  pour des temps importants. Il existe dans la littérature différentes expressions des paramètres  $T_{Ly}$  et  $T_{Lz}$ . Citons à titre d'exemple les relations suivantes, valables en atmosphère neutre :

$$\begin{cases} T_{Ly} = 0,4 \frac{h}{\sigma_v} & \text{d'après Weil (1985) et Carruthers (1994)} \\ T_{Lz} = 0,36 \frac{z_s}{\sigma_w} & \text{d'après Venkatram et al. (1984)} \end{cases} \quad (4.3)$$

où  $h$  est la hauteur de la couche limite et  $z_s$  la hauteur du rejet.

Les relations 4.2 et 4.3 permettent de relier les écarts-types de diffusion  $\sigma_y$  et  $\sigma_z$  aux fluctuations de vitesse  $\sigma_v$  et  $\sigma_w$ , qui dépendent elles-mêmes de la vitesse de frottement  $u_*$  (relations 3.22) et donc, in fine, de la rugosité  $z_0$  du sol (voir paragraphe 3.2.2). Les modèles de dispersion utilisent généralement un pré-processeur météorologique pour déterminer ces différents paramètres, en s'appuyant sur les relations présentées au paragraphe 3.2.2. Si l'on remplace le temps de diffusion  $t$  par le rapport  $x / U$  (où  $U$  est la vitesse d'advection du panache) et que l'on combine les relations 4.2, 4.3, 3.22 et 3.15, on peut montrer que :

$$\begin{cases} \sigma_y = 1,9 \frac{u_*}{U} \frac{x}{\sqrt{1 + 2,37 \frac{u_*}{U} \frac{x}{h}}} \\ \sigma_z = 1,25 \frac{u_*}{U} \frac{x}{\sqrt{1 + 1,74 \frac{u_*}{U} \frac{x}{z_s}}} \end{cases} \text{ avec } \frac{u_*}{U} = \frac{\kappa}{\ln\left(\frac{z_U}{z_0}\right)} \quad (4.4)$$

où  $z_U$  représente la hauteur à laquelle la vitesse du vent est égale à  $U$ .

D'un point de vue physique, la relation 4.4 fournit l'évolution des écarts-types de diffusion avec la distance, paramétrées en fonction de la rugosité aérodynamique  $z_0$  du sol. Ces évolutions sont illustrées sur la Figure 59. On constate que l'étalement du panache est d'autant plus important que la rugosité du sol est élevée. **Cela signifie qu'un panache transporté au-dessus d'un site urbain ou industriel, dont la rugosité est élevée, diffusera plus facilement qu'un panache transporté au-dessus d'un terrain rural. Les concentrations correspondantes seront en conséquence plus faibles dans le cas d'un site urbain ou industriel que sur un sol rural.** On note également sur la Figure 59 que les ordres de grandeur des écarts-types sont comparables avec ceux fournis par les paramétrisations par classes (voir Figure 58). L'intérêt des approches continues est cependant de fournir une représentation beaucoup plus précise de la dispersion, en tenant compte des spécificités du site considéré.

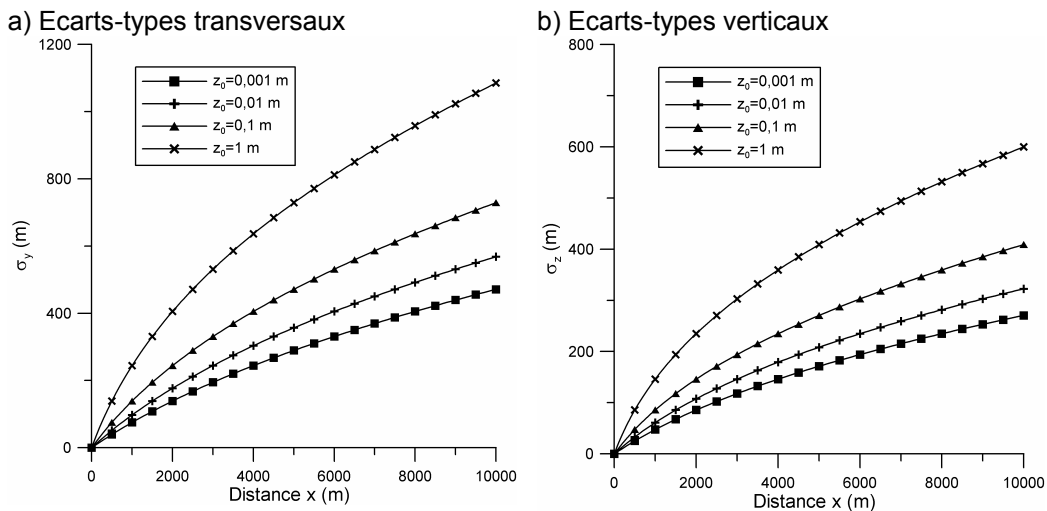


Figure 59 : Evolution des écarts-types de dispersion pour différentes valeurs de rugosité du sol.

Nous avons rappelé au cours des paragraphes précédents que le comportement d'un panache de polluants dépend fortement de l'intensité de la turbulence atmosphérique. Or cette turbulence est en grande partie déterminée par l'état de stabilité thermique de l'atmosphère. C'est pourquoi nous allons maintenant nous intéresser à l'influence de cette stratification sur la dispersion.

## 4.2. INFLUENCE DE LA STRATIFICATION THERMIQUE DE L'ATMOSPHERE

La description des processus météorologiques relatifs à la stratification thermique a été effectuée au chapitre 3, et en particulier aux paragraphes 3.1.2.3 et 3.2.3. Nous renvoyons à ces paragraphes pour plus de détails. Dans ce paragraphe, nous nous intéressons aux conséquences de ce mécanisme sur la dispersion de polluants.

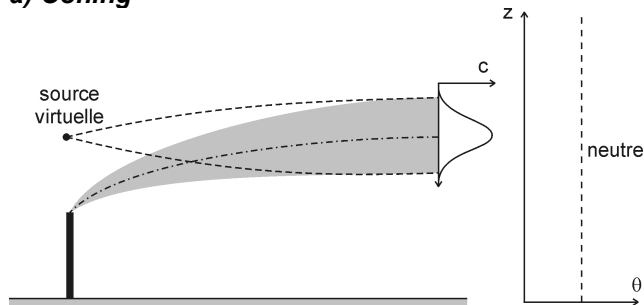
Une des principales conséquences de l'état de stratification de l'atmosphère est la modification de l'intensité de turbulence de l'écoulement. De manière schématique, plus l'atmosphère est instable, plus l'atmosphère est turbulente. Inversement, plus l'atmosphère est stable, moins elle est turbulente. Or nous avons rappelé au paragraphe 4.1.3 que l'intensité de turbulence détermine l'étalement et donc la dilution d'un nuage de polluants dans l'atmosphère. **En conséquence, cela signifie que plus l'atmosphère est instable, plus la dispersion des polluants est efficace. Inversement, plus l'atmosphère est stable, moins les polluants diffusent facilement.**

Au paragraphe 3.2.3.1, nous avons montré que la couche limite atmosphérique est structurée en plusieurs couches correspondant à différents états de stratification thermique. Le fait que la stabilité thermique ne soit pas uniforme dans l'atmosphère implique des comportements particuliers qui seront présentés au paragraphe 4.2.1. Au paragraphe 4.2.2, nous présenterons les méthodes existantes pour paramétrer l'étalement d'un panache en fonction de l'état de stabilité thermique de l'atmosphère.

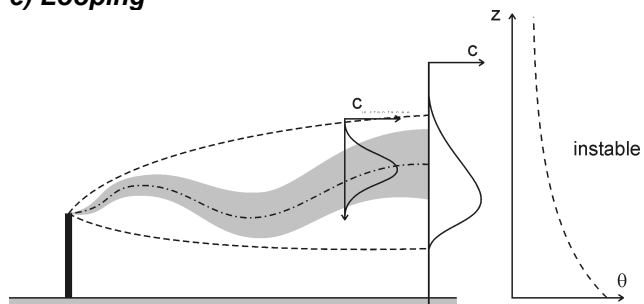
### 4.2.1. DIFFERENTS COMPORTEMENTS D'UN PANACHE

Intéressons-nous tout d'abord à la situation "académique" où toute l'atmosphère est dans le même état de stabilité thermique (stable, neutre ou instable). Le comportement d'un panache de polluants dans ces trois situations est illustré sur la Figure 60-a, la Figure 60-b et la Figure 60-c :

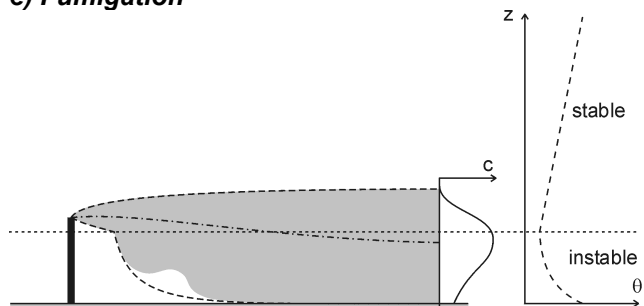
- **Atmosphère neutre** (*coning*, Figure 60-a) : en atmosphère neutre, le panache se disperse à peu près de la même façon dans les directions latérale et verticale, prenant la forme d'un cône. Si les polluants sont rejetés avec une vitesse verticale importante ou si la température de ce rejet est supérieure à la température de l'air, le panache s'élève verticalement au-dessus de la cheminée jusqu'à atteindre une trajectoire horizontale. Ce phénomène de *surhauteur*, décrit au paragraphe 4.4.2, peut être observé quel que soit l'état de stabilité atmosphérique.
- **Atmosphère stable** (*fanning*, Figure 60-b) : en atmosphère stable, la diffusion verticale est fortement atténuée par rapport à une situation neutre. La diffusion transversale est quant à elle moins affectée, bien qu'elle diminue légèrement par rapport à une situation neutre. En conséquence, le panache s'étale horizontalement et ne diffuse quasiment pas sur la verticale. Les concentrations dans le panache sont importantes. Par contre, si le rejet s'effectue en altitude, la concentration au niveau du sol est relativement faible.
- **Atmosphère instable** (*looping*, Figure 60-c) : en atmosphère instable, la diffusion verticale est très importante sous l'effet de la turbulence convective. Cette turbulence est composée de grosses structures tourbillonnaires qui transportent le panache de haut en bas dans sa phase initiale (phénomène de *looping*). Le panache semble alors "osciller" autour d'une trajectoire moyenne, cette oscillation étant aléatoire au cours du temps. Le panache moyen, obtenu en moyennant ces comportements au cours du temps, est caractérisé par un étalement vertical important, plus important que celui du panache instantané (voir discussion sur la diffusion relative et la diffusion du centre de masse, au paragraphe 2.2.3).

**a) Coning**

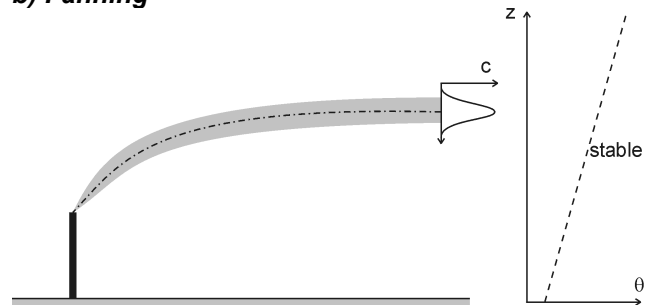
En atmosphère neutre, la dispersion s'effectue approximativement de la même façon dans les directions verticale et horizontale. Le panache a alors une forme de cône, avec éventuellement une surhauteur.

**c) Looping**

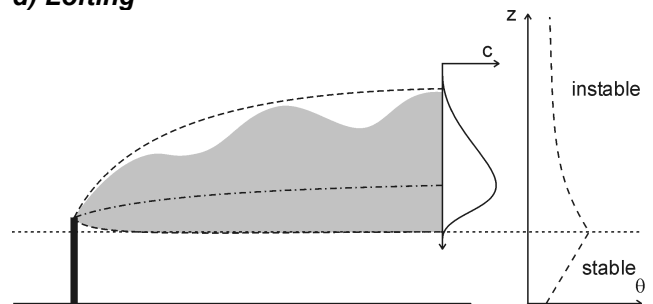
En atmosphère instable, les mouvements convectifs conduisent à un étalement important du panache dans la direction verticale. Ces mouvements de convection induisent également un battement vertical du panache. C'est une situation généralement observée au cours de la journée.

**e) Fumigation**

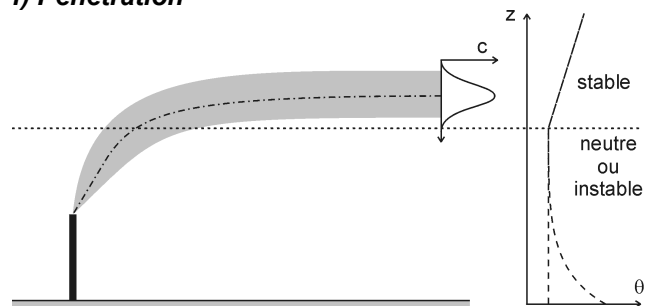
Lorsqu'une couche instable se développe en dessous d'une couche stable (situation apparaissant au lever du jour) et que le rejet est situé dans la zone stable, le panache diffuse peu dans un premier temps. Puis, dès qu'il atteint la hauteur d'inversion, les mouvements convectifs de la couche instable entraînent rapidement les polluants vers le sol. La diffusion au-dessus de l'inversion reste limitée en raison de la stratification stable à ce niveau.

**b) Fanning**

En atmosphère stable, la dispersion verticale est fortement atténuée. L'épaisseur verticale du panache est faible et il s'étale horizontalement. C'est une situation typiquement nocturne.

**d) Lofting**

Lorsqu'une couche stable se développe en dessous d'une couche instable (situation apparaissant à la tombée du jour) et que le rejet est situé dans la zone instable, le panache s'étale beaucoup vers le haut en raison des mouvements convectifs alors qu'il est "bloqué" vers le bas où la stratification stable empêche toute diffusion.

**f) Pénétration**

Lorsque la structure de l'atmosphère est identique à celle décrite au point e), mais que le rejet a lieu en dessous de la hauteur d'inversion, on a généralement un panache "piégé" entre le sol et la hauteur d'inversion (cf. Figure 61). Si la quantité de mouvement ou la chaleur contenue dans le rejet est suffisante, il est parfois possible que le panache parvienne à traverser l'inversion de température. Il continue alors sa dispersion dans l'atmosphère stable avec un comportement de type fanning.

Figure 60 : Comportements d'un panache de polluants pour différents états de stratification atmosphérique. La structure thermique est décrite par les profils de température potentielle, sur la droite des schémas.



En réalité, la structure thermique de la couche limite atmosphérique est telle que peuvent coexister des couches d'air stable, neutre et instable. Par exemple, au cours de la journée, la CLA est globalement instable tandis que l'atmosphère libre, située au-dessus, est stable. Inversement, après le coucher du soleil, une couche d'air stable se développe en dessous de la couche légèrement convective (couche résiduelle) située au-dessus. Du point de vue de la turbulence, et donc de la dispersion, on a alors coexistence entre des zones peu turbulentes et des zones beaucoup plus turbulentes. Lorsqu'un panache diffuse au voisinage de la limite entre ces deux zones, des comportements particuliers peuvent être observés.

De ce point de vue, la situation la plus courante est celle d'une couche neutre ou convective (correspondant à la CLA), surmontée d'une couche stable (correspondant à l'atmosphère libre). Lorsque des polluants sont émis en dessous de la hauteur d'inversion, ils diffusent normalement dans toute la CLA. Comme nous l'avons déjà mentionné, la présence du sol empêche toute diffusion en dessous de la surface. Comme l'atmosphère libre est très peu turbulente, il y a également très peu de diffusion au-dessus de la hauteur d'inversion. En première approximation, tout se passe comme s'il y avait une paroi solide, située à la hauteur d'inversion, qui empêche toute diffusion au-dessus. On parle alors de *réflexion du panache au sommet de la CLA*. Ce comportement est illustré sur la Figure 61. On observe sur cette figure qu'en raison des réflexions au sol et au sommet de la CLA, la concentration a tendance à s'homogénéiser verticalement au bout d'une certaine distance de diffusion. Il faut par ailleurs noter que l'idée d'une réflexion au sommet de la CLA est utilisée dans les modèles gaussiens pour prendre en compte ce phénomène (cf. paragraphe 2.3.1).

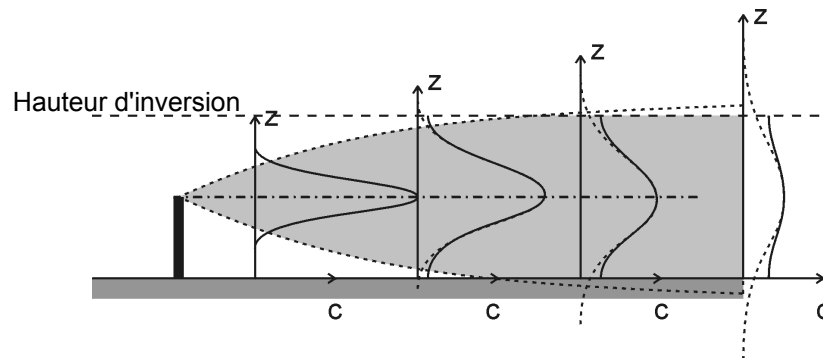


Figure 61 : Réflexion d'un panache au sommet de la couche limite atmosphérique.

Si, dans la situation précédente, les polluants ont une vitesse verticale et une température importantes au moment du rejet, la surhauteur initiale du panache peut être suffisante pour permettre à ce panache de traverser la hauteur d'inversion (cf. Figure 60-f). On a alors une *pénétration* du panache dans la couche stable où il poursuit sa dispersion, avec un comportement de type fanning.

Lorsque le panache est émis au-dessus de la hauteur d'inversion, dans la couche stable, sa diffusion verticale est faible initialement (cf. Figure 60-e). Dès que les polluants ont suffisamment diffusé pour atteindre la hauteur d'inversion, ils sont alors pris par l'écoulement plus turbulent situé en dessous, entraînant une diffusion verticale beaucoup plus importante. Les polluants atteignent alors rapidement le sol, conduisant ainsi à des concentrations élevées à ce niveau. Ce phénomène où un panache transite d'une zone peu turbulente à une zone plus turbulente est appelé *fumigation*. Des variantes de ce phénomène peuvent être observées en parallèle à des brises de mer ou à des couches limites internes.

Si le panache est émis dans une couche instable située au-dessus d'une couche stable (cf. Figure 60-d), la diffusion des polluants est "bloquée" au niveau de la transition entre ces deux zones (phénomène de *lofting*). Par contre, au-dessus de cette limite, dans la zone instable, le panache a un comportement caractérisé par des mouvements verticaux importants, analogues à ceux observés en situation de looping.

#### 4.2.2. INFLUENCE DE LA STRATIFICATION SUR LA DIFFUSION ATMOSPHERIQUE

D'un point de vue quantitatif, l'influence de la stratification thermique sur la dispersion peut être abordée à travers la modification des écarts-types de diffusion. Nous allons présenter successivement les paramétrisations par classes et les paramétrisations continues des écarts-types. Il faut noter que ces paramétrisations sont à la base des modèles de dispersion de type gaussien.

##### *Paramétrisations par classes*

Nous avons exposé, au chapitre 3, que l'état de stabilité thermique peut être quantifié au moyen du gradient de température potentielle ou de la longueur de Monin-Obukhov. La détermination de ces paramètres suppose cependant de connaître un certain nombre d'informations, notamment sur la structure verticale de la CLA. Pendant longtemps, et encore souvent aujourd'hui, les méthodes ou les données nécessaires pour obtenir ces paramètres n'étaient pas disponibles et il était nécessaire de qualifier l'état de stabilité à partir de quelques informations sommaires (vitesse du vent, présence de nuages, ...). La méthode simple la plus utilisée pour qualifier l'état de stabilité est la méthode de Pasquill, basée sur l'utilisation de classes de stabilité définies dans le Tableau 11.

vitesse du vent au niveau du sol (à 10 m)	ensoleillement pendant la journée			couverture nuageuse nocturne <sup>b</sup>	
	fort	modéré	léger	> 4/8 ou totale sur une faible épaisseur	≤3/8
<2 m/s	A	A-B	B		
2-3 m/s	A-B	B	C	E	F
3-4 m/s	B	B-C	C	D	E
4-6 m/s	C	C-D	D	D	D
>6 m/s	C	D	D	D	D

<sup>a</sup> valable les jours ou nuits fortement couverts

<sup>b</sup> le degré de couverture nuageuse est la fraction de ciel couverte de nuages

*Tableau 11 : Définition des classes de stabilité de Pasquill.*

On peut citer d'autres classification comme celle de Doury ou de Brookhaven, décrites en annexe 2.

Pour chacune des classes des différentes méthodes, des relations empiriques ont été développées pour estimer l'évolution des écarts-types  $\sigma_y$  et  $\sigma_z$  en fonction de la distance parcourue par le panache ou du temps de diffusion. On peut mentionner les paramétrisations de Pasquill, de Briggs, de Doury ou de Brookhaven, qui sont détaillées en annexe 2. Dans certains cas (exemple de l'approche de Briggs), les paramétrisations distinguent l'influence de la stratification thermique et de la rugosité du sol. Nous avons illustré sur la Figure 62 les évolutions de  $\sigma_y$  et  $\sigma_z$  fournies par l'approche de Pasquill.

On constate, comme nous l'avons déjà mentionné, que l'étalement d'un panache est d'autant plus important que l'atmosphère est instable. On observe également que la stabilité a beaucoup plus d'influence sur la diffusion verticale que sur la diffusion transversale.

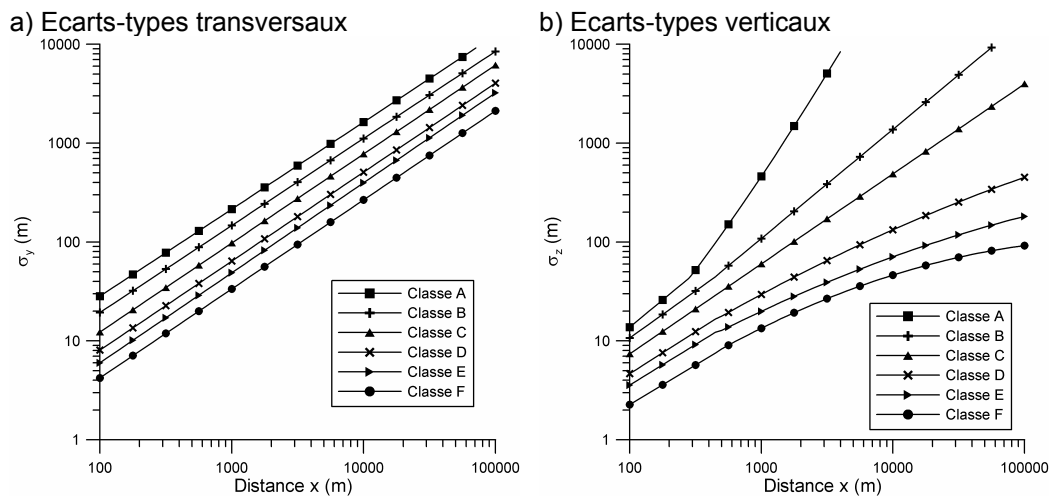


Figure 62 : Evolution des écarts-types de dispersion pour différentes classes de stabilité (abaques de Pasquill, d'après Turner, 1967).

**Paramétrisations continues**

Les paramétrisations continues des écarts-types de diffusion  $\sigma_y$  et  $\sigma_z$  sont basées sur le jeu d'équation 4.2, qui restent valables pour une stratification quelconque. Ces expressions font intervenir les écarts-types des fluctuations de vitesse, qui dépendent, comme nous l'avons rappelé au paragraphe 3.2.3.2, des paramètres descriptifs de la couche limite ( $u_*$ ,  $h$  et  $L_{MO}$ ), qui dépendent de la stratification thermique. Les échelles de temps lagrangiennes  $T_{Ly}$  et  $T_{Lz}$  sont elles-mêmes dépendantes de l'état de stabilité thermique de l'atmosphère. On peut par exemple citer les formulations suivantes pour le temps lagrangien  $T_{Lz}$  :

$$T_{Lz} = \frac{\lambda}{\sigma_w} \quad \text{avec} \quad \begin{cases} \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{0,36z_s} + \frac{N}{0,27\sigma_w} & \text{en stable (d'après Venkatram et al., 1984)} \\ \frac{1}{\lambda} = \frac{0,6}{z+z_0} + \frac{\partial u/\partial z}{\sigma_w} + \frac{4}{h} & \text{en instable (d'après Carruthers, 1994)} \end{cases} \quad (4.5)$$

Ce type de paramétrisation est décrit dans les articles de Briggs (1985), Venkatram *et al.* (1984) et Weil (1985). En utilisant les paramètres de la théorie de similitude de Monin-Obukhov ( $u_*$ ,  $h$  et  $L_{MO}$ ), généralement calculés à l'aide d'un pré-processeur météorologique, il est alors possible d'utiliser ces paramétrisations dans un modèle de dispersion de type gaussien.

Le jeu d'équations 4.2 représente uniquement la dispersion relative du panache. Les mécanismes de diffusion du centre de masse (meandering) sont parfois ajoutés pour prendre en compte la variabilité des conditions météorologiques. En pratique, cet effet n'est la plupart du temps pris en compte que sur la composante horizontale  $\sigma_y$ . La diffusion totale s'exprime alors :

$$\sigma_y^2 = \sigma_{yr}^2 + \sigma_{ym}^2 \quad (4.6)$$

où  $\sigma_{yr}$  représente la diffusion relative, modélisée par les équation 4.2, et  $\sigma_{ym}$  représente la diffusion du centre de masse. Le terme  $\sigma_{ym}$  peut être modélisé par une des relations suivantes :

$$\begin{cases} \sigma_y = \sigma_\theta x \\ \sigma_y = 0,0065x \sqrt{\frac{7t_H}{U_{10}}} \end{cases} \quad \text{d'après Moore (1976)} \quad (4.7)$$

où  $x$  est la distance par rapport à la source,  $\sigma_\theta$  l'écart-type des fluctuations de la direction horizontale du vent,  $U_{10}$  la vitesse du vent à  $z = 10$  m et  $t_H$  la durée de moyenne (en heures) des concentrations que l'on souhaite calculer. Il apparaît que plus on s'intéresse à des moyennes sur de longues périodes, plus la variabilité des conditions météorologiques augmente l'étalement du panache moyen et diminue les concentrations correspondantes.

Dans le cas d'une atmosphère instable, nous avons mentionné au paragraphe 3.2.3.1 que la distribution des vitesses verticales n'est pas symétrique, c'est-à-dire que les mouvements turbulents orientés vers le haut sont plus rapides mais moins fréquents que les mouvements orientés vers le bas (Hunt *et al.*, 1988c). Cela a pour conséquence que la distribution verticale de concentration dans un panache n'est pas symétrique ni gaussienne (voir illustration sur la Figure 60-c). Si l'on souhaite modéliser correctement la concentration en situation convective, il est important de tenir compte de ce phénomène. Dans un modèle gaussien, cela peut être réalisé en utilisant une distribution bi-gaussienne selon la verticale (Carruthers, 1994).

#### 4.2.3. EFFETS SPECIFIQUES SUR UN TERRAIN HETEROGENE

Les écoulements thermiques, associés à l'hétérogénéité des propriétés thermiques du sol, peuvent avoir des conséquences importantes sur la dispersion des polluants. Les situations les plus problématiques sont les brises côtières et les couches limites internes qui se développent au voisinage des zones urbaines ou industrielles.

##### **Brises côtières**

La prise en compte des brises côtières est essentielle pour l'étude de la dispersion des polluants émis en bord de mer. Il faut tout d'abord noter que la brise de mer et la brise de terre ne sont pas équivalentes du point de vue de l'impact d'une émission sur la population. En effet, la brise de mer a tendance à transporter les polluants vers la terre alors que la brise de terre évacue ces polluants vers la mer. Les conséquences d'un rejet sur la population seront donc plus importantes le jour que la nuit, les situations de jour correspondant par ailleurs souvent à un maximum des émissions. Cet effet, lié à la direction privilégiée de l'écoulement, est en réalité plus complexe puisqu'il faut tenir compte de la possibilité d'avoir un va-et-vient des polluants lorsque le vent change de sens. Ainsi, des polluants émis vers la mer au cours de la nuit peuvent être ramenés vers la terre durant la journée et viennent s'ajouter au polluants émis le jour, augmentant encore l'effet sur la population.

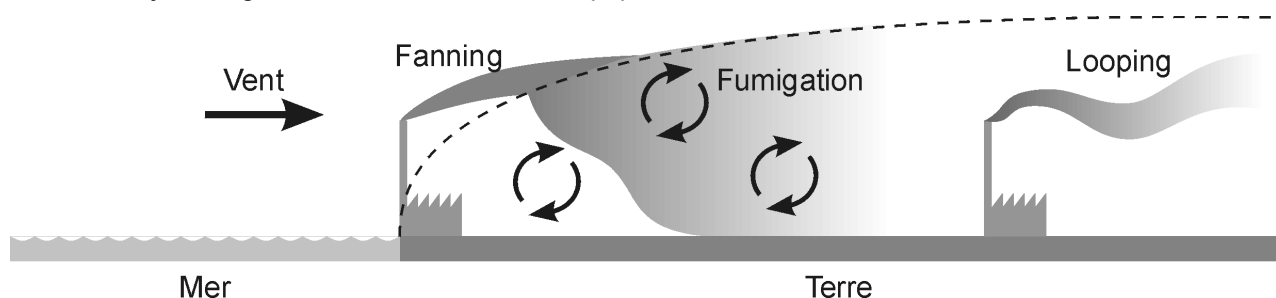


Figure 63 : Fumigation en présence de brise de mer.

Il existe un effet indirect des brises côtières sur la dispersion des polluants. Cet effet est lié au développement d'une couche limite interne lorsque l'écoulement provenant de la mer arrive sur la surface terrestre dont les propriétés dynamiques et thermiques sont différentes. En effet, la surface terrestre est plus rugueuse et apporte, en situation de jour, plus de chaleur à l'écoulement que la mer. L'écoulement au sein de la couche limite interne a donc tendance à

être plus turbulent que l'écoulement amont. Lorsque des polluants sont émis en altitude au voisinage de la côte, ils sont dans un premier temps transportés par un écoulement peu turbulent si bien que le panache diffuse peu et que la concentration sur son axe reste élevée (dispersion de type fanning). Lorsque ce panache pénètre dans la couche limite interne, les grosses structures turbulentes font diffuser les polluants jusqu'au niveau du sol, en créant des concentrations importantes à ce niveau. Ce phénomène, illustré sur la Figure 63, est appelé *fumigation*, par analogie au processus décrit sur la Figure 60-e.

#### **Couches limites internes en milieu urbain ou industriel**

Le développement des couches limites internes et la fumigation ne sont pas des phénomènes spécifiques aux bords de mer et ils peuvent apparaître chaque fois qu'il existe une variation brutale des caractéristiques du sol. Cela se produit en particulier autour des sites urbains et industriels (cf. Figure 64). Dans certaines circonstances, l'écoulement au-dessus d'une zone composée de surfaces artificielles est plus turbulent (couche instable générée par le chauffage de la zone) que l'écoulement en milieu rural (couche stable). L'extension verticale de cette zone plus turbulente augmente avec la distance (phénomène de couche limite interne, décrit au paragraphes 3.2.2.4 et 3.2.3.3) et la limite entre cette zone et l'écoulement extérieur joue en quelque sorte le rôle de la couche d'inversion. Les polluants émis à l'extérieur de la couche mélangée sont soumis à un processus de fumigation lorsqu'ils pénètrent dans cette zone. Inversement, à la sortie d'une zone artificielle, une couche peu turbulente (couche stable) peut se développer en dessous de la couche instable générée par la zone urbaine ou industrielle. On peut alors observer un phénomène de lofting des polluants émis au-dessus de cette couche stable.

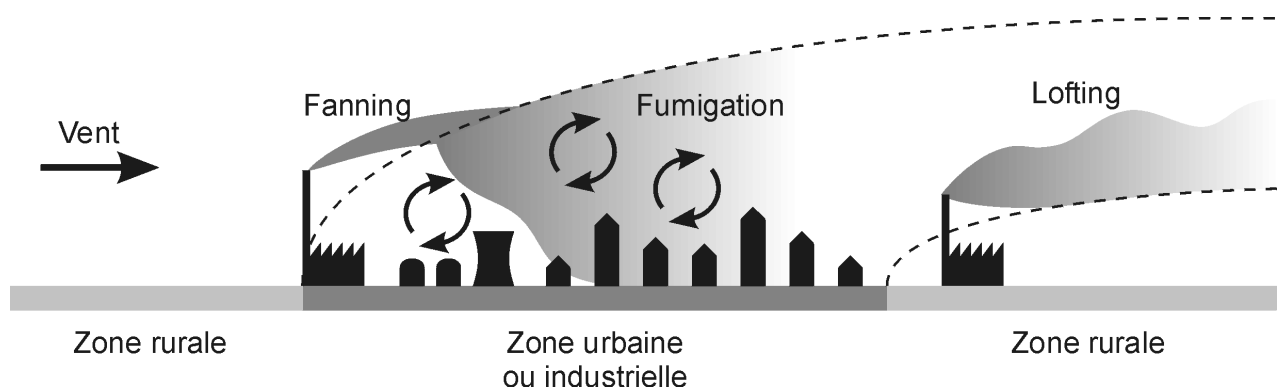


Figure 64 : Fumigation en zone urbaine ou industrielle.

Ces différents phénomènes peuvent avoir des conséquences importantes sur l'estimation des concentrations en polluants au voisinage des sites industriels. Si l'on ne tient pas compte des phénomènes de fumigation dans l'évaluation de l'impact d'une cheminée d'usine, on peut sous-estimer la concentration au sol ainsi que la distance de "retombée" du panache. La Figure 65 illustre clairement que la fumigation augmente l'impact au sol d'un panache émis en altitude.

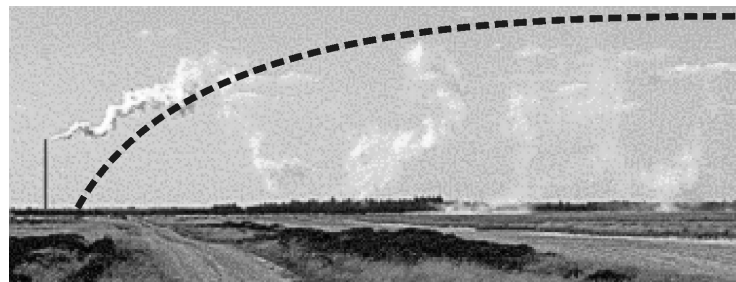


Figure 65 : Fumigation d'un panache.

### 4.3. INFLUENCE DE LA NATURE DU REJET

Nous avons distingué, au paragraphe 2.1.1, deux types de mécanismes qui influencent l'évolution de la concentration due à un rejet de polluants :

- **Les processus dynamiques de transport et de diffusion par l'écoulement.**
- **Les processus physico-chimiques.**

Dans les paragraphes précédents, nous nous sommes essentiellement intéressés à l'influence sur la dispersion atmosphérique des processus dynamiques, lorsque l'espèce transportée peut être considérée comme *inerte* et *passive*. Dans ce paragraphe, nous présentons la modification des processus de dispersion, sous l'effet de comportements spécifiques, liés à la nature physico-chimique des rejets. Nous aborderons successivement les transformations chimiques, le transport de particules et les mécanismes liés à la radioactivité de l'espèce transportée.

#### 4.3.1. TRANSFORMATIONS CHIMIQUES

La plupart des espèces rejetées dans l'atmosphère sont susceptibles de se transformer chimiquement. Il existe ainsi des milliers de réactions chimiques possibles et notre objectif n'est pas d'en faire une revue détaillée. Dans ce rapport, nous présenterons uniquement quelques idées générales sur l'influence des transformations chimiques dans l'étude de la dispersion atmosphérique et nous présenterons une méthode simplifiée qui est parfois utilisée pour traiter la chimie dans un panache de polluants. Pour une revue plus détaillée, on se référera à l'ouvrage de Seinfeld (1986).

La première remarque importante est que la majorité des réactions chimiques font intervenir plusieurs produits réactifs. Lorsque l'on s'intéresse à l'évolution d'une espèce polluante provenant d'une source particulière (par exemple du NO rejeté par une cheminée d'usine), il sera donc souvent difficile de prévoir cette évolution si l'on ne connaît pas les concentrations dans l'air des composés susceptibles de réagir avec cette espèce. Par exemple on aura du mal à prévoir l'évolution d'un rejet de NO si l'on ne dispose pas des concentrations de fond en ozone. Cette particularité des processus chimiques peut compliquer sensiblement la détermination de l'impact d'un site industriel, par rapport au cas d'un rejet inerte. En effet, en l'absence de réactions chimiques, on peut supposer que la contribution d'une source particulière s'ajoute simplement à la pollution de fond. En présence de réactions chimiques, il faut non seulement s'intéresser au polluant que l'on rejette, mais également à tous les polluants susceptibles de réagir avec lui. Cela suppose d'utiliser des modèles traitant à la fois de la dispersion et de la chimie. Les modèles eulériens tridimensionnels sont les mieux adaptés pour traiter ce problème mais leur mise en œuvre est très lourde dans le cadre d'une étude d'impact. Ce type de simulation est généralement restreint à des études de recherche (étude d'épisodes de pollution).

Fort heureusement, la limitation que nous venons d'évoquer peut souvent être contournée en tenant compte des vitesses de différentes réactions chimiques. En effet, chaque réaction chimique a une constante de réaction  $k$ , qui indique la vitesse à laquelle s'effectuent les transformations, sachant que cette vitesse dépend également des concentrations initiales des différents réactifs. Par exemple, dans le cas de la réaction :



le taux de variation de la concentration en monoxyde d'azote est :

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

$$\frac{d[\text{NO}]}{dt} = -k[\text{NO}][\text{O}_3] \quad (4.9)$$

où  $[\text{NO}]$  et  $[\text{O}_3]$  sont les concentrations molaires en NO et  $\text{O}_3$  et où  $k = 4,1 \cdot 10^{-4} \text{ ppb}^{-1} \text{ s}^{-1}$ . Si l'on suppose un niveau de fond en ozone de l'ordre de 60 ppb, le temps caractéristique de cette réaction est de l'ordre d'une trentaine de secondes. Cette réaction pourra donc être considérée comme rapide par rapport aux temps caractéristiques du transport d'un nuage de polluants sur quelques kilomètres. Par contre, beaucoup d'autres réactions ont des temps caractéristiques très supérieurs au temps de transport entre la source et le récepteur considéré. De telles réactions pourront alors être négligées dans l'étude de la concentration à court terme (durée inférieure à quelques heures). Seules quelques réactions, dont en particulier le cycle NO-NO<sub>2</sub>-O<sub>3</sub>, nécessite d'être modélisées sur de telles échelles de temps. On utilisera dans ce cas des schémas de réactions simplifiés, qui sont compatibles avec des applications opérationnelles (temps réel ou étude d'impact).

Dans le cas particulier où l'on s'intéresse à une unique réaction, faisant intervenir l'espèce transportée, et éventuellement d'autres composés dont la concentration n'est pas susceptible de varier (exemple de réactions avec l'oxygène ou l'azote de l'air, dont on peut supposer que les concentrations sont invariantes), il est possible de déterminer analytiquement l'évolution de la concentration. Considérons une réaction du type :



où A est l'espèce rejetée, B un composé présent dans l'air, dont la concentration  $[\text{B}]_0$  est supposée invariante, C et D les produits de la réaction et k la constante de cinétique. Le taux de variation de la concentration en A est donné par :

$$\frac{d[\text{A}]}{dt} = -k[\text{A}][\text{B}]_0 \quad (4.11)$$

En intégrant cette équation, on obtient l'équation d'évolution de la concentration en fonction du temps :

$$[\text{A}] = [\text{A}]_0 \exp(-k[\text{B}]_0 t) \quad (4.12)$$

Une telle approche peut par exemple être utilisée dans un modèle gaussien pour simuler la variation de concentration due à une réaction chimique simple.

Dans une étude sur l'impact d'un rejet dans l'environnement, la démarche de prise en compte des processus chimiques doit donc être la suivante :

- Inventorier l'ensemble des réactions chimiques atmosphériques susceptibles de faire intervenir l'espèce rejetée.
- Déterminer parmi ces réactions celles qui ont des temps caractéristiques suffisamment courts par rapport à la durée du transport entre le point de rejet et le récepteur.
- Choisir un modèle de dispersion capable de reproduire ces réactions chimiques.

### 4.3.2. TRANSPORT DE PARTICULES

Lorsque l'espèce transportée est composée de particules aérosols, solides ou liquides, de densité différentes de celle de l'air, son comportement vis à vis de la dispersion ne peut plus être considéré comme passif. En effet, en raison de l'inertie et de la force de gravité, les particules ne suivent pas nécessairement le fluide porteur. Il en résulte plusieurs effets spécifiques comme la sédimentation ou la modification des paramètres de dispersion.

#### 4.3.2.1. Sédimentation du panache

Une particule plus lourde que l'air aura tendance à *sédimenter*, c'est-à-dire à tomber sous l'effet de la force de pesanteur. Pour caractériser cet effet, nous allons nous intéresser au bilan des forces qui s'exercent sur une particule. Dans le cas général où le mouvement de la particule est instationnaire, il est nécessaire de considérer de nombreuses forces : l'accélération, la gravité, la poussée d'Archimède, la traînée, la portance, la force d'histoire de Basset et la force de masse ajoutée. Si l'on ne s'intéresse, pour simplifier, qu'au mouvement stationnaire d'une particule dans un fluide au repos (mouvement atteint lorsque la vitesse de chute de la particule n'évolue plus), on a un équilibre entre les forces de gravité, d'Archimède et de traînée :

$$\underbrace{\rho_p \pi \frac{d_p^3}{6} g}_{\text{pesanteur}} - \underbrace{\rho_f \pi \frac{d_p^3}{6} g}_{\text{Archimède}} = \underbrace{\rho_f \pi \frac{d_p^2}{8} C_D}_{\text{traînée}} (Re) u_T^2 \quad (4.13)$$

où  $\rho_p$  et  $\rho_f$  sont respectivement les masses volumiques de la particule et du fluide,  $d_p$  le diamètre de la particule,  $C_D$  son coefficient de traînée et  $u_T$  sa *vitesse terminale de chute*. Le coefficient de traînée peut être approché par la relation empirique, valable lorsque le nombre de Reynolds  $Re < 800$  (Schiller et Nauman, 1933) :

$$C_D(Re) = \frac{24}{Re} (1 + 0,15 Re^{0,687}) \quad \text{avec} \quad Re = \frac{d_p u_T}{\nu} \quad (4.14)$$

où  $\nu$  est la viscosité cinématique de l'air. En intégrant 4.14 dans l'équation 4.13, on montre que la vitesse terminale de chute est solution de l'équation implicite :

$$u_T = \frac{\rho_p}{\rho_f} \frac{d_p^2 g}{18\nu} \left( 1 + 0,15 \left( \frac{d_p u_T}{\nu} \right)^{0,687} \right)^{-1} \quad (4.15)$$

La variation de la vitesse terminale en fonction du diamètre de la particule est illustrée sur la Figure 66 et dans le Tableau 12, pour une masse volumique  $\rho_p = 1000 \text{ kg/m}^3$ . On constate que plus la particule est grosse, plus sa vitesse terminale est importante.

Diamètre	1 $\mu\text{m}$	10 $\mu\text{m}$	100 $\mu\text{m}$	1 mm
Vitesse terminale	30,98 $\mu\text{m/s}$	3,09 mm/s	25,35 cm/s	3,86 m/s
Temps de réponse	3.15 $\mu\text{s}$	315,16 $\mu\text{s}$	25,84 ms	0,39 s
Distance de réponse	$9,78 \cdot 10^{-5} \mu\text{m}$	0,97 $\mu\text{m}$	6,55 mm	1,52 m

Tableau 12 : Ordre de grandeur des vitesses terminales, temps de réponse et distance de réponse pour différentes tailles de particules ( $\rho_p = 1000 \text{ kg/m}^3$ ).



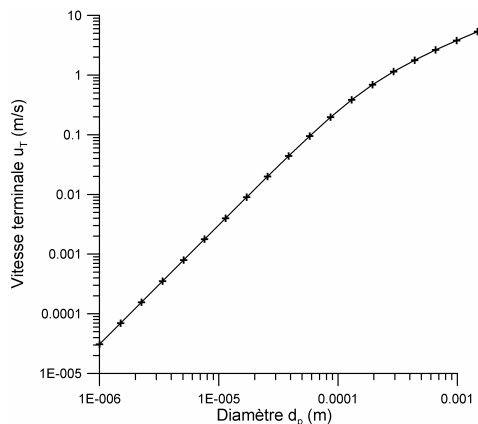


Figure 66 : Vitesse terminale de chute en fonction du diamètre des particules ( $\rho_p = 1000 \text{ kg/m}^3$ ).

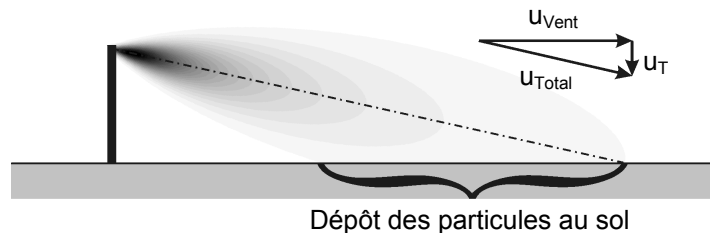


Figure 67 : Comportement d'un panache de particules sous l'effet de la sédimentation.

On observe également que le temps de réponse, qui correspond au temps mis par la particule pour atteindre sa vitesse terminale (ce temps est de l'ordre de  $u_T / g$ ), est inférieur à une seconde pour des particules inférieures au millimètre. Cela signifie qu'une particule rejetée dans l'atmosphère atteindra quasiment instantanément sa vitesse terminale. On supposera donc par la suite qu'un aérosol dans l'atmosphère chute à une vitesse égale à sa vitesse terminale, définie par l'équation 4.15.

Pour des particules dont le diamètre est inférieur à  $1 \mu\text{m}$ , on constate que la vitesse terminale est inférieure à  $30 \mu\text{m/s}$ . Étant donné qu'il s'agit d'une vitesse très faible, on négligera généralement l'effet de sédimentation sur des particules de cette taille.

Pour des particules dont le diamètre est supérieur à quelques microns, la vitesse de chute varie entre quelques mm/s et quelques dizaines de cm/s. L'influence de la sédimentation sur le comportement d'un panache de particules n'est alors plus négligeable. En effet, la vitesse de chute, orientée vers le bas, vient s'ajouter à la vitesse du vent, orientée selon l'horizontale, ce qui a pour conséquence d'incliner vers le sol la trajectoire moyenne du panache (cf. Figure 67). Cette inclinaison est d'autant plus rapide que la vitesse de chute est grande devant la vitesse du vent. Par exemple, pour des particules de  $20 \mu\text{m}$  ( $u_T \sim 1 \text{ cm/s}$ ), émise à 30 m de hauteur dans un écoulement à 1 m/s, le centre du panache atteindra le sol à environ 3 km de la source. Une conséquence évidente de cet effet de sédimentation du panache est l'augmentation des concentrations au sol, par rapport au cas d'un rejet passif.

L'effet de sédimentation peut aisément être pris en compte dans les modèles gaussiens et lagrangiens, en utilisant pour le calcul de la dispersion la vitesse totale, résultant de la vitesse de chute et de la vitesse du vent (cf. Figure 67). Cet effet peut également être pris en compte dans les modèles eulériens.

#### 4.3.2.2. Modification de la dispersion

Outre le déplacement vers le bas du nuage de polluant, la sédimentation des particules a une autre conséquence sur leur dispersion dans l'atmosphère. Nous avons rappelé au chapitre 2 que la dispersion turbulente d'une espèce est due au transport plus ou moins chaotique de cette espèce par les structures tourbillonnaires de l'écoulement. Si on applique cette idée au cas des particules, on peut considérer que l'influence d'un tourbillon donné sur la dispersion d'une particule sera d'autant plus importante que la particule est transportée pendant une durée longue par ce tourbillon. Lorsque la particule a une vitesse de chute suffisamment importante,

elle traverse les différents tourbillons de l'écoulement si bien que le temps qu'elle passe dans chacun d'entre eux est diminué. On peut montrer (Pasquill et Smith, 1983) que cela a pour conséquence de diminuer l'efficacité des tourbillons pour faire diffuser les particules. Ainsi, pour des temps de diffusion importants, les écarts-types de diffusion seront modifiés de la façon suivante :

$$\sigma_i = \frac{\sigma_{i(u_T=0)}}{\left(1 + \frac{\beta^2 u_T^2}{u_{\text{Vent}}^2}\right)^{\frac{1}{4}}} \quad (4.16)$$

où  $\sigma_i$  représente l'écart-type de diffusion du panache de particules dans la direction  $i$  (soient  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  ou  $\sigma_z$ ),  $\sigma_{i(u_T=0)}$  l'écart-type de la distribution en l'absence d'effet de sédimentation,  $u_T$  la vitesse terminale des particules,  $u_{\text{Vent}}$  la vitesse du vent et  $\beta$  le rapport entre les échelles de temps lagrangiennes et eulériennes. En prenant par exemple  $\beta = 5$  et  $u_T / u_{\text{Vent}} = 0,1$  (Pasquill et Smith, 1983), on obtient que l'étalement du panache est diminué d'environ 5 %. Cet effet est donc relativement faible, ce qui explique qu'il soit parfois négligé dans certains modèles de dispersion.

#### 4.3.2.3. Effets d'inertie

En raison de leur masse volumique différente de celle de l'air, les particules sont soumises à des effets d'inertie, qui impliquent qu'elles ne suivent pas exactement le comportement du fluide lorsque la vitesse de l'écoulement varie plus vite que leur temps de réponse. Or nous avons rappelé dans le Tableau 12 que le temps de réponse des particules, même relativement grosses, est très faible devant le temps caractéristique des grandes structures tourbillonnaires qui contribuent à la dispersion atmosphérique. Cela signifie que les particules ont généralement le temps de s'adapter à la vitesse turbulente de l'écoulement si bien que l'on peut admettre que les caractéristiques de diffusion d'un panache de particules ne sont pas modifiées par les effets d'inertie.

### 4.3.3. RADIOACTIVITE

#### 4.3.3.1. Rappels de physique atomique

La *radioactivité* est une transformation spontanée d'un noyau atomique au cours de laquelle celui-ci émet un rayonnement. Cette émission est en fait une libération d'énergie correspondant au déplacement de l'élément vers une position d'équilibre plus stable. Cette émission peut être électromagnétique ( $\gamma$ ) ou particulaire ( $\alpha$ ,  $\beta$ ). On classe ainsi en deux grandes catégories les éléments du tableau de Mendeleïev : ceux stables qui ne subissent pas de telles transformations, et ceux radioactifs (on parle de *radioéléments*) qui émettent un rayonnement au cours de leur existence.

Il existe différents modes de radioactivité :

- **L'émission  $\alpha$** , par laquelle un élément émet une particule  $\alpha$ , qui est en fait un noyau d'hélium  ${}^4_2\text{He}$ . Celui-ci correspond à un ion lourd qui, dans son déplacement, interagit fortement avec la matière : aussi cette forme d'émission est-elle très peu pénétrante, puisqu'une feuille de papier suffit à s'en protéger.
- **L'émission  $b^-$  (respectivement  $b^+$ )**, qui correspond à l'émission d'un électron  $e^-$  et d'un antineutrino  $\bar{\nu}$  (respectivement d'un positron  $e^+$  et d'un neutrino  $\nu$ ). Bien que plus pénétrante, elle est arrêtée par une feuille de métal.

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

- **L'émission  $\gamma$** , qui correspond à l'émission de photons qui accompagne la transition d'un noyau d'un état quantique à un autre, est la forme d'émission la plus pénétrante de rayonnement radioactif.
- **La fission spontanée**, qui, pour un élément lourd, correspond à la séparation du noyau en deux fragments sensiblement égaux (au sens des nombres atomiques), et qui s'accompagne d'émission de neutrons.

La probabilité qu'un élément radioactif se transforme suivant un mode donné ( $\alpha$ ,  $\beta$ , ...), durant un intervalle de temps  $dt$ , en un autre élément plus stable, est égale à  $\lambda dt$ . La quantité  $\lambda$  est appelée *constante radioactive*, et est caractéristique de l'élément, ainsi que du mode de radioactivité considéré.

Si l'on observe  $N$  noyaux de cet élément pendant une durée  $dt$ , le nombre de noyaux subissant une désintégration est de  $\lambda N dt$ . On a donc :

$$dN = -\lambda N dt \quad (4.17)$$

Notons que  $\lambda$  ne dépend pas de l'âge de l'atome. Après un intervalle de temps  $t$ , le nombre d'atome restant est :

$$N(t) = N_0 \exp(-\lambda t) \quad (4.18)$$

où  $N_0$  est le nombre initial d'atomes. Ceci permet de définir la demi-vie  $T$  (ou période du radioélément), comme l'intervalle de temps au bout duquel la moitié des atomes initiaux ont subi une désintégration radioactive. On a  $T = \ln(2) / \lambda$ . La vie moyenne  $\tau$  d'un atome radioactif est donc égale à  $1 / \lambda$ . Il faut noter que la désintégration d'un radioélément peut conduire à la formation de radioéléments plus petits, qui seront eux-mêmes susceptibles de se désintégrer. On parle alors de filiation radioactive.

On appelle *activité* (à l'instant  $t$  et pour un mode de désintégration donné) d'un radioélément la quantité  $\lambda N(t)$ . Elle correspond au nombre de désintégration radioactive, par unité de temps, subit par la population du radioélément considéré, à l'instant  $t$ . L'activité d'un radioélément se mesure en becquerel, noté Bq.

La désintégration radioactive d'un atome s'accompagne d'une émission d'énergie : celle-ci se présente sous forme d'énergie cinétique d'une particule émise dans une direction donnée, mais totalement aléatoire. En observant cette émission particulière d'un point de vue statistique, on l'assimile à un rayonnement dans toutes les directions de l'espace. Au cours de son interaction avec le milieu qu'il traverse, ce rayonnement va s'atténuer, de façon plus ou moins rapide. Les particules  $\gamma$ , qui interagissent peu avec le milieu, sont les plus pénétrantes. Ce sont les seules à avoir une influence sur de grandes distances. Dans l'atmosphère, on ne s'intéressera donc qu'aux particules  $\gamma$ .

L'atténuation du rayonnement évoqué précédemment correspond à un échange d'énergie du rayonnement avec le milieu traversé (exprimé en gray ; 1 Gy = 1 joule de particules radioactive déposé par kilogramme de matière). La quantité d'énergie déposée en un point par rayonnement radioactif est appelée une *dose*, mesurée en gray. La quantité d'énergie reçue en ce point par unité de temps est appelée *débit de dose*, dont l'unité est le gray par seconde (Gy/s).

#### 4.3.3.2. Dispersion atmosphérique de produits radioactifs

Lorsqu'une espèce contenant des atomes radioactifs est rejetée dans l'atmosphère, elle est transportée et dispersée par le vent de la même manière que s'il s'agissait d'une espèce non radioactive. Si l'espèce est composée de particules, on appliquera par exemple les résultats présentés au paragraphe 4.3.2. Par contre, pour modéliser correctement la concentration volumique en radioéléments (nombre de radioéléments par unité de volume), il est nécessaire de prendre en compte les processus de désintégration et éventuellement de filiation radioactive. Pour cela, des modules spécifiques doivent être intégrés dans les modèles de dispersion. Ils utilisent les formules de décroissance radioactive présentées plus haut.

Lorsque l'on souhaite déterminer l'impact d'un nuage radioactif sur l'homme ou l'environnement en un point donné, ce n'est pas la concentration volumique en radioéléments qui est importante mais plutôt la quantité d'énergie émise par l'ensemble du nuage et reçue en ce point (débit de dose). Pour déterminer ce débit de dose, il est donc nécessaire de connaître la distribution spatiale de l'activité volumique (concentration volumique en radioélément multipliée par la constante radioactive) dans tout le nuage et d'en déduire l'énergie rayonnée au point considéré. Ce calcul du débit de dose met en jeu des méthodes particulières qui ne sont pas intégrées par défaut dans les modèles de dispersion (voir Healy, 1984). Il faut noter que le calcul du débit de dose en un point est beaucoup plus coûteux en temps de calcul que l'évaluation d'une simple concentration, car il suppose de déterminer la distribution spatiale de l'activité volumique dans tout le nuage.

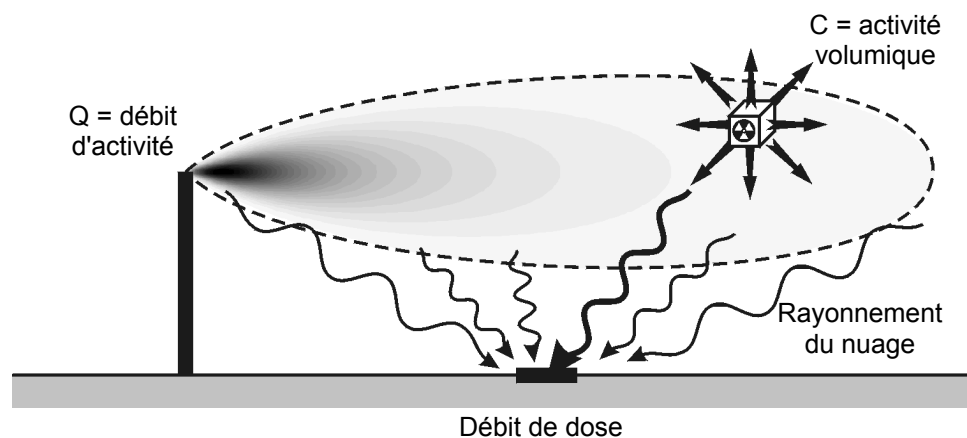


Figure 68 : Panache de composés radioactifs.

#### 4.4. INFLUENCE DES CONDITIONS INITIALES DU REJET

Indépendamment de la nature de l'espèce rejetée, les conditions dans lesquelles le rejet s'effectue peuvent avoir des conséquences sur l'évolution du panache de polluants, à court terme mais également à plus long terme. Dans ce paragraphe, nous abordons la question de la géométrie de la source et de la surhauteur du panache.

##### 4.4.1. GEOMETRIE DE LA SOURCE

Les rejets de polluants dans l'atmosphère présentent une multitude de géométries possibles, qui dépendent principalement du processus qui est à l'origine de l'émission de ces polluants. On peut citer les rejets collectés au niveau d'un tuyau ou d'une cheminée (industrie, chauffage, ...), les rejets de véhicules en mouvement (voitures, trains, avions, ...), les rejets diffus au niveau du sol (dégazage d'une nappe d'hydrocarbures, envol de poussières) ou encore les rejets diffus au sein d'un volume (unité de traitement chimique, fuite non collectées d'un bâtiment, ...).

A proprement parler, la forme de la source de polluants ne modifie pas réellement les caractéristiques de la dispersion dans l'atmosphère. On peut par exemple considérer qu'une source surfacique correspondant à un rejet au sol peut être décomposée en une infinité de "petites" sources ponctuelles. Les résultats présentés jusqu'à présent pour les sources ponctuelles peuvent s'appliquer à ces différentes sources. La concentration due au rejet surfacique s'obtient alors en superposant les contributions de chaque petite source ponctuelle (ce raisonnement n'est valable que pour un rejet inerte chimiquement).

Le principal effet de la géométrie de la source est la modification de la distribution spatiale des polluants, par rapport à un rejet ponctuel de même débit total. Une première remarque importante est que cette modification est d'autant plus forte que l'on s'approche de la source. Plus on s'éloigne de la source, plus le panache de polluants tend à avoir le comportement d'un panache émis par une source ponctuelle de même débit. On considère généralement que la forme de la source n'a plus d'effet et qu'elle peut être modélisée par une source ponctuelle (source virtuelle, placée en amont de la source réelle, comme cela est indiqué sur la Figure 69) lorsque l'étalement du panache ( $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  et  $\sigma_z$ ) devient grand devant la taille initiale de la source (cf. Figure 69). **Cela signifie que si l'on s'intéresse uniquement à l'impact du panache à des distances importantes du rejet, on pourra négliger la forme de la source.**

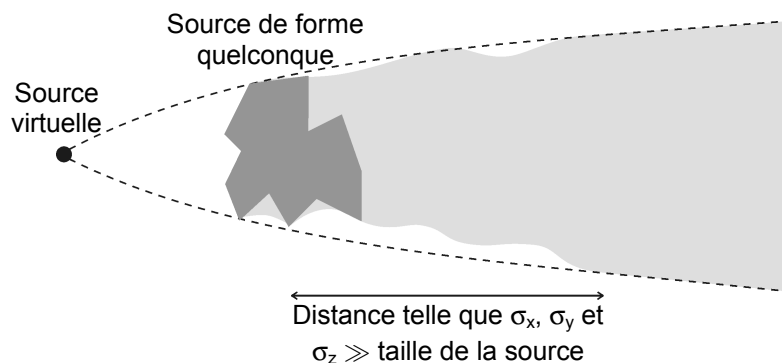


Figure 69 : Influence d'une source de forme quelconque. Représentation par une source virtuelle.

Cette remarque est importante car dans la pratique, soit on ne dispose pas des informations nécessaires pour décrire précisément la forme de la source, soit on dispose de l'information mais cette forme est trop complexe pour pouvoir être prise en compte dans un modèle de dispersion.

Lorsque l'on se situe dans le champ proche de la source ( $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  et  $\sigma_z \sim$  taille de la source), il est nécessaire de prendre en compte son effet sur la distribution de concentration. Il existe principalement trois approches pour simuler la forme de la source dans les modèles de dispersion :

- **Les solutions analytiques** : il existe quelques solutions analytiques de l'équation d'advection-diffusion pour des sources non ponctuelles. On peut par exemple citer la solution pour une source linéique infinie, perpendiculaire à la direction de l'écoulement, que l'on peut utiliser pour simuler l'émission due au trafic sur une voie de circulation (cf. annexe 1). Ces solutions sont cependant souvent limitées à des configurations géométriques très simples ou à des situations où l'on peut se ramener à de telles configurations.
- **La décomposition des sources en sources ponctuelles** : les modèles gaussiens et lagrangiens supposent par défaut que les polluants sont émis en un point particulier. Dans ces modèles, l'approche la plus couramment utilisée pour modéliser des rejets de forme quelconque consiste à "discrétiser" ces rejets comme des sommes de rejets ponctuels. Ces méthodes de décomposition sont généralement implémentées pour des rejets de type linéique (segment de droite), surfacique (surface plane rectangulaire) et volumique (parallélépipède). Toute forme de rejet plus complexe (ligne courbe, surface quelconque, ...) doit alors être traitée, par le modélisateur, comme une superposition de différents rejets de ces types.
- **Les méthodes eulériennes utilisant un maillage** : dans les méthodes eulériennes, on suppose implicitement que le rejet s'effectue dans le volume d'une maille. Si l'on souhaite décrire finement la géométrie de la source avec un modèle eulérien, il suffit de réaliser un maillage suffisamment fin autour de cette source, afin de pouvoir en représenter tous les détails. Il faut noter qu'une telle approche peut rapidement conduire à des maillages importants, qui alourdiront par la suite le calcul de dispersion.

#### 4.4.2. SURHAUTEUR DE PANACHE

Lorsqu'un polluant est rejeté dans l'atmosphère au niveau d'une cheminée, il est souvent émis avec une certaine vitesse verticale et à une température supérieure à la température ambiante. Ces propriétés conduisent le nuage de polluants à s'élever au-dessus de la cheminée, en raison de la vitesse initiale du rejet et en raison de la force de poussée d'Archimède (ou force de flottabilité), qui s'exerce sur le gaz plus chaud (et donc plus léger) que l'air environnant. Etant donnée que l'air atmosphérique, dans lequel s'effectue le rejet, est généralement en mouvement horizontal sous l'effet du vent, le panache est entraîné latéralement au cours de son ascension jusqu'à ce qu'il atteigne une trajectoire horizontale (cf. Figure 70). La surélévation  $\Delta H$  de l'axe du panache, par rapport à la hauteur initiale du rejet, est appelée *surhauteur de panache*.

La principale conséquence du phénomène de surhauteur est que la concentration en polluants au niveau du sol est diminuée car l'axe du panache se trouve plus loin de la surface qu'en l'absence de surhauteur. Lorsque ce phénomène se produit, il est donc important de le prendre en compte afin de ne pas surestimer l'impact du panache au niveau du sol.

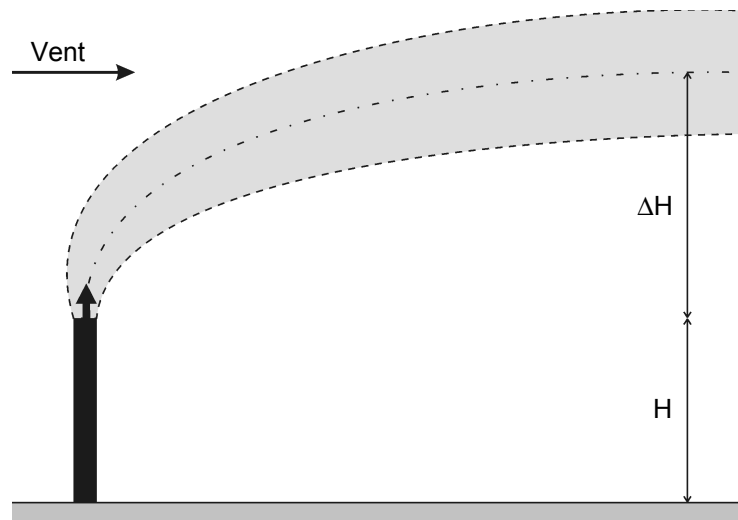


Figure 70 : Surhauteur de panache.

Pour modéliser le phénomène de surhauteur, il existe principalement deux types d'approches :

- **L'approche basée sur les équations de conservation** de la masse, de la quantité de mouvement et de la chaleur contenues dans le panache issu de la source (Briggs, 1984 ; Carruthers, 1994). Le principe de cette approche est de simuler l'évolution de ces grandeurs à partir de leurs valeurs initiales au moment du rejet, en tenant compte du mélange turbulent dans le panache. On détermine ainsi la vitesse du centre de masse du panache au cours du temps et, indirectement, la trajectoire exacte de ce panache. Cette approche présente un caractère assez général et elle est applicable dès le début du rejet.
- **L'approche de modélisation paramétrique de la surhauteur finale** : cette approche est basée sur l'idée que la phase transitoire d'ascension du panache est suffisamment courte pour pouvoir être négligée. On suppose alors que le panache est émis directement à la hauteur finale  $H_F = H + \Delta H$ . La modélisation porte alors uniquement sur la surhauteur  $\Delta H$ . Cette approche n'est cependant pas applicable dans l'environnement proche de la source. Il existe de nombreuses méthodes pour paramétrer la surhauteur en fonction des caractéristiques du rejet (Briggs, 1969 ; Holland, 1953). Nous ne détaillerons pas les formulations précises de ces méthodes.

Les modèles de surhauteur peuvent être appliqués dans des modèles gaussiens, lagrangiens et eulériens (dans le cas des modèles eulériens, seule la méthode de la surhauteur finale est applicable). Le phénomène de surhauteur peut également être traité explicitement dans les modèles eulériens en utilisant un maillage suffisamment fin autour de la source. Cette approche est assez lourde à mettre en œuvre et devra être réservée à des configurations complexes, où les approches précédentes ne sont plus adaptées. Ce sera par exemple le cas lorsque l'ascension du panache interagit avec des sillages d'obstacles.

Il faut enfin noter que dans le cas d'un rejet plus froid ou plus lourd que l'air environnant, les forces de gravité et la quantité de mouvement initiale constituent alors deux mécanismes antagonistes qui s'opposent. Lorsque l'effet de gravité est supérieur à l'effet du mouvement initial, on peut observer un abaissement du panache dans le sillage de la cheminée.

## 4.5. INFLUENCE DU RELIEF ET DES BATIMENTS

La présence de relief et d'obstacles a de nombreux effets sur la dispersion d'un panache de polluants. Dans ce paragraphe, nous présentons ces différents effets et nous décrivons les méthodes de modélisation de ces phénomènes.

### 4.5.1. INFLUENCE DU RELIEF

Nous avons rappelé, au paragraphe 3.3, que l'écoulement autour d'un relief est différent d'un écoulement de plaine. Sa structure est assez complexe et dépend de l'interaction entre la géométrie du relief et la structure thermique de l'atmosphère. Les effets de la présence d'un relief sur la dispersion de polluants peuvent être classés en trois catégories :

- **Les effets de déviation du panache** : la déviation de l'écoulement lors du franchissement du relief peut conduire à dévier la trajectoire d'un panache de polluants émis à proximité.
- **Les effets de blocage** : certains écoulements générés autour des reliefs (recirculation dans le sillage, brises de vallée) peuvent conduire à un confinement des polluants dans des zones de recirculation, à l'intérieur desquelles la concentration est alors élevée.
- **L'augmentation de l'étalement du panache dans le sillage du relief** : la turbulence générée dans le sillage d'un relief favorise l'étalement et la dilution d'un panache, conduisant ainsi à des niveaux de concentration plus faibles.

Dans ce paragraphe, nous allons décrire l'influence du relief dans trois situations particulières : une colline isolée, le sillage d'un relief abrupt (falaise) et une vallée. Ces trois situations nous permettront d'illustrer les principaux effets de relief rencontrés dans la pratique.

#### 4.5.1.1. Dispersion autour d'une colline isolée

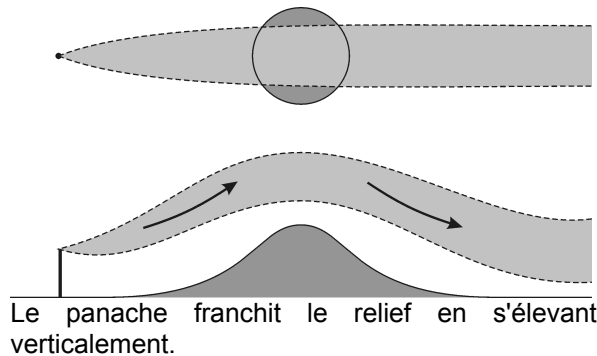
La structure de l'écoulement autour d'un relief isolé dépend de l'état de stabilité thermique de l'atmosphère. Il en sera donc de même pour le comportement d'un panache de polluants émis en amont de ce relief. Dans une atmosphère instable, neutre ou faiblement stable ( $Fr > 1$ ), le panache s'élève verticalement pour franchir le relief (cf. Figure 71-a). En première approximation, on peut considérer que l'impact au niveau du sol de ce panache est identique à une situation sur terrain plat.

En atmosphère très stable ( $Fr < 1$ ), le panache franchit le relief en le contournant dans un plan horizontal (cf. Figure 71-b). La stabilité thermique empêche tout déplacement vertical. Dans cette situation, le panache (qui a peu diffusé puisque l'on est en atmosphère stable) vient "impacter" sur le relief, ce qui induit des niveaux de concentration au sol très élevés. Dans cette situation, l'impact au sol d'un rejet industriel peut être très important. Pour éviter ce phénomène, il est souvent conseillé de construire des cheminées plus hautes que le sommet des reliefs avoisinants. En effet, le panache étant transporté dans un plan horizontal, il y a alors moins d'impact au niveau du sol.

En présence d'un relief plus complexe, le panache peut être dévié dans plusieurs directions pour contourner verticalement ou horizontalement les différentes parties du massif montagneux.



a)  $Fr > 1$  : atmosphère instable, neutre ou faiblement stable



b)  $Fr < 1$  : atmosphère très stable

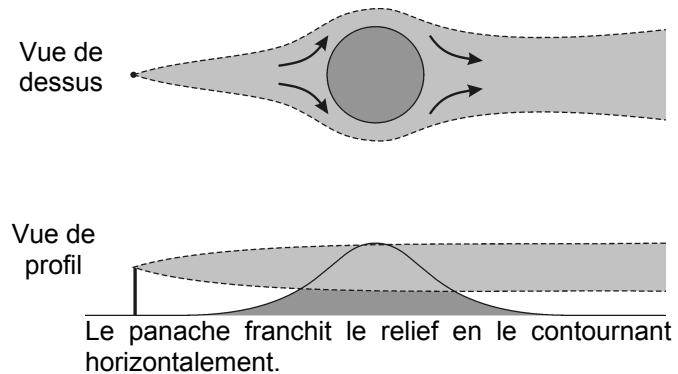


Figure 71 : Déviation d'un panache autour d'un relief isolé.

Par ailleurs, il se forme une zone de sillage en aval d'un relief, à l'intérieur de laquelle l'intensité de turbulence est supérieure à celle de l'écoulement amont. Un panache émis à l'intérieur ou traversant cette zone verra son étalement transversal et vertical augmenter par rapport à une situation de sol plat.

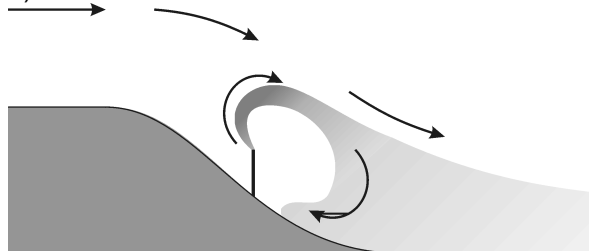
#### 4.5.1.2. Dispersion dans le sillage d'un relief abrupt

Certains reliefs sont suffisamment abrupts pour que l'écoulement dans leur sillage soit constitué d'une zone de recirculation (cf. Figure 42). C'est en particulier le cas des reliefs de falaise. Lorsque des polluants sont émis à proximité de cette zone de recirculation, leur comportement est assez différent des cas d'un sol plat ou d'un relief isolé peu pentu.

Si le rejet a lieu au sein de la zone de recirculation, le panache est transporté par ce mouvement tourbillonnaire et il est rapidement rabattu vers le sol (cf. Figure 72-a). Son impact au niveau du sol, en aval de la cheminée, peut donc être très important. En particulier, les concentrations maximales s'observent beaucoup plus près de la cheminée que dans le cas d'un sol plat. Par contre, le mélange dû à la recirculation induit un étalement initial du panache transporté en aval de cette zone. Les concentrations mesurées en aval de la recirculation sont alors plus faibles qu'en l'absence de relief.

Si le rejet a lieu juste derrière la zone de recirculation, le panache n'est pas transporté à l'intérieur mais il est rabattu vers le sol par l'écoulement qui descend la pente du relief. Là encore, l'impact au sol induit des concentrations importantes. Par contre, le panache ne subit pas de dilution initiale.

a) Panache émis dans la zone de recirculation



b) Panache émis en aval de la recirculation

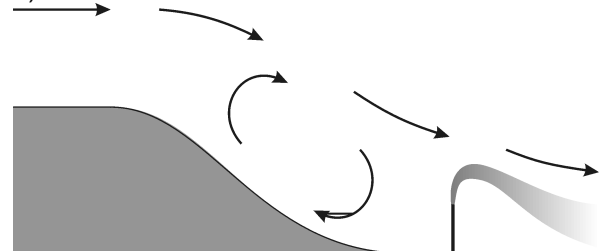


Figure 72 : Comportements d'un panache en aval d'un relief abrupt.

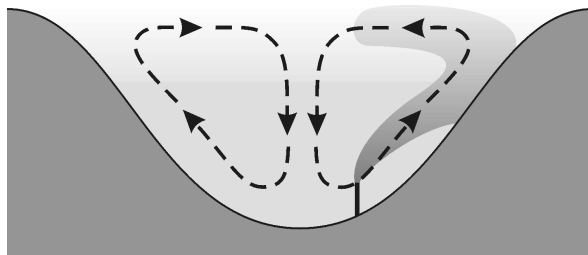
Pour éviter qu'un rejet occasionne les phénomènes décrits précédemment, on considère généralement que la hauteur de la cheminée doit être bien supérieure à la hauteur du relief. Horizontalement, la longueur de la zone de recirculation, à l'intérieur de laquelle ces effets sont observés, varie entre 1 et 7 fois la hauteur du relief, mesurée par rapport à la plaine environnante. Il faut enfin noter que ces processus dépendent de la direction du vent, dans la mesure où ils se produisent en aval du relief.

#### 4.5.1.3. Dispersion dans une vallée

L'écoulement dans une vallée est essentiellement induit par les forçages thermiques locaux (cf. paragraphe 3.3.1.3). Des brises thermiques, influencée par l'échange de chaleur avec les pentes de la vallée, s'organisent pour former des cellules de recirculation. Les polluants émis au sein d'une vallée sont transportés par ces courants et peuvent difficilement être évacués vers l'extérieur. Cela a bien évidemment pour conséquence de créer des niveaux de concentration beaucoup plus élevés que dans une situation équivalente sur terrain plat.

Pendant la journée, les brises sont orientées du fond de la vallée vers les sommets (cf. Figure 73-a). Les panaches de polluants ont donc tendance à être rebattu vers la surface, générant une concentration élevée dans la zone d'impact du panache. Les mouvements de recirculation maintiennent un niveau de pollution important dans toute la vallée.

a) Situation de jour



b) Situation de nuit

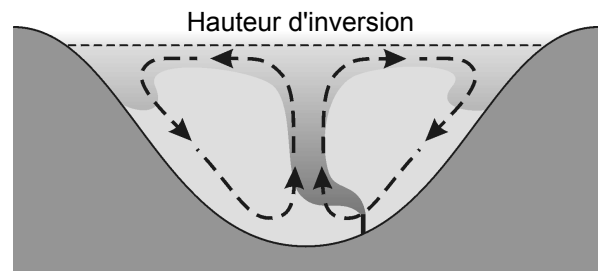
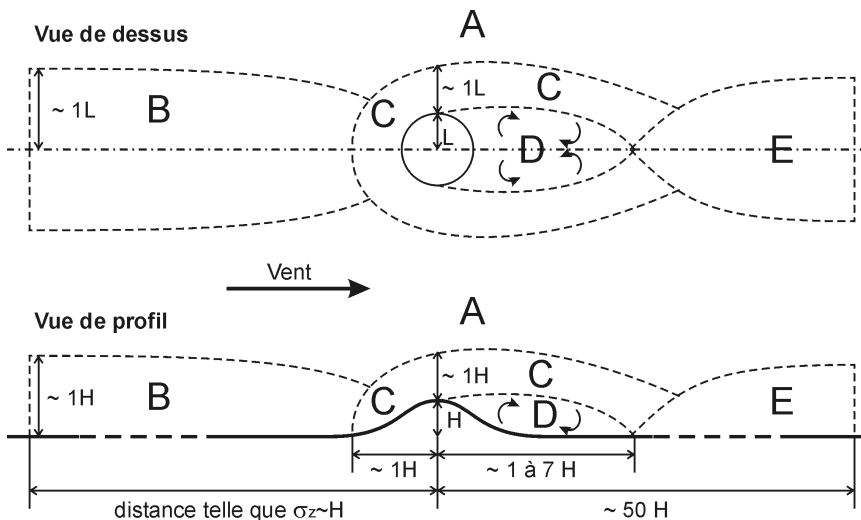


Figure 73 : Comportements d'un panache émis à l'intérieur d'une vallée.

Au cours de la nuit, la pollution est transportée par les brises vers le centre de la vallée (cf. Figure 73-b). Un courant ascendant permet aux polluants de s'élever jusqu'à la hauteur d'inversion qui constitue la limite supérieure des mouvements thermiques. Le panache est alors ramené vers les pentes le long desquelles il redescend jusqu'au fond de la vallée. Là encore, il existe un niveau de pollution important dans toute la vallée. Il faut noter que plus la couche d'inversion est basse, plus le confinement des polluants, et donc leur concentration, sont élevés. De plus, d'autres courants d'air, orientés selon l'axe de la vallée, peuvent également contribuer au transport des polluants.

#### 4.5.1.4. Méthodes de modélisation

Avant d'exposer les méthodes utilisables pour représenter l'influence du relief sur la dispersion atmosphérique, il est important de synthétiser dans quelles situations cette prise en compte est nécessaire et dans quelles situations il n'est pas utile de représenter l'effet du relief. Cette question est délicate car il n'existe pas de règle universelle dans ce domaine. Nous allons cependant tenter de fournir quelques éléments permettant d'effectuer ce choix. De manière générale, l'influence d'un relief sur la concentration en un point donné dépend de la position du rejet de polluant et de la position de ce point, par rapport à l'emplacement du relief. Plus le relief sera éloigné du trajet du panache, moins son influence sera importante. Pour être plus précis, il faut distinguer les différentes zones de l'écoulement autour d'un relief. Selon que la source ou le récepteur sont situés dans l'une ou l'autre de ces zones, l'impact du relief sera différent. Les diverses configurations possibles sont résumées dans le Tableau 13.



- **Zone A** : Zone non perturbée
- **Zone B** : Zone amont, à l'intérieur de laquelle le panache n'est pas perturbé. Par contre, un panache émis dans cette zone sera perturbé en traversant les zones C, D et E.
- **Zone C** : Zone où le panache est dévié.
- **Zone D** : Zone de recirculation, où le panache est mélangé. Les phénomènes observés dans une vallée sont analogues à ceux décrits pour cette zone.
- **Zone E** : Zone de sillage, où l'étalement du panache est augmenté, en raison de la turbulence

Définition des zones d'influence des différents phénomènes.

		Position du rejet				
		A	B	C	D	E
Position du récepteur	A	Pas d'effet	Pas d'effet	Pas d'effet	Pas d'effet	Pas d'effet
	B	Pas d'effet	Pas d'effet	Pas d'effet	Pas d'effet	Pas d'effet
	C	Pas d'effet	Déviation faible du panache	Déviation du panache	Dilution initiale (recirculation)	Pas d'effet
	D	Pas d'effet	Piégeage des polluants dans la recirculation	Piégeage des polluants dans la recirculation	Déviation du panache par la recirculation + Augmentation de la concentration moyenne	Pas d'effet
	E	Pas d'effet	Augmentation de l'étalement du panache	Déviation du panache + Augmentation de l'étalement du panache	Dilution initiale (recirculation) + Augmentation de l'étalement du panache	Augmentation de l'étalement du panache

Tableau 13 : Synthèse sur l'influence d'un relief sur la dispersion d'un panache. Chaque cellule décrit les phénomènes, liés au relief, influençant la concentration au récepteur, en fonction de sa position et de celle du rejet.

Pour prendre en compte l'effet du relief dans un modèle de dispersion, il existe principalement deux approches :

- **La résolution explicite du champ de vitesse par un modèle d'écoulement** : dans ce cas, le modèle de dispersion (eulérien, lagrangien ou gaussien) utilise le champ de vent tridimensionnel calculé à l'aide d'un modèle d'écoulement. Les principaux modèles d'écoulement sur relief ont été décrits au paragraphe 3.3.2.

- **La paramétrisation des effets du relief sur la dispersion** sans résolution explicite du champ de vitesse : dans ce cas, les paramètres du modèle de dispersion sont modifiés pour prendre en compte l'effet du relief. Par exemple, la position de la source peut être artificiellement déplacée pour modéliser un effet de déviation du panache. De même, les lois d'évolution des écarts-types peuvent être modifiées pour tenir compte de l'augmentation de la turbulence dans le sillage du relief. Ces paramétrisations s'appliquent essentiellement aux modèles de type gaussien.

En règle générale, l'utilisation d'une résolution explicite du champ de vitesse fournit des résultats meilleurs que les méthodes paramétriques, à condition d'utiliser un modèle d'écoulement adapté au relief à traiter.

#### 4.5.2. INFLUENCE DES BATIMENTS

Nous présentons successivement l'influence sur la dispersion atmosphérique d'un obstacle isolé, d'un groupe d'obstacles, ainsi que les méthodes existantes pour prendre en compte ces phénomènes.

##### 4.5.2.1. Dispersion autour d'un obstacle isolé

L'écoulement complexe qui se développe autour d'un obstacle isolé conduit à une modification de la dispersion des polluants émis à proximité. Nous distinguerons trois principaux effets :

- **Déviaton du panache** : La déviation de l'écoulement au voisinage de l'obstacle génère un déplacement vertical ou transversal du centre de masse du panache (cf. Figure 74). Cet effet est d'autant plus important que le panache est peu dispersé et proche de l'obstacle. Une fois l'obstacle franchi, la trajectoire du panache peut se trouver déportée par rapport à la position de la source si bien que la dispersion s'effectue comme si le rejet avait eu lieu au niveau d'une source virtuelle, distincte de la source réelle. Le temps de franchissement de l'obstacle par le panache est également modifié en raison du ralentissement de l'écoulement à l'amont et de son accélération sur les côtés et sur le toit. Il peut en résulter une modification des écarts-types de dispersion par rapport à une situation sans obstacle. De plus, les phénomènes d'étirement des particules fluides dans les zones de convergence ou de divergence de l'écoulement induisent une intensification de la diffusion (Hunt, 1985).

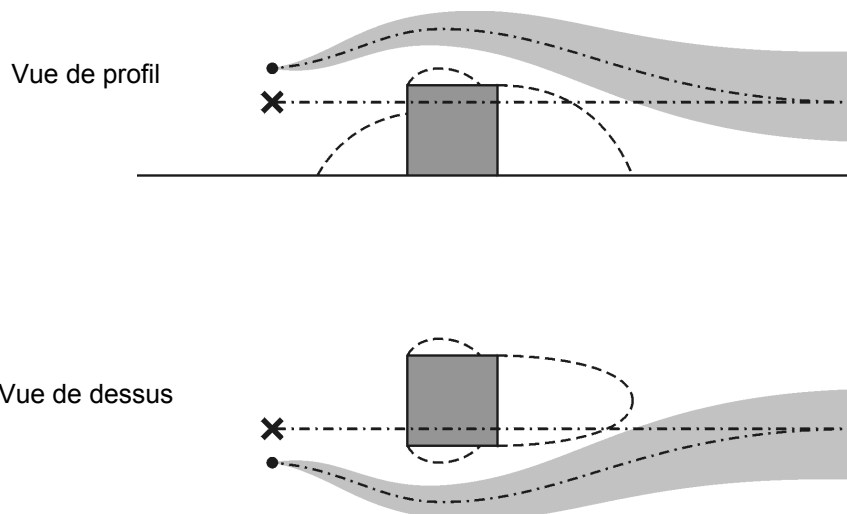


Figure 74 : Déviations verticale et transversale du panache sous l'effet de l'obstacle. Les cercles représentent les sources réelles et les croix les sources virtuelles.

- **Mélange dans la zone de recirculation** : si le panache émis au voisinage de l'obstacle entre en contact avec la zone de recirculation, une partie des polluants pénètrent à l'intérieur de cette zone (cf. Figure 75-a) où les mouvements tourbillonnaires tendent à homogénéiser la concentration. Si le rejet est effectué à l'intérieur-même de la cavité (cf. Figure 75-b), ces mouvements transportent les polluants dans toute la cavité, en générant des niveaux de concentration élevés. Une fois que les polluants sont bien mélangés dans la cavité, ils diffusent à nouveau vers l'extérieur, sous l'effet de la turbulence, en créant un panache large dont les dimensions initiales sont proches de celles de l'obstacle.

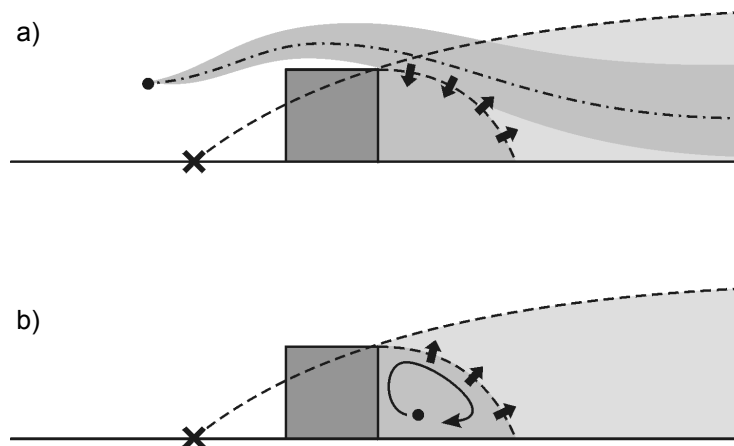


Figure 75 : Mélange des polluants dans la zone de recirculation. Sur la figure a), le panache émis à l'amont de l'obstacle est piégé par la recirculation. Les polluants qui y pénètrent sont bien mélangés et ressortent en formant un panache plus large. Sur la figure b), la source est située à l'intérieur-même de la cavité. On observe également un mélange efficace et la formation d'un panache large en aval. Les cercles représentent les sources réelles et les croix les sources virtuelles.

- **Augmentation de la diffusion dans le sillage** : dans le sillage lointain, la vitesse moyenne est inférieure et le niveau de turbulence supérieur aux valeurs équivalentes en l'absence d'obstacle. Il en résulte généralement une amplification de la dispersion des polluants qui pénètrent dans cette zone de sillage. En particulier, un rejet situé à l'extérieur du sillage peut subir l'effet de ce dernier bien en aval de l'obstacle, si la trajectoire du panache entre dans la zone où la turbulence est plus élevée (phénomène illustré sur la Figure 76). Ce phénomène s'apparente à un processus de *fumigation*.

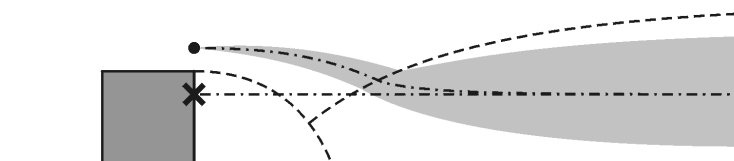


Figure 76 : Interaction d'un panache avec la zone de sillage. La turbulence étant plus importante dans cette zone, le panache s'étale plus rapidement lorsqu'il pénètre à l'intérieur (phénomène de *fumigation*).

Les trois effets précédents constituent une décomposition schématique de l'influence d'un obstacle sur la dispersion des polluants. En effet, l'écoulement réel est souvent très complexe et les différents effets peuvent interagir entre eux. Néanmoins, c'est sur la base de cette décomposition que sont construits la plupart des modèles simples permettant de paramétrer l'influence d'un bâtiment sur la dispersion.

#### 4.5.2.2. *Dispersion dans un groupe d'obstacles*

On sait aujourd'hui encore peu de choses sur la dispersion de polluants au sein d'un groupe d'obstacles. Les principaux travaux expérimentaux sur le sujet (Davidson *et al.*, 1996 ; Isnard, 1999) ont montré que la présence des obstacles avait pour effet d'augmenter la diffusion latérale d'un panache par rapport à une situation équivalente sur sol plat. Les simulations numériques de Carissimo (2001) ont également montré que pour des groupes d'obstacles dont la direction principale n'est pas parallèle au vent, le panache peut être dévié latéralement par des effets de portance.

Les modifications du comportement d'un panache de polluants sont essentiellement liées à :

- **La modification du champ de vitesse**, qui joue sur la vitesse d'advection du panache.
- **La modification de la turbulence**, qui joue sur l'évolution des écarts-types de diffusion.
- **La dispersion mécanique ou topologique** : cet effet est lié à la topologie de l'écoulement au sein du groupe qui conduit à une accentuation de l'étalement des polluants par la multiplication des déformations des lignes de courant. Dans les milieux poreux où l'écoulement est laminaire, cet effet conduit à une diffusion effective beaucoup plus élevée que la simple diffusion moléculaire.

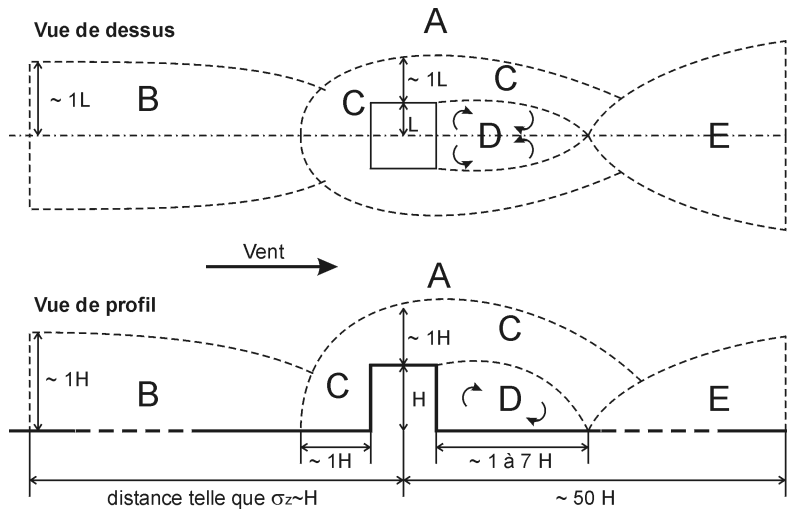
Si l'on connaît les principaux effets qui affectent la dispersion au sein d'un groupe d'obstacles, il n'existe pas aujourd'hui de lois d'évolution des écarts-types de diffusion en fonction des paramètres géométriques du groupe. Ceci constitue un axe de recherche important car les applications sont nombreuses, tant sur le plan industriel qu'en milieu urbain. Si l'on s'intéresse plus spécifiquement aux rejets industriels situés au voisinage du sol au sein d'un site complexe, il est clair que la dispersion dans les groupes d'obstacles constitue un élément essentiel pour caractériser l'impact initial des rejets.

#### 4.5.2.3. *Méthodes de modélisation*

Comme dans le cas du relief, il est nécessaire de définir dans quelles circonstances l'influence des obstacles est réellement déterminante sur la modélisation de la dispersion atmosphérique. Pour cela, nous avons indiqué dans le Tableau 14 dans quels cas un panache peut être influencé par un obstacle isolé. Cela dépend de la position de la source et du récepteur par rapport aux différentes zones de l'écoulement autour de l'obstacle. De manière générale, plus l'obstacle est éloigné du trajet du panache, moins il modifie le comportement de ce panache.

Dans le cas de plusieurs obstacles en interaction (groupe d'obstacles), se trouvant sur le trajet du panache, on distinguera plusieurs situations, en fonction des dimensions du panache par rapport aux dimensions des obstacles (voir la Figure 77) :

- **Taille du panache  $\ll$  Taille des obstacles** : le panache est modifié dans la totalité par les effets individuels de chaque obstacle (déviation du panache, interaction avec les recirculations, ...).
- **Taille du panache  $\sim$  Taille des obstacles** : l'ensemble du panache est modifié par les obstacles sans que l'on puisse individualiser l'effet de chacun de ces obstacles. Le comportement du panache est déterminé par un effet d'ensemble, qui peut être pris en compte par un modèle de canopée.



- **Zone A** : Zone non perturbée
- **Zone B** : Zone amont, à l'intérieur de laquelle le panache n'est pas perturbé. Par contre, un panache émis dans cette zone sera perturbé en traversant les zones C, D et E.
- **Zone C** : Zone où le panache est dévié.
- **Zone D** : Zone de recirculation, où le panache est mélangé.
- **Zone E** : Zone de sillage, où l'étalement du panache est augmenté, en raison de la turbulence

Définition des zones d'influence des différents phénomènes.

		Position du rejet				
		A	B	C	D	E
Position du récepteur	A	Pas d'effet	Pas d'effet	Pas d'effet	Pas d'effet	Pas d'effet
	B	Pas d'effet	Pas d'effet	Pas d'effet	Pas d'effet	Pas d'effet
	C	Pas d'effet	Déviation faible du panache	Déviation du panache	Dilution initiale (recirculation)	Pas d'effet
	D	Pas d'effet	Piégeage des polluants dans la recirculation	Piégeage des polluants dans la recirculation	Déviation du panache par la recirculation + Augmentation de la concentration moyenne	Pas d'effet
	E	Pas d'effet	Augmentation de l'étalement du panache	Déviation du panache + Augmentation de l'étalement du panache	Dilution initiale (recirculation) + Augmentation de l'étalement du panache	Augmentation de l'étalement du panache

Tableau 14 : Synthèse sur l'influence d'un obstacle isolé sur la dispersion d'un panache. Chaque cellule décrit les phénomènes, liés à l'obstacle, influençant la concentration au récepteur, en fonction de sa position et de celle du rejet.

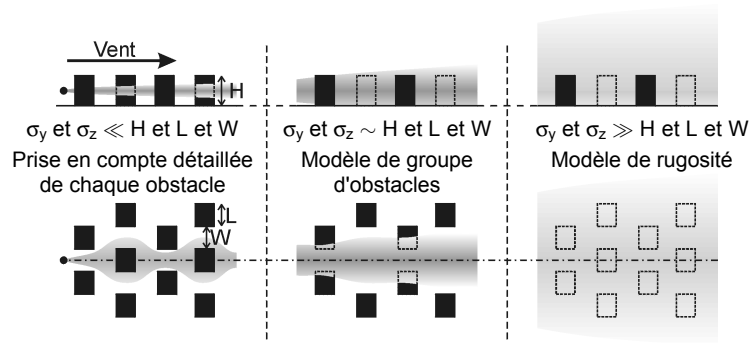


Figure 77 : Prise en compte des phénomènes de dispersion dans un groupe d'obstacles.

- **Taille du panache**  $\gg$  **Taille des obstacles** : les obstacles n'affectent pas directement le panache, à l'exception de la partie située au voisinage du sol. Leur présence modifie néanmoins la rugosité du sol, ce qui affecte les profils de vent et de turbulence, et influence indirectement la dispersion. Une paramétrisation de la rugosité équivalente au groupe d'obstacles est alors suffisante (cf. paragraphe 3.2.2.2).

Une fois que l'on a identifié les phénomènes, liés à la présence d'obstacles, qu'il est nécessaire de reproduire pour modéliser correctement la dispersion d'un panache, il faut choisir une méthode de modélisation permettant de prendre en compte ces phénomènes. Il existe principalement deux types d'approches pour modéliser l'influence des obstacles sur la dispersion atmosphérique :

- **Les méthodes de résolution explicite du champ de vitesse par un modèle d'écoulement** : dans ce cas, le modèle de dispersion (eulérien ou lagrangien) utilise le champ de vent tridimensionnel calculé à l'aide d'un modèle d'écoulement. La résolution du champ de vitesse autour d'obstacles nécessite généralement l'utilisation de maillages eulériens assez détaillés. Cela limite l'application de cette approche à des configurations ne faisant intervenir que quelques obstacles. Les temps de calcul nécessaires pour étudier des configurations plus complexes ne sont pas compatibles avec les besoins opérationnels d'une étude de terrain.
- **Les paramétrisations des effets des obstacles sur la dispersion sans résolution explicite du champ de vitesse** : dans ce cas, les paramètres du modèle de dispersion sont modifiés pour prendre en compte l'effet des obstacles. Par exemple, la position de la source peut être artificiellement déplacée pour modéliser un effet de déviation du panache. De même, les lois d'évolution des écarts-types peuvent être modifiées pour tenir compte de l'augmentation de la turbulence dans le sillage d'un obstacle. Les paragraphes suivants décrivent quelques-unes des paramétrisations utilisées pour modéliser l'effet d'un obstacle isolé. Ces paramétrisations s'appliquent principalement aux modèles de type gaussien.

### **Déviation du panache**

La déviation du panache est le premier effet induit par un obstacle. Pour un écoulement donné, il dépend beaucoup de la position de la source par rapport à l'obstacle. Lorsqu'une bouffée de polluants arrive au voisinage d'un obstacle, plus son diamètre est important, moins elle est sensible à un effet de déviation car elle moyenne cet effet sur un volume important. Pour tenir compte de ce mécanisme, on considère habituellement qu'un panache n'est affecté par la présence d'un bâtiment que s'il est émis dans le prolongement amont de l'obstacle (zone B du Tableau 14) et si ses dimensions  $\sigma_y$  et  $\sigma_z$  sont inférieures aux dimensions de l'obstacle.

Le déplacement précis du panache autour de l'obstacle est difficile à estimer sans connaître le détail de l'écoulement. Robins et McHugh (1999) proposent un modèle pour la déviation verticale du panache autour d'un bâtiment parallélépipédique, en supposant que cette déviation est nulle lorsque la face amont est perpendiculaire au vent et maximale lorsque cette face est orientée à 45°. Il faut noter que la déviation latérale est généralement supposée nulle dans la plupart des modèles.

Beaucoup de modèles ne s'intéressent pas à la trajectoire précise du panache autour de l'obstacle mais uniquement au déplacement résiduel en aval de l'obstacle, car ce déplacement peut modifier sensiblement la concentration dans le sillage, en particulier lorsque le panache est rabattu vers le sol. Ce déplacement résiduel est modélisé à travers les coordonnées d'une source virtuelle. Là encore, on ne s'intéresse généralement qu'au déplacement vertical du panache. Briggs (1973) propose un modèle simple pour décrire la hauteur de la source virtuelle. Lorsque la hauteur  $h_0$  du rejet (ou hauteur intégrant l'effet de surhauteur, lié à l'apport de



Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

quantité de mouvement ou de flottabilité par le rejet) est inférieure à H, la hauteur h' de la source virtuelle est fournie par :

$$h' = h_0 - 1,5 \zeta_b \quad (4.19)$$

où  $\zeta_b$  est la plus petite des dimensions H et W. Lorsque  $h_0$  est compris entre H et  $H+1,5 \zeta_b$ , on a :

$$h' = 2h_0 - (H + 1,5 \zeta_b) \quad (4.20)$$

Si  $h_0 > H+1,5 \zeta_b$ , on suppose que  $h' = h_0$ . Si la hauteur virtuelle h' est inférieure à  $0,5 \zeta_b$ , alors le panache pénètre complètement dans la zone de recirculation. La modélisation de la concentration à l'intérieur de cette recirculation et du panache de polluants qui en résulte est exposée dans les paragraphes suivants.

### **Zones de recirculation**

Si la source de polluants est située à l'extérieur de la zone de cavité et qu'une partie du panache pénètre dans cette zone, la concentration à l'intérieur pourra généralement être considérée comme uniforme. Si par contre la source est située à l'intérieur, des gradients de concentration importants pourront apparaître dans la recirculation, comme c'est par exemple le cas au sein d'une rue-canyon. Cependant, à l'exception de ce cas particulier où plusieurs modèles permettent de calculer les variations de concentration dans la recirculation (voir Soulhac, 2000), toutes les modélisations simples de cette zone suppose que la concentration à l'intérieur est uniforme.

A partir d'un inventaire des différentes expressions existant pour la concentration dans la zone de cavité, Barry (1964) a montré que la plupart des formules pouvaient se mettre sous la forme :

$$C_R = \alpha \frac{Q}{U_H A} \quad (4.21)$$

où Q est le débit de polluants injectés dans la zone,  $U_H$  la vitesse caractéristique du vent au niveau du toit du bâtiment et A l'aire de la zone de recirculation. Il existe une multitude de règles empiriques pour exprimer le coefficient d'échange  $\alpha$ , fournissant des valeurs allant de 0,2 à 20. Il est clair que la valeur de  $\alpha$  dépend de la géométrie précise de l'obstacle et donc de sa zone de recirculation. Par ailleurs, Vincent (1977) et Soulhac (2000) ont montré que  $\alpha$  dépend également du rapport entre le taux de turbulence dans l'écoulement amont et du taux de turbulence généré par l'obstacle, conduisant à 2 régimes distincts dans les variations de  $\alpha$ . Les points précédents expliquent l'absence de valeur universelle de  $\alpha$  et la nécessité d'une paramétrisation semi-empirique pour des obstacles de forme réelle.

### **Modèles de diffusion initiale et de sources virtuelles**

Nous avons décrit plus haut le déplacement du panache provenant directement de la source. Nous allons maintenant nous intéresser aux caractéristiques du panache secondaire, émis par la zone de recirculation une fois que les polluants s'y sont bien mélangés (cf. Figure 75-b). On suppose habituellement (Briggs, 1973 ; Robins et McHugh, 1999) que la source virtuelle de ce panache est située au niveau du sol. Les lois d'évolutions de ce panache secondaire proposées dans la littérature peuvent être classées en deux catégories :

- **Les modèles de diffusion initiale** : dans ces approches, l'effet de la taille de la zone de recirculation est pris en compte en ajoutant une dilution initiale aux écarts-types calculés sur un sol plan (Gifford, 1960 ; Ferrara et Cagnetti, 1980) :

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

$$\begin{cases} \sigma_y(x \text{ ou } t) = \sigma_{y0}(x \text{ ou } t) + d_y \\ \sigma_z(x \text{ ou } t) = \sigma_{z0}(x \text{ ou } t) + d_z \end{cases} \text{ ou } \begin{cases} \sigma_y^2(x \text{ ou } t) = \sigma_{y0}^2(x \text{ ou } t) + d_y^2 \\ \sigma_z^2(x \text{ ou } t) = \sigma_{z0}^2(x \text{ ou } t) + d_z^2 \end{cases} \quad (4.22)$$

où  $\sigma_{y0}$  et  $\sigma_{z0}$  représentent les écarts-types de diffusion sur un sol plan et  $d_y$  et  $d_z$  les diffusions initiales dans les directions transversale et verticale. Généralement,  $d_y$  et  $d_z$  sont respectivement proportionnels à  $W$  et  $H$ , les constantes de proportionnalité dépendant des modèles.

- **Les modèles de source virtuelle** : dans ce type de modèle, on suppose que la diffusion en présence d'obstacles est équivalente à celle que l'on aurait sans obstacle si la source était placée suffisamment en amont. Les écart-types de diffusion s'expriment alors sous la forme générale (Barker, 1982 ; Huber et Snyder, 1982 ; Turner, 1967) :

$$\sigma_y(x) = \sigma_{y0}(x + \Delta x) \text{ ou } \sigma_y(t) = \sigma_{y0}(t + \Delta t) \quad (4.23)$$

où  $\Delta x$  (ou  $\Delta t$ ) représente la distance (ou le temps) entre la source virtuelle et l'obstacle. Ces paramètres sont généralement ajustés pour que les écarts-types du panache soient à une constante près égaux aux dimensions de l'obstacle.

Chacune des méthodes précédentes a des avantages et des inconvénients. L'inconvénient des modèles de diffusion initiale est que la vitesse de grossissement du panache est mal représentée au voisinage de l'obstacle car les lois d'évolutions  $\sigma_{y0}$  et  $\sigma_{z0}$  sont utilisées au voisinage de  $x=0$  ou  $t=0$ , ce qui correspond en principe à un panache très petit. En effet, les principes exposés au chapitre 2 sur la diffusion relative et la diffusion du centre de masse montrent que la vitesse de diffusion d'un panache dépend fortement de la taille de ce panache. De ce point de vue, cette approche n'est donc pas satisfaisante.

Les modèles de source virtuelle suppose implicitement que le rapport entre les dimensions caractéristiques transversales du panache au niveau de l'obstacle ne dépend pas de la forme de cet obstacle. En effet, comme ce modèle ne fait intervenir qu'un seul paramètre ( $\Delta x$  ou  $\Delta t$ ), il n'est pas possible de garantir deux conditions sur l'étalement du panache au niveau de l'obstacle.

#### 4.6. PHENOMENES DE DEPOSITION

Au cours de la dispersion d'un nuage de polluants, une partie de ces polluants se dépose sur la surface du sol. On distingue deux principaux mécanismes de dépôt :

- **Le dépôt sec**, lié à la réaction des polluants, présents au voisinage du sol, avec les matériaux qui constituent la surface.
- **Le dépôt humide**, correspondant au lessivage des polluants présents dans l'air par la pluie.

Ces deux mécanismes conduisent d'une part à une diminution de la concentration dans l'air et d'autre part à un transfert de la pollution vers le sol, les végétaux ou les milieux aquatiques. Il est donc important de prendre en compte ces phénomènes dans l'étude de la dispersion atmosphérique.

##### 4.6.1. DEPOT SEC

Les polluants peuvent se déposer sur le sol (quelle que soit sa nature) par différents mécanismes : absorption, dilution dans l'eau, dépôt pour les particules. On considère généralement que le flux de dépôt (masse de polluants déposée par unité de surface et par unité de temps) est proportionnel à la concentration de polluants dans l'air, au voisinage du sol (Sehmel, 1984) :

$$\Phi_d(x,y) = v_d C(x,y,z=0) \quad (4.24)$$

où  $v_d$  est une *vitesse de dépôt*. Pour décrire cette vitesse, nous allons distinguer le cas des gaz et des particules.

##### **Vitesse de dépôt sec pour des gaz**

La vitesse de dépôt sec est principalement contrôlée par trois mécanismes :

- **La résistance aérodynamique** : c'est la capacité qu'a la turbulence de l'écoulement de faire diffuser les polluants du nuage jusqu'au sol. Si l'écoulement est peu turbulent (en atmosphère stable), la vitesse de dépôt sera alors limitée par la vitesse de diffusion des polluants dans l'atmosphère.
- **La résistance de la sous-couche** : la couche d'air située au voisinage du sol constitue une limite au dépôt de matière car le transport d'une espèce ne peut s'y effectuer que par diffusion moléculaire pour les gaz et par inertie pour les particules. Ce mécanisme limitant est en particulier contrôlé par la rugosité de la surface.
- **La résistance de la surface elle-même** : cette résistance est liée à l'affinité physico-chimique entre le matériau de surface et le polluant.

Il existe des modèles détaillés dans lesquels l'influence de ces trois effets est paramétré (Sehmel, 1980). Nous n'aborderons pas les détails de ces méthodes et nous nous contenterons de fournir des vitesses de dépôt pour un certain nombre de gaz (cf. Tableau 15). Une liste plus complète est proposée par Sehmel (1984).

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

<i>Polluant</i>	<i>Surface de dépôt</i>	<i>Vitesse de dépôt (en cm/s)</i>
CO2	Luzerne	0,3
HF	Luzerne	3,5
Iode	Eau	0,2 – 1,2
Iode	Herbe	~ 1
NO	Herbe	<0,9
NO	Luzerne	0,1
NO2	Luzerne	1,9
O3	Herbe	0,2 – 0,6
PAN	Luzerne	0,8
SO2	Eau	0,5 – 4
SO2	Herbe	0,5 – 2,6
SO2	Luzerne	2,7

Tableau 15 : Vitesses de dépôt sec pour les gaz (d'après Sehmel, 1984).

#### **Vitesse de dépôt sec pour des particules**

Dans le cas des particules, il faut ajouter aux trois processus précédents le processus de dépôt par sédimentation. En effet, la vitesse de chute des particules situées au voisinage du sol agit comme une vitesse de dépôt dans la mesure où cela conduit les particules à atteindre le sol. De nombreux auteurs considèrent que la vitesse de dépôt total  $v_{d,\text{total}}$  est égale à la somme de la vitesse de dépôt  $v_{d,(v_T=0)}$  de particules n'ayant pas de vitesse de chute et de la vitesse terminale de chute  $u_T$ . Une approche plus cohérente avec la théorie de la diffusion est proposée par Underwood (1985) :

$$v_{d,\text{total}} = \frac{u_T}{1 - \exp\left(-\frac{u_T}{v_{d,(u_T=0)}}\right)} \quad (4.25)$$

Une liste de valeurs de la vitesse de dépôt total, pour différentes conditions (polluants, surface, vent, ...), est présentée par Sehmel (1984). Ces valeurs varient entre  $10^{-3}$  cm/s et 180 cm/s.

#### **4.6.2. DEPOT HUMIDE**

Lorsque de la pluie tombe à travers de l'air pollué, les polluants, présents sous forme gazeuse ou particulaire, sont en partie absorbés par les gouttes de pluies et entraînés dans leur chute. Ces polluants dissous disparaissent alors de l'air atmosphérique pour être transportés dans les nappes phréatiques ou les cours d'eau (exemple des pluies acides). Ce phénomène de *lessivage* de l'atmosphère par les précipitations est appelé *dépôt humide*. Il ne faut pas le confondre avec le dépôt sur une surface humide en l'absence de pluie, qui entre dans la catégorie des dépôts secs (exemple du dépôt sur un lac ou un marais). Il est important de prendre en compte le phénomène de dépôt humide car il contribue à diminuer la pollution atmosphérique et à augmenter la pollution dans les autres milieux.

Pour décrire ce phénomène, nous allons une fois encore distinguer les cas des gaz et des particules.

##### **Dépôt humide de gaz**

Le dépôt humide d'un gaz est dû au processus de dissolution de ce gaz dans une goutte d'eau. L'équation d'évolution de la quantité de polluant dans une goutte de rayon  $r$  peut être modélisée par la relation (Slinn, 1984) :

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{4}{3} \pi r^3 \chi \right) = v_0 4 \pi r^2 \left( c - \frac{\chi}{\alpha} \right) \quad (4.26)$$

où  $\chi$  et  $c$  représentent respectivement les concentrations en polluants dans la goutte et dans l'air qui l'entoure,  $v_0$  la vitesse de transfert et  $\alpha$  le coefficient de solubilité du gaz dans l'eau. Ces deux derniers coefficients dépendent avant tout de la taille de la goutte et de l'espèce gazeuse considérée. L'équation 4.26 peut en particulier être appliquée à une goutte de pluie au cours de sa chute à travers un nuage de polluants. L'analyse de cette équation nous permet de constater plusieurs résultats intéressants :

- Si la goutte reste suffisamment longtemps dans de l'air qui contient une concentration en polluants  $C_0$  constante, la concentration dans la goutte tend vers la valeur  $\alpha.C_0$ . Il faut noter que la plage de variation du coefficient de solubilité est assez importante (par exemple,  $\alpha = 5,5.10^{-3}$  pour le  $SF_6$  et  $\alpha = 1,5.10^3$  pour le  $NH_3$ ).
- Le temps caractéristique mis par la goutte pour atteindre une concentration stabilisée est :

$$\tau_\chi = \frac{\alpha r}{3v_0} \quad (4.27)$$

Ce temps dépend beaucoup du type de polluant considéré. Nous verrons plus loin que sa valeur est déterminante dans le mécanisme de dépôt.

- Le processus d'absorption du polluant par la goutte est réversible. Si la goutte, après avoir traversé une zone polluée, se trouve à nouveau dans une zone d'air "pur", sa concentration en polluant va diminuer pour tendre vers zéro.

Le processus de dépôt humide dépend essentiellement de la valeur du temps caractéristique de la goutte (équation 4.27) par rapport à sa durée de chute dans l'atmosphère et à travers le nuage de polluant. Si ce temps caractéristique est très court devant la durée de chute, on pourra considérer que la concentration dans la goutte est toujours en équilibre avec la concentration extérieure. On peut alors montrer que le flux de polluants qui se dépose par lessivage au niveau du sol est proportionnel à la concentration en polluants dans l'air au niveau du sol :

$$\Phi_d(x,y) = v_d C(x,y,z=0) \quad \text{avec } v_d = \alpha P \quad (4.28)$$

où  $P$  est l'intensité des précipitations (en m/s).

Si le temps caractéristique de la goutte est très grand devant la durée de chute d'une goutte, on pourra supposer que la concentration dans la goutte est toujours très inférieure à sa concentration limite. Le flux arrivant au sol peut alors s'exprimer sous la forme :

$$\Phi_d(x,y) = \int_{z=0}^{+\infty} \Lambda C(x,y,z) dz \quad \text{avec } \Lambda = \frac{\alpha}{\tau_\chi} P \quad (4.29)$$

où  $\Lambda$  est appelé *taux de lessivage*.

Pour des temps caractéristiques intermédiaires, il est nécessaire de résoudre complètement l'équation 4.26 pour déterminer la quantité de polluants qui se dépose au sol. Cette dernière approche est bien évidemment très compliquée et elle est rarement utilisée dans les modèles de dispersion.

L'analyse d'un certain nombre de modèle de dispersion semble indiquer que la distinction précédente, en fonction du temps caractéristique des gouttes, n'est généralement pas

effectuée. La plupart des modèles utilisent une relation analogue à l'équation 4.29, en prenant simplement pour  $\Lambda$  la valeur :

$$\Lambda = 10^{-4}P \quad \text{avec } P \text{ en mm/h} \quad (4.30)$$

### Dépôt humide de particules

Dans le cas des particules, il semble assez naturel de considérer que l'absorption d'une particule par une goutte de pluie est un processus irréversible. On considère généralement que le flux de polluants (initialement sous forme de particules), arrivant au sol sous l'effet du lessivage, peut être modélisé par une relation du type (Slinn, 1984) :

$$\Phi_d(x, y) = \int_{z=0}^{+\infty} \Lambda C(x, y, z) dz \quad (4.31)$$

Le taux de lessivage  $\Lambda$  dépend de la taille des gouttes et des particules, de l'efficacité de la collision entre gouttes et particules et de l'intensité  $P$  des précipitations. Il existe des paramétrisations détaillées de  $\Lambda$  qui prennent en compte ces différents effets (Slinn, 1984). Dans le cadre de ce rapport, nous ne rentrerons pas dans plus de détails. A titre d'exemple, nous avons reporté, sur la Figure 78, le rapport  $\Lambda / P$ , pour différentes tailles de particules.

Dans la pratique, de nombreux modèles utilisent une valeur constante du rapport  $\Lambda / P$ , égale à  $10^{-4} \text{ mm}^{-1} \cdot \text{h} \cdot \text{s}^{-1}$ . Il s'agit alors de la même formulation que l'équation 4.30 utilisée pour les gaz.

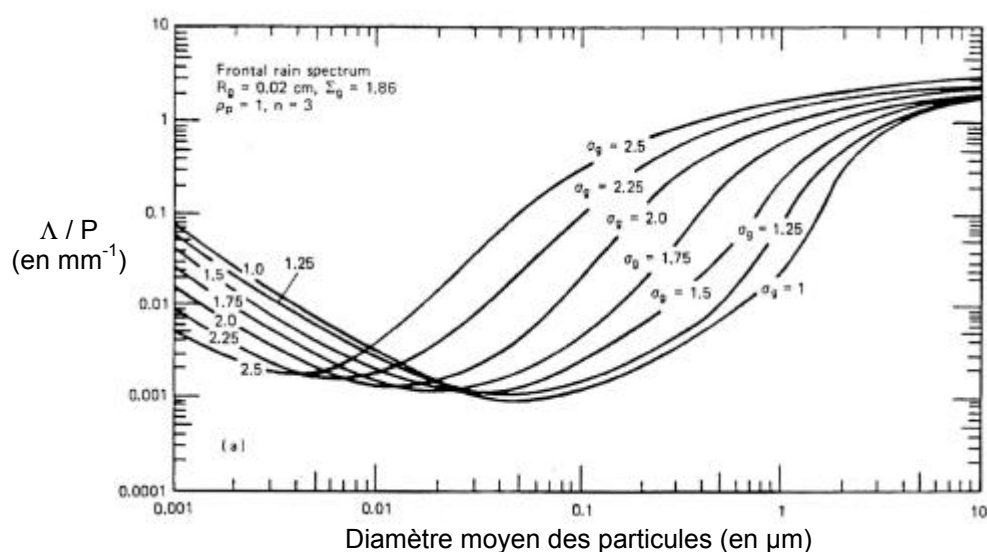


Figure 78 : Taux de lessivage par unité de précipitation, pour des particules (d'après Slinn, 1984). Les distributions de tailles de particules et de gouttelettes sont supposées suivre une loi log-normale.  $\sigma_g$  représente le paramètre de la loi log-normale des particules.

Il est important de noter que les mécanismes de dépôt sec et de dépôt humide modifient non seulement la quantité totale de polluants transportée par le panache, mais également la répartition de la concentration au sein de ce panache. C'est en particulier le cas lors du dépôt sec, puisque ce dépôt prélève les polluants uniquement dans la partie inférieure du nuage. Nous avons présenté, au paragraphe 2.3.1.4, les méthodes utilisées pour prendre en compte ce phénomène au sein d'un modèle gaussien.

#### 4.7. FLUCTUATIONS DE CONCENTRATION

Le caractère instationnaire des écoulements turbulents implique que les concentrations en polluants fluctuent autour de leur valeur moyenne. Ce phénomène peut conduire à des pics de concentration plusieurs fois supérieurs à cette moyenne. Certaines conséquences de la pollution atmosphérique, comme les odeurs, le caractère explosif ou inflammable d'un nuage de polluants ou encore certains effets sur la santé, dépendent beaucoup plus des valeurs instantanées de concentration que des valeurs moyennes. C'est pourquoi il est parfois nécessaire de modéliser les fluctuations de concentration.

Au paragraphe 2.2.4, nous avons décrit en détail l'origine et les caractéristiques des fluctuations de concentration dans un écoulement turbulent. Nous renvoyons à ce paragraphe pour plus de détail sur ce phénomène.

Lorsque l'on souhaite modéliser les fluctuations de concentration dans l'atmosphère, il est nécessaire de faire appel à un outil de modélisation spécifique. En effet, la plupart des modèles de dispersion ne fournissent par défaut que des concentrations moyennes. Il existe principalement deux approches de modélisation permettant de simuler les fluctuations de concentration :

- **Les modèles hybrides lagrangiens-bouffées** (cf. paragraphe 2.3.2.4) : il s'agit de l'approche la plus couramment utilisée pour modéliser les fluctuations de concentration lorsque l'on utilise un modèle à bouffées gaussiennes ou un modèle lagrangien stochastique. Cette approche est actuellement en plein développement et devrait bientôt constituer la troisième génération de modèles opérationnels de dispersion.
- **Les modèles eulériens** (cf. paragraphes 2.3.3) : si l'on exclue les modélisations directes de la turbulence (LES et DNS), qui permettent d'accéder aux fluctuations de concentration mais qui ne sont encore réservées qu'à un usage de recherche, la modélisation des fluctuations de concentration avec un modèle eulérien s'effectue au moyen d'équations de transport sur les moments statistiques (en particulier la variance) de la distribution de concentration. Cette approche a malheureusement les mêmes limitations que celles déjà évoquées pour les modèles eulériens (utilisation d'un coefficient de diffusivité turbulente), auxquelles s'ajoute une certaine lourdeur de calcul qui la rend difficilement applicable dans un cadre opérationnel.

Ces approches ont déjà été amplement décrites au chapitre 2 et nous ne rentrerons pas dans plus de détails à ce niveau.

Il faut par ailleurs noter que quelle que soit l'approche utilisée, les modèles de fluctuation de concentration ne décrivent pas les variations instantanées de la concentration dans un nuage de polluants. Ils ne fournissent qu'une description statistique de la distribution de concentration, à travers ses moments (en particulier l'écart-type des fluctuations  $\sigma_c$ ), à travers les fréquences de dépassement de certaines valeurs ou à travers les percentiles.

#### 4.8. SYNTHÈSE SUR LA MODÉLISATION DE LA DISPERSION ATMOSPHÉRIQUE

Dans ce paragraphe, nous présentons une synthèse des méthodes disponibles pour modéliser la dispersion atmosphérique.

##### *Approches de modélisation*

Il existe trois grandes catégories de modèles de dispersion :

- **Les modèles gaussiens** (cf. paragraphe 2.3.1) : ils sont basés sur les solutions analytiques de l'équation d'advection-diffusion. On distingue les modèles de panache gaussien et les modèles à bouffées gaussiennes. Dans ce type de modèles, la plupart des processus de dispersion et des processus physico-chimiques sont pris en compte à l'aide de paramétrisations spécifiques, sans résolution des équations. Ces modèles sont bien adaptés à des études opérationnelles (calcul en temps réel, étude d'impact) car ils nécessitent des temps de calcul limités et permettent ainsi l'étude d'un grand nombre de cas. Ils fournissent des résultats acceptables dans les situations pour lesquelles ils ont été paramétrés (il faut noter que les paramétrisations disponibles varient d'un modèle à l'autre). Ils sont cependant difficilement utilisables dans des situations d'écoulement très compliqué (relief, obstacles multiples) ou lorsqu'il est nécessaire de traiter des processus physico-chimiques complexes.
- **Les modèles lagrangiens** (cf. paragraphe 2.3.2) : ils sont basés sur le calcul des trajectoires turbulentes d'un grand nombre de particules représentant le polluant. Ils sont généralement couplés à un modèle eulérien qui calcule le champ de vent dans lequel s'effectue la dispersion. Ils permettent essentiellement de prendre en compte la dispersion et s'adaptent plus difficilement à la description de processus physico-chimiques. Ils peuvent être utilisés pour des études d'impact mais pas pour des simulations en temps réel. Les résultats obtenus avec cette approche sont généralement bons et bien adaptés au champ proche des sources. Ils ne sont cependant pas adaptés pour traiter un grand nombre de sources (temps de calcul très important).
- **Les modèles eulériens tridimensionnels** (cf. paragraphe 2.3.3) : ils sont basés sur une résolution numérique de l'équation d'advection-diffusion sur un maillage de l'espace. Ils sont généralement couplés à un modèle eulérien qui détermine le champ de vent (souvent sur le même maillage). Ils ne sont pas adaptés pour des simulations en temps réel et leur utilisation pour des études d'impact doit être envisagée une fois que les autres approches ont montré leurs limites. En effet, les temps de calcul d'un modèle eulérien sont souvent très importants et difficilement compatibles avec des études opérationnelles. Un modèle eulérien fournit de bons résultats, à l'exception du champ proche des sources où les hypothèses effectuées conduisent à surestimer la diffusion.

Tous les modèles de dispersion précédents ont besoin de données d'entrée sur les conditions météorologiques. On distingue pour cela deux approches :

- **Les pré-processeurs météorologiques**, qui servent à calculer les différentes variables décrivant l'état de l'atmosphère, en particulier en ce qui concerne la stabilité thermique et la turbulence de l'écoulement. Les pré-processeurs sont généralement adaptés pour utiliser des données provenant de mesures de terrain.
- **L'utilisation d'un champ de vent tridimensionnel**, obtenu à l'aide d'un modèle d'écoulement.



Un modèle de dispersion peut également être couplé à un modèle d'émission, qui calcule les quantités de polluants rejetées par des activités spécifiques (exemple des modèles de trafic).

### **Qualité des résultats**

Les conclusions exposées au paragraphe précédent, concernant la qualité des résultats fournis par les différentes approches de modélisation, doivent faire l'objet de quelques réserves. En effet, la qualité des résultats d'un modèle de dispersion dépend de nombreux facteurs relatifs au modèle en lui-même, mais également à la façon dont il est mis en œuvre. Ces différents facteurs sont :

- **La qualité intrinsèque du modèle** : la qualité intrinsèque du modèle est sa capacité à simuler le phénomène pour lequel il a été développé. Cette aptitude dépend d'une part des hypothèses simplificatrices effectuées dans la constitution du modèle et d'autre part des techniques utilisées pour résoudre le problème simplifié.
- **L'adéquation entre le modèle et le problème à traiter** : parfois, un modèle peut être excellent pour traiter une situation particulière et peut ne pas être adapté à d'autres situations. S'il est mal utilisé, il donnera des résultats erronés.
- **La qualité des données utilisées** : un modèle utilise des paramètres d'entrée. Si ces paramètres sont imprécis, le résultat de la simulation a de grandes chances de l'être aussi. Ce problème se pose en particulier lorsqu'un modèle de dispersion utilise un champ de vent obtenu à l'aide d'un autre modèle. La qualité du modèle de dispersion dépend alors énormément de la qualité du modèle d'écoulement. De la même façon, il n'est pas utile de mettre en œuvre un modèle très performant lorsque l'on ne dispose pas des données d'entrée suffisantes pour l'initialiser.
- **L'expertise du modélisateur** : l'expertise du modélisateur est indispensable dans l'analyse du problème à traiter, dans le choix du modèle de dispersion, dans la mise en œuvre du modèle et dans l'interprétation des résultats.

Dans le paragraphe précédent, nous avons uniquement indiqué la qualité intrinsèque du modèle. Il faut bien être conscient qu'un "bon" modèle ne suffit pas à fournir de bons résultats. C'est en général la bonne adéquation des quatre facteurs précédents qui permet d'obtenir les meilleurs résultats. Pour illustrer ce point, il est intéressant d'analyser les résultats des exercices d'inter-comparaison et de validation de modèles de dispersion, qui sont régulièrement effectués par la communauté scientifique. Il n'est pas rare d'observer que deux modélisateurs, utilisant le même modèle et cherchant à simuler le même épisode, obtiennent des résultats pour la concentration différents d'un facteur 10 !

### **Types d'utilisation d'un modèle**

Les applications d'un modèle de dispersion peuvent être classées en fonction des contraintes opérationnelles relatives au contexte de l'étude (temps de calcul, facilité d'utilisation, ...). Ces contraintes conduisent à rechercher des modèles capables de fournir un résultat dans un temps donné. Compte tenu de la diversité des problèmes rencontrés (par exemple, la notion de "prévision" peut avoir des significations différentes selon les personnes), il nous a semblé difficile de proposer une classification des modèles en fonction des applications qu'ils seraient capables de traiter. Il nous a paru plus raisonnable de les classer en fonction du temps nécessaire pour simuler un scénario donné (un scénario est un jeu de paramètres météorologiques, d'émission, ...). Par exemple, cela peut être l'étude d'une direction de vent, d'une classe de stabilité, d'un débit de rejet, ...). Il revient ainsi à chacun de définir quelles sont ses contraintes d'utilisation et d'en déduire le modèle le plus approprié. Cette classification est présentée dans le Tableau 16.

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

	<b>Modèle gaussien</b>	<b>Modèle lagrangien</b>	<b>Modèle eulérien</b>
<b>Temps CPU pour un scénario</b>	< 1 minute	entre 1 minute et 1 heure	> 1 heure

Tableau 16 : Temps caractéristiques d'utilisation des différents types de modèles.

### Phénomènes pris en compte

Les phénomènes pris en compte par les différentes approches ont été résumés dans le Tableau 17. Nous avons également indiqué la "qualité" des méthodes utilisées et leur caractère opérationnel. Il faut noter qu'aucun des phénomènes considérés n'est pris en compte "par défaut" dans ces modèles. Il conviendra donc de vérifier pour chaque modèle les phénomènes décrits. De plus, les méthodes utilisées pour prendre en compte ces phénomènes varient d'un modèle à l'autre. Les indications fournies sont donc avant tout indicatives et devront dans certains cas être nuancées.

	<b>Modèle de panache gaussien</b>	<b>Modèle à bouffées gaussiennes</b>	<b>Modèle lagrangien</b>	<b>Modèle eulérien</b>
<b>Stratification thermique</b>	<b>A</b> Paramétrisation des écarts-types	<b>A</b> Paramétrisation des écarts-types	<b>A</b> Par le champ turbulent	<b>A</b> Par le champ turbulent
<b>Relief</b>	<b>B</b> Paramétrisation spécifique	<b>B</b> Paramétrisation spécifique	<b>A</b> Par le champ de vent	<b>A</b> Par le champ de vent
<b>Obstacles</b>	<b>B</b> Paramétrisation spécifique	<b>B</b> Paramétrisation spécifique	<b>A</b> Par le champ de vent	<b>A</b> Par le champ de vent
<b>Dépôt</b>	<b>B</b> Paramétrisation spécifique	<b>B</b> Paramétrisation spécifique	<b>A</b> Loi de paroi (dépôt sec) et paramétrisation du dépôt humide	<b>A</b> Loi de paroi (dépôt sec) et paramétrisation du dépôt humide
<b>Particules</b>	<b>B</b> Paramétrisation de la sédimentation	<b>B</b> Paramétrisation de la sédimentation	<b>A</b> Paramétrisation spécifique	<b>A</b> Paramétrisation spécifique
<b>Radioactivité</b>	<b>B</b> Paramétrisation de l'évolution radioactive	<b>B</b> Paramétrisation de l'évolution radioactive	<b>B</b> Paramétrisation de l'évolution radioactive	<b>A</b> Paramétrisation de l'évolution radioactive
<b>Chimie</b>	<b>C</b> Pas adapté	<b>B</b> Paramétrisation de la chimie simple	<b>B</b> Module chimique	<b>A</b> Module chimique
<b>Fluctuations et odeurs</b>	<b>C</b> Pas adapté	<b>A</b> Couplage avec un modèle lagrangien	<b>A</b> Couplage avec un modèle à bouffées	<b>A</b> Equation de conservation de la variance

Tableau 17 : Phénomènes pris en compte dans chaque type de modèle. Le caractère gras indique la qualité de la méthode (A = reproduit bien le phénomène ; B = moyennement adaptée mais peut suffire pour une étude d'impact ; C = non adaptée). Le type de méthode utilisée est ensuite décrit.

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

## 5. ANALYSE ET SYNTHÈSE DES SITUATIONS A MODELISER

### 5.1. INVENTAIRES DES SITUATIONS A ETUDIER

Il s'agit ici d'identifier les situations d'émissions atmosphériques industrielles les plus courantes et de les caractériser dans le but de réaliser des études de dispersion.

#### 5.1.1. MOTIVATIONS DES ETUDES

Les motivations d'une étude de dispersion atmosphérique peuvent avoir plusieurs origines :

- Réglementaire (études d'impact).
- Plaintes relatives à des nuisances olfactives.
- Techniques (modifications ou améliorations d'une installation, dimensionnement, ...).
- Prévision en temps réel (logiciel expert de surveillance de la pollution sur un site).

Les paramètres à déterminer et leur présentation seront en général fonction des motivations qui conduisent à réaliser une étude de dispersion. Dans certaines situations, la motivation de l'étude peut également conduire à imposer le type de modélisation. Par exemple, l'étude d'un grand nombre de situations différentes imposera d'utiliser une approche de modélisation la plus opérationnelle possible en terme de coût et de temps de calcul, ce qui exclura pratiquement les approches de modélisation numérique 3D ou expérimentales.

#### 5.1.2. CONFIGURATIONS DE REJETS

- *Emplacement et forme du rejet* : rejet ponctuel à partir d'une cheminée isolée, ou placée sur le toit d'un bâtiment ou à proximité d'un relief (falaise, talus, ...), rejets surfaciques diffus au sol issus de l'épandage ou du stockage de matières volatiles, rejets volumiques consécutifs à des émissions diffuses ou fugitives à l'intérieur de bâtiments, ...
- *Nature du rejet* : gaz, particules (solides et liquides), radioactifs, ...
- *Conditions de rejets* : température du rejet (rejet plus chaud ou plus froid que l'air ambiant), quantité de mouvement du rejet (vitesse d'éjection à la cheminée par exemple), rejet continu ou variable dans le temps, ...

#### 5.1.3. TYPOLOGIES DE RELIEF ET D'OBSTACLES

- *Typologies de relief* : site en plaine, site de bord de mer (falaise, ...), site de vallée, ...
- *Typologie d'obstacles* : bâtiment isolé, site industriel en milieu rural, site industriel en milieu urbain.

#### 5.1.4. RESULTATS DE L'ENQUETE AUPRES DES INDUSTRIELS

L'enquête auprès des tuteurs industriels a été réalisée en deux étapes : - un premier contact téléphonique a permis de mieux cerner les besoins et les attentes des tuteurs, - une deuxième

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

étape par questionnaire papier avait pour objectif de mieux définir les différentes situations à modéliser. A ce jour, tous les tuteurs ont été contactés par téléphone hormis Renault et Solvay (tout récemment intéressé par le projet) et nous avons reçu quatre questionnaires sur neuf envoyés (Atofina, Gaz de France, Solvay et Tredi). Un exemple du questionnaire proposé est donné en annexe à la fin de ce document. Les questions posées reprenaient succinctement les trois points présentés précédemment, à savoir quelles étaient les motivations des études, les configurations de rejets et les typologies des sites. Elles visaient également à déterminer comment (moyens en interne, sous-traitance à un bureau d'études) et avec quel modèle (développement en interne, modèles commerciaux), sont faites les études de dispersion. Il a été demandé aux tuteurs industriels de répondre globalement au questionnaire sur l'ensemble des situations qu'ils ont à traiter. Ce questionnaire peut également être utilisé au cas par cas, comme aide-mémoire, pour caractériser la situation à modéliser. Les résultats de l'enquête sont présentés ci-après.

#### **5.1.4.1. Motivations des études**

Pour la plupart des industriels, les études de dispersion correspondent à la demande réglementaire concernant les études d'impact. Des demandes d'études relatives plus particulièrement à des nuisances, surtout olfactives, sont à prendre en considération (ATOFINA, SITA). Elles sont en général intégrées dans les études réglementaires, mais elles peuvent aussi être initiées à la suite de plaintes. Des études de dispersion sont également réalisées consécutivement à des modifications d'installation (GDF) ou pour des choix ou des améliorations de procédés (SITA).

#### **5.1.4.2. Comment sont réalisées les études**

Il faut tout d'abord distinguer les études de dispersion faites en interne (EDF, GDF, ATOFINA, SOCOTEC), de celles sous-traitées (SITA, TREDI, CEMENTS D'OBOURG, SOLVAY). Lorsqu'elles sont réalisées en interne, les modèles utilisés sont soit des modèles développés par l'industriel sur la base des modèles de l'EPA (EDF) ou du modèle de DOURY (ATOFINA), soit des modèles commerciaux (ARIA IMPACT pour SOCOTEC et GDF). Lorsque les études sont sous-traitées, elles le sont à des bureaux d'études, comme ARIA Technologie, ACRI ou EOG. Les modèles mis en œuvre concernent le plus souvent des approches semi-empiriques de type gaussien (EDF, GDF, SOCOTEC, ATOFINA) et pour une part des modèles numériques (EDF, GDF, CEMENTS D'OBOURG).

#### **5.1.4.3. Le champ d'application du modèle**

Le domaine spatial d'utilisation des modèles reste inférieur à des distances de 100 kilomètres, avec une demande claire entre 1 et 10 kilomètres. L'échelle locale est citée une fois (ATOFINA). Les informations temporelles concernent autant des épisodes sur des périodes courtes que des moyennes annuelles ou encore de la prévention en temps réel.

#### **5.1.4.4. Les grandeurs à calculer**

Les grandeurs à calculer concernent la concentration moyenne, les percentiles, les fluctuations de concentration et les doses chimiques.

#### **5.1.4.5. Configurations de rejets**

Tous les types d'émissions sont à prendre en considération :

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

- les émissions canalisées : elles correspondent en particulier à des rejets ponctuels à la cheminée. Tous les industriels interrogés sont concernés. Il faut toutefois distinguer les cheminées de grandes hauteurs, supérieures à 100 m (EDF), des cheminées relativement basses, inférieures à 50 m (GDF).
- les émissions fugitives ou diffuses : elles correspondent à des rejets surfaciques (stockages en fosse ou épandages au sol) et volumiques (bâtiments, installations industrielles).
- les panaches de condensation : ils proviennent de rejets à la cheminée ou de condenseurs. La visibilité des panaches reste un problème ouvert qu'il n'est pas toujours facile de traiter. Les industriels interrogés sont concernés (TREDI, SITA) et y trouvent un intérêt même s'ils ne traitent pas ce problème actuellement (ATOFINA).

Les émissions à la cheminée concernent très souvent des rejets chauds, supérieurs à 100°C. Les substances émises sont sous forme gazeuse (NO<sub>x</sub>, CO, ...) ou particulaire (poussières, métaux lourds, ...). Ces substances présentent un caractère toxique au-delà d'un certain seuil de concentration ou d'exposition et peuvent pour certaines entraîner des nuisances olfactives (TREDI, SITA, ATOFINA).

#### **5.1.4.6. Typologies de relief et d'obstacles**

Le champ d'investigation est ici très large. Il faut tout d'abord considéré les obstacles présents sur le site industriel, relatifs en général aux procédés mis en œuvre et aux stockages. Ces obstacles seront très importants sur la dispersion initiale des polluants dans le cas des émissions ponctuelles de faibles altitudes et diffuses au niveau du sol. La plupart des industriels interrogés sont concernés par cet aspect, sauf peut-être EDF sur les centrales thermiques. Il faut ensuite distinguer les sites industriels en milieu rural de ceux en milieu urbain. Les deux situations se retrouvent pour l'ensemble des industriels hormis peut être GDF qui a plutôt des sites en milieu rural.

Pour les typologies de relief, on distinguera les sites sur terrains pratiquement plats, les sites présentant des singularités de relief (falaise, talus, colline, ...), les sites en milieu montagneux et les sites de bord de mer. Toutes ces configurations sont susceptibles d'être rencontrées par l'ensemble des industriels, sauf toutefois pour les sites très particuliers de montagne ou de bord de mer qui ne sont sélectionnés que par ATOFINA. Par exemple, les CIMENTS D'OBOURG n'ont pas de site en milieu montagneux, GDF a plutôt des sites sur terrain pratiquement plat, TREDI rencontre plutôt des reliefs de plaine. La prise en compte du relief dépendra des dimensions du domaine qu'il faut étudier. Ces dimensions dépendront également de la hauteur des rejets.

#### **5.1.4.7. Attentes des industriels par rapport à cette étude**

Lors de cette enquête, nous avons demandé aux industriels de préciser leurs attentes par rapport à cette première étude. Il ressort des discussions un réel besoin de mieux appréhender l'influence des différents phénomènes physiques sur la dispersion des polluants, l'importance des paramètres comme la topographie et de pouvoir mieux évaluer les conséquences de certaines hypothèses de modélisation sur les résultats. Pour les industriels disposant déjà d'une expérience sur la modélisation de la dispersion (EDF, GDF, SOCOTEC, ATOFINA), ils attendent ces informations de l'étude théorique ainsi qu'une classification des modèles de dispersion. Pour les autres (SITA, TREDI, CIMENTS D'OBOURG), la demande finale est identique, mais avant cela, il s'agit surtout de pouvoir apporter une analyse critique sur le travail fourni par les bureaux d'études, puis de pouvoir se doter de moyens en interne. Il ressort également des discussions un besoin de disposer d'approches de modélisation qui soient agréées par le Ministère chargé de l'Environnement (CIMENTS D'OBOURG).

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

## 5.2. INVENTAIRES DES DONNEES NECESSAIRES ET DISPONIBLES

### 5.2.1. DONNEES CONCERNANT LE REJET

- *Paramètres importants et leur définition* : propriétés chimiques (composition) et physiques (masse volumique, température) du rejet, débit, vitesse d'éjection, diamètre de la cheminée, ...
- *Principales difficultés* : connaissance des quantités rejetées au cours du temps.

### 5.2.2. DONNEES METEOROLOGIQUES

- *Paramètres importants et leur définition* : vitesse, température, stabilité...
- *Format type* : rose des vents, statistiques météo, simulations numériques, prévisions, principales techniques de mesure.
- *Principaux fournisseurs* : Météo-France, mesures de l'industriel.
- *Principales difficultés* : distance entre la station de mesure et le site, détermination des paramètres manquants, coût

### 5.2.3. DONNEES GEOGRAPHIQUES : RELIEF, OBSTACLES

- *Paramètres importants et leur définition* : cartographie du relief, géométrie des bâtiments.
- *Format type* : cartes sur papier, photographies aériennes ou images satellites, données numériques.
- *Principaux fournisseurs* : IGN, Services Techniques des villes, plans de l'industriel.
- *Principales difficultés* : travail fastidieux en l'absence de données numériques, mise à jour des données, coût.

## 5.3. INVENTAIRES DES PARAMETRES A DETERMINER

### 5.3.1. PARAMETRES POUR LA DESCRIPTION DE LA POLLUTION

- Moyenne, écart-type, percentile.
- Valeurs en quelques points / champs de concentration 2D et 3D.

### 5.3.2. PARAMETRES POUR EVALUER L'IMPACT SUR LA SANTE ET L'ENVIRONNEMENT

- Dépassement de seuils.
- Dose inhalée.

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

- Visibilité d'un panache
- ...

### **5.3.3. PARAMETRES POUR LE DIMENSIONNEMENT OU L'AMELIORATION D'UNE INSTALLATION**

- Optimisation de la hauteur et de l'emplacement de la cheminée (dépassement de seuil, distance minimale d'impact, ...).
- Identification de conditions météorologiques critiques (risque de brouillard, de verglas sur les chaussées voisines, ...).
- Justification du choix d'un procédé de fabrication ou de traitement des effluents (limitation des quantités rejetées, ...).

## **6. INVENTAIRE ET DESCRIPTION DES MODELES EXISTANTS**

### **6.1. INTRODUCTION**

On dispose aujourd'hui d'un très grand nombre de modèles permettant de simuler la dispersion des polluants dans l'atmosphère et il est très difficile, voire impossible, d'en dresser une liste complètement exhaustive. L'inventaire que nous avons réalisé regroupe toutefois un éventail assez large de modèles permettant de répondre au problème de la dispersion atmosphérique dans sa quasi globalité. De cet inventaire de modèles très général, nous avons extrait ceux qui répondent aux problèmes spécifiques des études d'impact relatives aux émissions chroniques industrielles.

La qualité des résultats d'une simulation dépend généralement moins de la qualité du modèle retenu (si tant est qu'il soit possible de classer les modèles du "meilleur" au "moins bon") que de la bonne adéquation entre le modèle choisi et le problème à traiter. L'établissement d'un guide pour le choix des modèles de dispersion ne peut donc pas se limiter à la réalisation d'un palmarès universel des modèles. Il est au contraire nécessaire d'établir une méthodologie, basée sur plusieurs critères, qui pourra conduire chaque industriel à déterminer le modèle le mieux adapté à ses propres besoins. L'objectif final de ce guide est de fournir à chaque industriel une liste restreinte de modèles pouvant traiter le plus grand nombre de ses problèmes de dispersion.

Pour cela, l'inventaire des modèles est réalisé en trois étapes. Dans la première étape (paragraphe 6.2), nous présentons les différents critères retenus pour classer les modèles ainsi que la méthode de classification. Dans la deuxième étape (paragraphe 6.3), nous décrivons chaque modèle, sur la base des documentations techniques et commerciales. Dans cette étape, les modèles sont triés arbitrairement par méthode, puis par ordre alphabétique. La troisième étape (paragraphe 6.4), concerne la classification proprement dite. Pour quelques critères retenus dans la première étape, les modèles sont classés par sous-groupe : on distinguera par exemple les modèles permettant la prise en compte ou non du relief, les modèles disposant ou non d'une interface conviviale, ...

Ce guide permettra donc à chaque industriel, sur la base des rappels effectués dans les première et deuxième parties, de déterminer les phénomènes qui sont prépondérants pour la dispersion sur son site et les contraintes posées par le problème à traiter, afin de sélectionner les critères de choix. Les classifications de la troisième partie permettront alors de déterminer quels modèles correspondent à ces critères.

### **6.2. METHODOLOGIE**

#### **6.2.1. CRITERES DE CLASSIFICATION**

##### **6.2.1.1. Introduction**

Les différents critères de classification des modèles de dispersion atmosphérique décrits ci-après sont associés à des champs qui sont repris dans chaque fiche de présentation des modèles. L'ordre de description des champs respecte celui retenu dans les fiches. Ces fiches proposent en particulier une description générale de chaque modèle (6.2.1.2), des différentes particularités des modèles météorologiques et de dispersion (chapitres 6.2.1.6 et 6.2.1.4), des informations sur les entrées et sortie des modèles (chapitre 6.2.1.5) ainsi que des informations



sur la validation des modèles (chapitre 6.2.1.7), les besoins informatiques (chapitre 6.2.1.8) et des renseignements administratifs (chapitre 6.2.1.3). L'ensemble de ces fiches est présenté dans le document annexe intitulé « Fiches de présentation des modèles de dispersion atmosphérique ». Le nom des champs est matérialisé dans ce qui suit en les insérant entre les symboles < et > (exemple : < *nom du champ* >). Lors du remplissage des fiches, le code utilisé pour les champs autres que texte est le suivant :

- «  » lorsque le critère n'est pas sélectionné,
- «  » lorsque le critère est sélectionné
- «  » lorsque le critère n'a pas pu être renseigné à partir des documents en notre possession.

### 6.2.1.2. Description générale du modèle

Les différents critères présentés dans ce paragraphe permettent d'établir une description générale du modèle en terme de types de modélisation (modèle météorologique, modèle de dispersion, modélisation de la source et modèle d'émissions), d'échelles spatiales et temporelles considérées et de phénomènes physiques pris en compte (terrain complexe : relief et obstacles, stratification atmosphérique, fluctuations, visibilité de panache, dépôt, chimie, vent calme). Cette première partie a pour objectif de donner un aperçu rapide des méthodes de modélisation utilisées, du champ d'applications et des principales fonctionnalités du modèle.

#### 6.2.1.2.1. Acronyme

L'acronyme du modèle est spécifié dans le champ en haut des quatre pages de présentation des différents critères.

#### 6.2.1.2.2. Les types de modélisation

##### 6.2.1.2.2.1. Modèle météorologique

Le critère relatif au type de modèle météorologique est décrit par un champ texte qui peut contenir les expressions suivantes :

- < **Aucun** > : signifie que le modèle ne calcule pas de champ météorologique et utilise par conséquent des champs météorologiques déjà établis.
- < **Diagnostic** > : signifie que les champs météorologiques sont reconstitués à partir d'un jeu de données externes (assimilation de données).
- < **Prognostique** > : signifie que les champs météorologiques sont déterminés en résolvant les équations les décrivant.

##### 6.2.1.2.2.2. Modèle de dispersion

Les critères permettant de décrire le type de modélisation utilisée pour la dispersion sont les suivants :

- < **Gaussien** > : le modèle de dispersion est de type gaussien (solution gaussienne de l'équation d'advection-diffusion) ou à bouffées gaussiennes.
- < **Eulérien 3D** > : le modèle de dispersion résout numériquement l'équation d'advection-diffusion sur un maillage de l'espace.
- < **Lagrangien** > : le modèle de dispersion est basé sur le suivi de particules transportées par l'écoulement.
- < **Hybride** > : le modèle de dispersion associe plusieurs des méthodes précédentes. Dans ce cas, les méthodes concernées sont également signalées en sélectionnant les critères appropriés.

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

#### 6.2.1.2.2.3. Modélisation de la source

Le type de modélisation de la source est caractérisé par les critères suivants :

- **< ponctuelle >** : critère sélectionné pour des modèles prenant en compte des rejets à la cheminée par exemple.
- **< linéique >** : critère sélectionné pour des modèles intégrant une formulation spécifique des rejets linéiques relatifs en particulier à des activités industrielles spécifiques (usine de traitement de l'aluminium, ...) ou au trafic automobile.
- **< surfacique >** : critère sélectionné pour des modèles intégrant une formulation spécifique des rejets surfaciques relatifs à des émissions diffuses (évaporation de produits volatils, ...) ou pour la prise en compte global des émissions au sol issues d'un cadastre d'émissions.
- **< volumique >** : critère sélectionné pour des modèles intégrant une formulation spécifique des rejets volumiques relatifs à des émissions diffuses ou fugitives provenant de bâtiments par exemple.
- **< modèle de jet >** : critère sélectionné dans le cas où un modèle spécifique de jet est intégré dans la modélisation du rejet. Ce type de modèle permet par exemple de décrire complètement la phase d'établissement d'un panache issu d'une cheminée.
- **< rejet continu >** : signifie que les rejets pris en compte sont continus dans le temps, ce qui sera pratiquement toujours vérifié lorsque l'on s'intéresse aux émissions industrielles chroniques. Ce critère permet toutefois de différencier les rejets continus des rejets limités dans le temps (nuages, bouffées, ...) plus orientés vers des situations d'émissions accidentelles.
- **< rejet variable >** : critère sélectionné lorsque le modèle est capable de prendre en compte des rejets de polluants dont le débit évolue au cours du temps.
- **< sources multiples >** : critère sélectionné lorsque le modèle gère plusieurs sources en différents emplacements à l'intérieur du domaine d'étude.

#### 6.2.1.2.2.4. Modèle d'émission

Les critères suivants permettent d'identifier l'existence de modélisations spécifiques contenues dans le modèle pour déterminer les émissions de polluants :

- **< radioactivité >** : critère sélectionné s'il existe une modélisation spécifique calculant les débits d'activité à la source. Ces modélisations sont en général très dépendantes du type d'application et les informations qu'elles délivrent sont souvent confidentielles.
- **< trafic >** : critère sélectionné dans le cas où un modèle de trafic est intégré pour le calcul des émissions d'origine automobile.
- **< débit à la brèche >** : critère sélectionné si des modélisations du débit à la brèche sont intégrées. Ce critère concerne des modèles orientés vers des études de situations accidentelles.
- **< émissions de poussières >** : critère sélectionné lorsque le modèle contient des modélisations spécifiques relatives aux émissions de poussières (réenvol de poussières par exemple).
- **< autres émissions >** : ce critère est sélectionné pour signaler l'existence d'autres modélisations spécifiques dans le modèle non répertoriées par les critères précédents.

#### 6.2.1.2.3. Les échelles considérées

##### 6.2.1.2.3.1. Les échelles spatiales

Les critères retenus pour décrire le domaine spatial d'application des modèles sont les suivants :

- **< locale >** : signifie que le modèle est plutôt adapté au champ proche de la source (distance inférieure à 5 kilomètres. Le champ très proche de la source se rapporte plutôt à des distances inférieures à 1 kilomètre.

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

- **< sub-méso >** : signifie que le modèle est plutôt adapté à l'échelle sub-méso, comprise entre 5 et 50 kilomètres.
- **< régionale >** : signifie que le modèle est plutôt adapté à la méso échelle, comprise entre 50 et 500 à 1000 kilomètres.
- **< continentale >** : signifie que le modèle est plutôt adapté aux grandes échelles météorologiques, au-delà de 1000 kilomètres (échelle globale, climat).

#### 6.2.1.2.3.2. Les échelles temporelles

Rappelons que l'échelle temporelle prise en compte dans un modèle correspond à la plus petite échelle de temps qu'il est capable de résoudre. Cette plus petite échelle de temps est le plus souvent déterminée par le pas de temps des données d'entrée dont on dispose. Les critères retenus pour décrire l'échelle temporelle des modèles sont donc les suivants :

- **< Instantanée >** : ce critère est sélectionné lorsque le modèle est capable de réaliser une description temporelle complète des fluctuations correspondant à la turbulence atmosphérique (Partie du spectre d'énergie turbulente atmosphérique relative à des fluctuations de périodes inférieures à l'heure).
- **< horaire >** : Ce critère est sélectionné lorsque le modèle résout complètement les fluctuations atmosphériques de périodes supérieures à l'heure (intègrent en particulier les fluctuations relatives au cycle diurne/nocturne).
- **< journalière >** : ce critère est sélectionné lorsque le modèle résout complètement les fluctuations atmosphériques de périodes supérieures à la journée.
- **< annuelle >** : ce critère est sélectionné lorsque le modèle ne donne qu'une évaluation annuelle en s'appuyant sur des données également moyennées sur l'année.

#### 6.2.1.2.4. Les principaux phénomènes physiques pris en compte

Les critères décrits dans ce paragraphe permettent globalement d'identifier quels sont les principaux phénomènes physiques que le modèle peut prendre en compte.

- **< relief >** : ce critère indique si le modèle est globalement capable de prendre en compte des effets de relief.
- **< obstacles >** : ce critère indique si le modèle est globalement capable de prendre en compte des effets d'obstacles.
- **< stratification atmosphérique >** : ce critère indique si le modèle est globalement capable de prendre en compte des effets de stratification atmosphérique.
- **< fluctuations >** : ce critère indique si le modèle est capable de modéliser les fluctuations de concentration.
- **< visibilité de panache >** : ce critère indique si le modèle est capable de prendre en compte des effets relatifs à la visibilité des panaches (panache de condensation de vapeur d'eau par exemple).
- **< dépôt >** : ce critère indique si le modèle est globalement capable de prendre en compte des phénomènes de déposition au sol.
- **< chimie >** : ce critère indique si le modèle prend en compte des transformations chimiques.
- **< vent calme >** : ce critère indique si le modèle prend en compte les situations de vent calme.

#### 6.2.1.3. Les renseignements administratifs

Dans cette partie, nous précisons le nom et l'adresse du concepteur et du distributeur du logiciel ainsi que les coordonnées de la personne à contacter. Nous précisons également, lorsque l'information est disponible sur les différents documents en notre possession, le type et le coût

de licence, le coût de maintenance et le type de documentation disponible. Enfin, nous précisons si le modèle a reçu un agrément d'organisme officiel.

#### 6.2.1.3.1. *Concepteur et distributeur du logiciel*

- **< concepteur du logiciel >** : ce champ indique le nom de l'organisme qui a développé le logiciel.
- **< adresse www du concepteur >** : ce champ donne l'adresse internet du site du concepteur.
- **< distributeur du logiciel >** : ce champ indique le nom de l'organisme qui distribue le logiciel, en priorité sur la France.
- **< adresse www du distributeur >** : ce champ donne l'adresse internet du site du distributeur.
- **< contact distributeur >** : ce champ donne le nom de la personne à contacter pour obtenir des informations complémentaires.
- **< téléphone contact > et < fax contact >** : donne les numéros de téléphone et de télécopie de la personne à contacter.
- **< email contact >** : ce champ donne l'adresse électronique de la personne à contacter.

#### 6.2.1.3.2. *Type de licence*

- **< accès libre >** : ce critère est sélectionné lorsque le logiciel est en accès libre (téléchargeable à partir d'un site internet ou envoyé sur simple demande).
- **< accès contrôlé >** : ce critère est sélectionné lorsque le logiciel est en accès contrôlé. En général, il faut contacter le concepteur du logiciel pour connaître les modalités d'acquisition du logiciel.
- **< commerciale >** : ce critère est sélectionné lorsque le logiciel est commercialement distribué.
- **< non distribué >** : ce critère est sélectionné lorsque le logiciel n'est pas distribué. Certains concepteurs affichent clairement que leur logiciel n'a pas été développé dans le but d'être distribué à l'extérieur. Il existe cependant toujours des possibilités de négociation avec le concepteur.

#### 6.2.1.3.3. *Coût de licence*

Les critères suivants permettent de préciser la fourchette de prix de la licence du logiciel :

- **< licence gratuite >** : ce critère est sélectionné lorsque la licence du logiciel est gratuite.
- **< licence <1500 €HT >** : ce critère est sélectionné lorsque le coût de la licence du logiciel est inférieur à 1500 € HT.
- **< licence <7500 €HT >** : ce critère est sélectionné lorsque le coût de la licence du logiciel est inférieur à 7500 € HT.
- **< licence >7500 €HT >** : ce critère est sélectionné lorsque le coût de la licence du logiciel est supérieur à 7500 € HT.

#### 6.2.1.3.4. *Coût de la maintenance et du support technique*

Les critères suivants permettent de préciser la fourchette de prix de la maintenance du logiciel :

- **< maintenance gratuite >** : ce critère est sélectionné lorsque la maintenance du logiciel est gratuite.
- **< maintenance <1500 €HT >** : ce critère est sélectionné lorsque le coût de la maintenance du logiciel est inférieur à 1500 € HT.

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

- **< maintenance <7500 €HT >** : ce critère est sélectionné lorsque le coût de la maintenance du logiciel est inférieur à 7500 € HT.
- **< maintenance >7500 €HT >** : ce critère est sélectionné lorsque le coût de la maintenance du logiciel est supérieur à 7500 € HT.

#### 6.2.1.3.5. *Documentation*

Les critères suivants apportent des renseignements sur le type de documentation disponible :

- **< aucune >** : ce critère est sélectionné lorsqu'il n'y a aucune documentation disponible sur le logiciel.
- **< doc technique >** : ce critère est sélectionné lorsqu'une documentation technique du logiciel existe.
- **< doc utilisateur >** : ce critère est sélectionné lorsqu'une documentation sur l'utilisation du logiciel existe.
- **< doc en ligne >** : ce critère est sélectionné lorsque la documentation est accessible par internet.

#### 6.2.1.3.6. *Support technique*

Les critères suivants permettent de définir le type de support technique disponible pour le logiciel :

- **< aucun >** : ce critère est sélectionné lorsqu'il n'y a aucun support technique.
- **< à distance >** : ce critère est sélectionné lorsque le support technique peut être réalisé à distance (téléphone, internet, ...).
- **< sur site >** : ce critère est sélectionné lorsque le support technique peut être réalisé chez l'utilisateur.
- **< formation >** : ce critère est sélectionné lorsqu'il existe des possibilités de formation sur le logiciel.

#### 6.2.1.3.7. *Agrément*

- **< agrément >** : ce champ texte est utilisé pour préciser l'existence d'un agrément du logiciel auprès d'instances officielles.

### 6.2.1.4. *Description détaillée du modèle de dispersion*

Dans la description générale du modèle (paragraphe 6.2.1.2), nous avons décrit des critères renseignant le type de modèle de dispersion utilisé (gaussien, eulérien 3D, lagrangien). Dans cette partie, nous détaillons les critères retenus permettant d'apporter des informations sur les différents types de paramétrisations utilisés dans les modèles de dispersion. Nous détaillons également les critères relatifs aux différents phénomènes de dispersion représentés.

#### 6.2.1.4.1. *Les critères relatifs aux modèles de dispersion*

##### 6.2.1.4.1.1. *Modèle gaussien*

Les critères suivants permettent de préciser le type de modélisation gaussienne pris en compte :

- **< panache gaussien >** : ce critère est sélectionné pour un panache gaussien.
- **< bouffées gaussiennes >** : ce critère est sélectionné pour un modèle de bouffées gaussiennes.

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

Les critères ci-après précisent globalement quel est le type de modélisation des écarts-types utilisé dans le modèle :

- **< sortie du modèle météo >** : ce critère est sélectionné pour préciser que les écarts-types de dispersion sont modélisés à partir des informations sur la turbulence obtenues au moyen d'un modèle météorologique.
- **< par classes >** : ce critère est sélectionné pour préciser que les écarts-types de dispersion sont modélisés en fonction de différentes classes permettant de définir l'état de stratification atmosphérique (exemples des classes de Pasquill-Gifford, de Turner, de Doury, ...) ou le type de sol (rural ou urbain).
- **< continue >** : ce critère est sélectionné pour préciser que les écarts-types de dispersion sont modélisés continûment en fonction de l'état de l'atmosphère (exemple de la modélisation basée sur la théorie de similitude).

#### 6.2.1.4.1.2. *Modèle eulérien 3D*

Les critères suivants permettent de préciser d'où provient la paramétrisation de la turbulence :

- **< sortie du modèle météo >** : ce critère est sélectionné pour préciser que les informations sur la turbulence proviennent du modèle météorologique.
- **< modèle spécifique interne >** : ce critère est sélectionné pour préciser que la turbulence est paramétrée par une modélisation spécifique interne au modèle de dispersion.

#### 6.2.1.4.1.3. *Modèle lagrangien*

Les critères suivants permettent de préciser d'où provient la paramétrisation de la diffusion turbulente :

- **< sortie du modèle météo >** : ce critère est sélectionné pour préciser que la paramétrisation de la diffusion turbulente utilise les informations sur la turbulence délivrées par le modèle météorologique.
- **< modèle spécifique interne >** : ce critère est sélectionné pour préciser que la paramétrisation de la diffusion turbulente est réalisée au moyen d'une modélisation spécifique interne au modèle de dispersion.

#### 6.2.1.4.2. *Les phénomènes de dispersion représentés*

##### 6.2.1.4.2.1. *Les effets de relief*

Les critères suivants permettent de préciser comment sont pris en compte les effets de relief dans le modèle de dispersion :

- **< pris en compte par le champ météo >** : ce critère est sélectionné lorsque les effets induits par le relief sont pris en compte à travers la fourniture du champ météorologique.
- **< modèle interne spécifique >** : ce critère est sélectionné lorsque les effets induits par le relief sont pris en compte par une modélisation spécifique interne au modèle de dispersion.

##### 6.2.1.4.2.2. *Les effets des obstacles*

Les critères suivants permettent de préciser comment sont pris en compte les effets des bâtiments dans le modèle de dispersion :

- **< pris en compte par le champ météo >** : ce critère est sélectionné lorsque les effets induits par les bâtiments sont pris en compte à travers la connaissance du champ météorologique.
- **< modèle interne spécifique >** : ce critère est sélectionné lorsque les effets induits par les bâtiments sont pris en compte par une modélisation spécifique interne au modèle de dispersion.

#### 6.2.1.4.2.3. Les effets de la source

Les critères relatifs au type de la source (< *ponctuelle* >, < *linéique* >, < *surfacique* >, < *volumique* >), déjà décrits dans le paragraphe 6.2.1.2.2.3, sont repris dans cette partie car ils concernent directement les effets de la source sur la dispersion. Les critères < *source variable* > < *source multiple* > sont également repris dans cette partie. Les critères supplémentaires suivants permettent de préciser si les effets relatifs aux flux initiaux de quantité de mouvement et de chaleur ainsi que ceux induits par la présence d'un bâtiment situé à proximité de la source, sont pris en compte par le modèle de dispersion :

- < **surhauteur cinématique** > : ce critère est sélectionné lorsque les effets relatifs à la quantité de mouvement initiale des rejets sont pris en compte (vitesse de rejet des effluents à la cheminée par exemple).
- < **surhauteur thermique** > : ce critère est sélectionné lorsque les effets relatifs au flux initial de chaleur du rejet sont pris en compte (température des rejets différente de la température de l'air ambiant).
- < **downwash/flagging** > : ce critère est sélectionné lorsque les effets aérodynamiques induits par la source sont pris en compte (effet de sillage des cheminées par exemple).

#### 6.2.1.4.2.4. Les effets de la stratification thermique

Les critères suivants permettent de préciser globalement quels sont les effets relatifs à la stratification thermique qui sont pris en compte par le modèle de diffusion :

- < **effet sur les coef. de diffusion** > : ce critère est sélectionné lorsque les coefficients de diffusion sont modifiés par la stratification thermique.
- < **effets liés à la couche d'inversion** > : ce critère est sélectionné lorsque l'un ou plusieurs des effets décrits ci-dessous, liés à la couche d'inversion, sont pris en compte.
- < **réflexion** > : ce critère est sélectionné pour préciser que la réflexion totale du panache sur la couche d'inversion est prise en compte.
- < **pénétration** > : ce critère est sélectionné pour préciser que le phénomène de pénétration du panache dans la couche d'inversion est pris en compte.
- < **fumigation** > : ce critère est sélectionné pour préciser que les phénomènes de fumigation du panache sont pris en compte. La fumigation est souvent à rapprocher des phénomènes météorologiques de brise de mer, mais elle peut également avoir d'autres origines.

#### 6.2.1.4.2.5. Les effets de variabilité des conditions météorologiques

Le critère suivant permet de préciser si le modèle de dispersion prend en compte explicitement les effets relatifs à la variabilité des conditions météorologiques :

- < **meandering** > : ce critère est sélectionné pour préciser que les effets de « meandering » du panache sont explicitement pris en compte. Rappelons que ces effets de « meandering » sont particulièrement mis en évidence dans les processus de dispersion en atmosphère très stable (faible diffusion) par vent relativement calme.

#### 6.2.1.4.2.6. Les fluctuations

Les critères suivants permettent de préciser comment les fluctuations de concentration sont prises en compte par le modèle de dispersion :

- < **écart-type de concentration** > : ce critère est sélectionné pour préciser que le modèle calcule les écarts-types des fluctuations de concentration.
- < **pdf de c** > : ce critère est sélectionné pour préciser que les fluctuations de concentration sont prises en compte au moyen d'une fonction de densité de probabilité.

#### 6.2.1.4.2.7. La chimie

Les critères suivants permettent de préciser le type de chimie qui est pris en compte dans le modèle de dispersion :

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

- **< chimie simplifiée >** : ce critère est sélectionné pour préciser que la chimie prise en compte concerne essentiellement des réactions simples pouvant être traitées séparément les unes des autres et faisant intervenir uniquement les polluants émis par une source. Les transformations chimiques sont traitées en utilisant des décroissances linéaire ou exponentielle selon les cas. Les constantes de temps relatives aux réactions peuvent parfois être une donnée d'entrée que l'utilisateur doit fournir.
- **< chimie atmosphérique complexe >** : ce critère est sélectionné pour préciser que les phénomènes de chimie atmosphérique sont pris en compte par la résolution d'un ensemble de réactions chimiques.

#### 6.2.1.4.2.8. Les particules

Les critères suivants permettent de préciser si le transport et la dispersion des particules sont pris en compte dans le modèle :

- **< particules >** : ce critère est sélectionné pour spécifier que le transport et la dispersion de particules est pris en compte.
- **< sédimentation >** : ce critère est sélectionné pour préciser que les phénomènes de sédimentation des particules sont traités.

#### 6.2.1.4.2.9. Les dépôts au sol

Les critères suivants permettent de distinguer les types de dépôt pris en compte par le modèle de dispersion :

- **< dépôt sec >** : ce critère est sélectionné pour préciser que les phénomènes de dépôt sec au sol sont pris en compte.
- **< dépôt humide >** : ce critère est sélectionné pour préciser que les phénomènes de dépôt humide sont pris en compte (lessivage par les précipitations atmosphériques).

#### 6.2.1.4.2.10. La radioactivité

Les critères suivants permettent de décrire rapidement quels sont les phénomènes spécifiques aux émissions radiologiques qui sont pris en compte par le modèle de dispersion :

- **< décroissance radioactive >** : ce critère est sélectionné pour préciser que le phénomène de décroissance radioactive est pris en compte.
- **< filiation radioactive >** : ce critère est sélectionné pour préciser que la filiation entre radionucléides est pris en compte.
- **< calcul de débit de dose >** : ce critère est sélectionné pour préciser que le calcul des débits de dose radiologique est pris en compte.

### 6.2.1.5. Informations sur les données d'entrée et de sortie du modèle

Dans cette partie, nous détaillons les critères retenus permettant de caractériser le type d'informations qu'il faut donner en entrée du modèle ainsi que les principales informations fournies en sortie du modèle. Les informations sur les entrées du modèle concernent essentiellement les données géographiques, les données météorologiques et les quantités de polluants rejetées à la source. Les informations sur les données de sortie du modèle concernent principalement le format des données de sortie, les grandeurs calculées et la répartition temporelle des données.

#### 6.2.1.5.1. Les données d'entrée

##### 6.2.1.5.1.1. Les données géographiques

Les critères suivants permettent de décrire globalement le type de données géographiques que le modèle prend en compte :



Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

- **< relief >** : ce critère est sélectionné pour préciser que le modèle prend en compte des données de relief, soit dans un format spécifique, soit au format de l'IGN.
- **< obstacles >** : ce critère est sélectionné pour préciser que le modèle prend en compte des informations géométriques concernant la position et les dimensions des obstacles.
- **< catégories de sol >** : ce critère est sélectionné pour préciser que le modèle prend en compte des informations sur la nature du sol (catégorie landcover par exemple).

#### 6.2.1.5.1.2. Les données météorologiques

Les critères suivants apportent des informations complémentaires sur l'origine des données météorologiques qu'il faut utiliser en entrée du modèle :

- **< mesures météorologiques >** : ce critère est sélectionné pour préciser que le modèle accepte des données issues de mesures de terrain. Il n'est pas détaillé si ces mesures proviennent de stations au sol, de radiosondages, ...
- **< pré-processeur météorologique >** : ce critère est sélectionné pour préciser que le modèle utilise des données fournies par un pré-processeur météorologique. Dans ce cas, le pré-processeur renvoie au modèle des informations concernant la structure verticale de l'atmosphère (longueur de Monin-Obukhov, vitesse convective, hauteur de la couche limite atmosphérique, ...). Le pré-processeur météorologique utilise en général des informations de lieu (longitude, latitude), de temps (jour de l'année, heure de la journée) et des mesures provenant des stations météorologiques. Le pré-processeur météorologique utilisé par le modèle, lorsqu'il est identifié, est indiqué dans le champ texte relatif aux modèles liés.
- **< résultats de calcul 3D >** : ce critère est sélectionné pour préciser que le modèle utilise un champ météorologiques 3D provenant d'un modèle météorologique.

#### 6.2.1.5.1.3. Les données d'émissions

Les critères suivants permettent d'identifier la provenance des données d'émissions qu'il faut rentrer dans le modèle :

- **< quantités rejetées >** : ce critère est sélectionné pour signaler qu'il faut spécifier au modèle les quantités de polluants rejetées.
- **< modèle d'émission >** : ce critère est sélectionné pour signaler que les quantités de polluants rejetées proviennent d'un modèle spécifique d'émission.

#### 6.2.1.5.2. Les données de sortie

##### 6.2.1.5.2.1. Le format des données

Les critères suivants permettent de préciser le format des données de sortie du modèle :

- **< fichiers ASCII >** : ce critère est sélectionné lorsque les données de sortie du modèle sont dans un format texte.
- **< cartographies >** : ce critère est sélectionné lorsque les données de sortie sont présentées sous forme de cartographie. Si un post processeur externe est utilisé, alors son nom est indiqué dans le champ texte **< logiciel post traitement >**.
- **< tracés 3D >** : ce critère est sélectionné lorsque les données de sortie sont des fichiers ou des tracés 3D. Si un post processeur externe est utilisé, alors son nom est indiqué dans le champ texte **< logiciel post traitement >**.
- **< affichage WEB >** : ce critère est sélectionné lorsque les données de sortie sont présentées sur un site internet.

##### 6.2.1.5.2.2. Les grandeurs calculées

Les critères suivants permettent de préciser quelles sont les grandeurs typiques disponibles en sortie du modèle :

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

- **< concentration moyenne >** : ce critère est sélectionné lorsque le modèle calcule des concentrations moyennes.
- **< percentiles >** : ce critère est sélectionné lorsque le modèle calcule des percentiles.
- **< dépôt sec >** : ce critère est sélectionné lorsque le modèle calcule des dépôts secs.
- **< dépôt humide >** : ce critère est sélectionné lorsque le modèle calcule des dépôts humides.
- **< écart-type >** : ce critère est sélectionné lorsque le modèle calcule des écarts-types de concentration.

#### 6.2.1.5.2.3. La répartition temporelle des données de sortie

Les critères suivants permettent de préciser la période sur laquelle sont calculées les différentes grandeurs :

- **< moyenne par pas de temps >** : ce critère est sélectionné lorsque le modèle restitue des valeurs moyennes par pas de temps.
- **< moyenne annuelle >** : ce critère est sélectionné lorsque le modèle calcule des moyennes annuelles.
- **< fluctuations (pdf,etc) >** : ce critère est sélectionné lorsque le modèle renvoie des informations sur les fluctuations de concentration.

#### 6.2.1.6. Description détaillée du modèle météorologique

Dans la description générale du modèle (paragraphe 6.2.1.2), nous avons décrit un critère renseignant le type de modèle météorologique utilisé (aucun, diagnostique et pronostique). Dans cette partie, nous détaillons en fonction du type de modèle météorologique, les critères retenus permettant d'apporter des informations sur les principales méthodes d'obtention des champs météorologiques. Nous détaillons également les critères relatifs aux principaux phénomènes météorologiques pris en compte.

##### 6.2.1.6.1. Les critères relatifs aux modèles météorologiques

###### 6.2.1.6.1.1. Aucun modèle météorologique

Lorsque le champ **< aucun >** modèle météorologique est sélectionné, nous utilisons les deux critères suivants pour spécifier l'origine des champs météorologiques susceptibles d'être utilisés par le modèle :

- **< résultats de simulation >** : ce critère est sélectionné lorsque le modèle utilise des résultats de simulation provenant d'un modèle météorologique extérieur. Dans ce cas et lorsque l'information existe, les noms des modèles météorologiques ayant déjà été utilisés pour des applications du modèle de dispersion sont placés dans le champ **< modèles liés >** présenté dans le paragraphe 6.2.1.9
- **< mesures météorologiques >** : ce critère est sélectionné lorsque le modèle utilise des mesures de terrain comme champ météorologique.

###### 6.2.1.6.1.2. Modèle diagnostique

Lorsque le champ **< diagnostique >** est sélectionné, nous utilisons les trois critères suivants pour caractériser l'approche de modélisation retenue dans le modèle :

- **< linéarisation des équations >** : ce critère est sélectionné lorsque le modèle météorologique utilise une méthode basée sur la linéarisation des équations de la dynamique de la couche limite atmosphérique (méthode exposée dans le paragraphe 3.3.2.1).

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

- **< conservation de la masse >** : ce critère est sélectionné lorsque le modèle météorologique utilise une méthode d'interpolation des observations de terrain sur le maillage de calcul respectant le principe de conservation de la masse de fluide (méthode exposée dans le paragraphe 3.3.2.1).
- **< modèle vertical 1D >** : ce critère est sélectionné lorsque le modèle météorologique utilise une formulation spécifique permettant de décrire complètement la structure verticale de l'atmosphère (la formulation la plus utilisée est basée sur la théorie de similitude de Monin-Obukhov, décrite dans le paragraphe 3.2.3.2).

#### 6.2.1.6.1.3. *Modèle prognostique*

Lorsque le champ **< prognostique >** est sélectionné, nous utilisons les deux critères suivants pour caractériser le type de modélisation numérique proposé par le modèle :

- **< hydrostatique >** : ce critère est sélectionné lorsque le modèle météorologique utilise une approximation d'équilibre hydrostatique pour résoudre les équations de conservation. Rappelons que cette approximation implique que les mouvements verticaux doivent rester petits devant les mouvements horizontaux. Les modèles météorologiques hydrostatiques ne sont donc pas adaptés pour décrire les champs météorologiques au-dessus de terrains très complexes (reliefs de montagne par exemple).
- **< incompressible >** : ce critère est sélectionné lorsque le modèle météorologique utilise une approximation de fluide incompressible pour résoudre les équations de conservation. Dans ce cas, la masse volumique du fluide est considérée constante dans tout l'espace. Par opposition, lorsque ce critère n'est pas sélectionné, le modèle météorologique ne fait pas d'approximation de fluide incompressible ou bien utilise une approximation de fluide anélastique pour résoudre les équations de conservation (la masse volumique du fluide peut varier dans l'espace, sous l'effet de la stratification de l'atmosphère par exemple, mais pas sous l'effet de la vitesse de l'écoulement).

#### 6.2.1.6.1.4. *Critères communs aux modèles diagnostique et prognostique*

Les critères suivants apportent des informations relatives aux maillages utilisés dans les modèles météorologiques diagnostique et prognostique :

- **< maillage imbriqué >** : ce critère est sélectionné lorsque le modèle météorologique utilise des maillages imbriqués.
- **< maillage suivant le relief >** : ce critère est sélectionné lorsque le modèle météorologique utilise un maillage spécifique capable de suivre la topographie du sol.
- **< maillage des obstacles >** : ce critère est sélectionné lorsque le modèle météorologique prend en compte explicitement l'écoulement autour des obstacles.

#### 6.2.1.6.2. *Les phénomènes météorologiques représentés*

##### 6.2.1.6.2.1. *Prise en compte de la topographie du terrain*

Les critères suivants permettent de caractériser le type de relief pris en compte par le modèle météorologique :

- **< terrain plat homogène >** : ce critère est sélectionné pour des reliefs plats sans variation de la nature du sol (rugosité, ...).
- **< terrain plat non homogène >** : ce critère est sélectionné pour des reliefs plats avec une variation de la nature du sol.
- **< colline isolée de pente modérée >** : ce critère est sélectionné dans le cas d'une colline isolée de pente modérée comme on en rencontre dans des reliefs de plaines.
- **< vallée isolée de profondeur modérée >** : ce critère est sélectionné dans le cas d'une vallée isolée de profondeur modérée.
- **< collines et vallées modérées >** : ce critère est sélectionné dans le cas d'un ensemble de collines et de vallées de pentes douces caractéristiques des régions vallonnées.

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

- **< relief de montagne >** : ce critère est sélectionné dans le cas d'un relief de montagne présentant en particulier des vallées profondes et des pentes abruptes.

#### 6.2.1.6.2.2. *Prise en compte des obstacles*

Les critères présentés ci-après permettent de caractériser la prise en compte des obstacles par le modèle météorologique :

- **< rugosité >** : ce critère est sélectionné lorsque les effets des obstacles sont pris en compte par une rugosité du sol.
- **< obstacle explicite >** : ce critère est sélectionné lorsque les obstacles sont explicitement pris en compte par le modèle météorologique.
- **< groupe d'obstacles >** : ce critère est sélectionné lorsque les effets d'un groupe d'obstacles sont modélisés par le modèle météorologique (modèle de porosité par exemple).

#### 6.2.1.6.2.3. *Stratification atmosphérique*

Les critères suivants permettent de caractériser les différents effets relatifs à la stratification thermique de l'atmosphère, pris en compte par le modèle météorologique :

- **< atmosphère neutre >** : ce critère se rapporte au cas d'une atmosphère adiabatique.
- **< atmosphère stable >** : ce critère se rapporte au cas d'une atmosphère thermiquement stable.
- **< atmosphère convective >** : ce critère se rapporte au cas d'une atmosphère thermiquement instable.
- **< brise de vallée >** : ce critère se rapporte au cas spécifique des écoulements atmosphériques d'origine thermique en milieu montagneux.
- **< brise de mer >** : ce critère se rapporte au cas spécifique des écoulements atmosphériques d'origine thermique en bordure de mer ou tout autre grande surface d'eau (lac par exemple).
- **< îlot de chaleur urbain >** : ce critère se rapporte au cas spécifique des écoulements atmosphériques d'origine thermique en milieu urbain (différences thermiques entre les milieux ruraux et urbains).

#### 6.2.1.6.2.4. *Modèle de sol*

Les critères suivants indiquent quels sont les modèles de sol implémentés dans le modèle météorologique :

- **< sol hétérogène >** : ce critère est sélectionné lorsque le modèle prend en compte différents types de sol.
- **< échange de chaleur >** : ce critère est sélectionné lorsque le modèle prend en compte les échanges de chaleur au niveau du sol.
- **< échange d'humidité >** : ce critère est sélectionné lorsque les échanges d'humidité au niveau du sol sont pris en compte (évaporation/condensation, flux dans le sol).

#### 6.2.1.6.2.5. *Humidité atmosphérique*

Les critères suivants permettent de préciser quelles sont les différentes modélisations relatives à la présence d'eau dans l'atmosphère prises en compte par le modèle météorologique :

- **< atmosphère humide >** : ce critère est sélectionné lorsque l'humidité atmosphérique est pris en compte.
- **< microphysique des nuages >** : ce critère est sélectionné lorsque la microphysique des nuages est prise en compte.
- **< précipitations >** : ce critère est sélectionné lorsque les précipitations atmosphériques sont prises en compte.

### 6.2.1.7. Informations sur la validation du modèle

Les critères suivants permettent de spécifier le type de validation du modèle :

- **< aucune validation >** : ce critère est sélectionné lorsque aucune validation du modèle n'a été réalisée.
- **< validation en soufflerie >** : ce critère est sélectionné lorsque la validation du modèle a été réalisée en soufflerie.
- **< campagne de terrain >** : ce critère est sélectionné lorsque la validation du modèle a été réalisée au moyen de campagne de mesures sur le terrain.
- **< inter-comparaison de modèles >** : ce critère est sélectionné lorsqu'une inter-comparaison de modèles a été effectuée.

### 6.2.1.8. Informations sur les besoins informatiques

Dans cette partie, nous détaillons les besoins informatiques nécessaires en terme de matériel, système d'exploitation, langage de programmation, interfaces et temps de calcul.

#### 6.2.1.8.1. Type de matériels

Les critères suivants permettent d'identifier le type de matériel sur lequel peut être porté le logiciel :

- **< PC >** : ce critère est sélectionné lorsque le modèle fonctionne sur un PC.
- **< Mac Intosh >** : ce critère est sélectionné lorsque le modèle fonctionne sur un Mac Intosh.
- **< station Unix >** : ce critère est sélectionné lorsque le modèle fonctionne sur une station de travail Unix.
- **< calcul // >** : ce critère est sélectionné lorsque le modèle fonctionne sur un calculateur parallèle.

#### 6.2.1.8.2. Système d'exploitation

Les critères suivants permettent de spécifier le système d'exploitation sur lequel fonctionne le modèle :

- **< DOS >** : ce critère est sélectionné lorsque le système d'exploitation requis est MS-DOS.
- **< Windows >** : ce critère est sélectionné lorsque le système d'exploitation requis est MS-Windows.
- **< Linux >** : ce critère est sélectionné lorsque le système d'exploitation requis peut être Linux.
- **< Unix >** : ce critère est sélectionné lorsque le système d'exploitation requis est Unix.

#### 6.2.1.8.3. Langage de programmation utilisé

Les critères suivants permettent de spécifier le langage de programmation utilisé pour le développement du modèle :

- **< Fortran >** : ce critère est sélectionné lorsque le langage de programmation utilisé est le Fortran.
- **< C >** : ce critère est sélectionné lorsque le langage de programmation utilisé est le C.
- **< autre langage >** : ce critère est sélectionné lorsqu'il s'agit d'un langage de programmation autre que le Fortran ou le C.

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

#### 6.2.1.8.4. *Interface utilisateur*

Les critères suivants permettent de spécifier le type d'interface utilisateur utilisé par le modèle :

- **< aucun (fichiers ASCII) >** : ce critère est sélectionné lorsque les données d'entrée et de sortie du modèle sont spécifiées sous forme de fichiers ASCII.
- **< intégrée >** : ce critère est sélectionné lorsque le modèle intègre une interface utilisateur plus conviviale que des fichiers ASCII.
- **< logiciel post traitement >** : ce critère est sélectionné lorsque le modèle utilise un logiciel externe de post traitement. Dans ce cas, et lorsque l'information est connue, le nom du logiciel est indiqué dans ce champ au format texte.

#### 6.2.1.8.5. *Temps de calcul*

Les critères suivants permettent de spécifier une plage de temps nécessaire au calcul d'un scénario élémentaire. Les critères relatifs au temps de calcul sont donnés à titre indicatif car il est toujours très difficile d'extraire ce genre d'informations des documentations commerciales et techniques dans la mesure où la définition d'un scénario peut beaucoup varier d'une application à l'autre.

- **< <1s/scénario >** : ce critère est sélectionné lorsque le temps de calcul par scénario est inférieur à 1 seconde.
- **< <1mn/scénario >** : ce critère est sélectionné lorsque le temps de calcul par scénario est inférieur à 1 minute.
- **< <1heure/scénario >** : ce critère est sélectionné lorsque le temps de calcul par scénario est inférieur à 1 heure.
- **< >1heure/scénario >** : ce critère est sélectionné lorsque le temps de calcul par scénario est supérieur à 1 heure.

#### 6.2.1.9. *Informations sur les modèles liés*

Certains modèles de dispersion atmosphérique intègrent ou peuvent être interfacés à d'autres modèles spécifiques développés dans un autre contexte (pré-processeur météorologiques, modèles météorologiques 3D, modèles de chimie, ...). Dans ce cas-là et dans la mesure du possible, nous avons renseigné un champ texte permettant de mentionner explicitement le nom de ces modèles comme indiqué ci-après :

- **< modèles liés >** : ce champ texte renseigne sur le nom et le type de modèles spécifiques utilisés.

#### 6.2.1.10. *Références du modèle*

Dans ce champ texte, nous spécifions les principales références du modèle concernant en particulier des articles dans des revues scientifiques sur son développement, son utilisation et sa validation.

### 6.2.2. RECENSEMENT DES MODELES

#### 6.2.2.1. *Introduction*

Les modèles présentés dans les paragraphes suivants ont été recensés dans la littérature scientifique et sur plusieurs sites internet qui inventorient des modèles de dispersion comme l'« Environment Protection Agency » aux Etats-Unis ou l'« European Environment Agency » en

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

Europe. Pour chaque modèle présenté, nous avons également recherché les sites internet du concepteur afin de pouvoir récupérer les informations les plus récentes. L'ensemble des informations ainsi recueillies, nous a permis de construire une base de données sur les modèles dans laquelle nous avons essayé de renseigner au mieux les critères définis dans les paragraphes précédents.

Dans notre recherche, nous avons pris un spectre large dans le choix des modèles afin de bien mettre en évidence toute la diversité d'approches qui existe dans le domaine de la modélisation de la dispersion atmosphérique. Les modèles ainsi retenus concernent donc autant des outils opérationnels que des modèles de recherche encore en développement dans les universités, des modélisations de l'échelle globale à l'échelle locale, etc. Il est cependant clair que l'inventaire que nous avons réalisé est loin d'être exhaustif et que les renseignements apportés nécessiteront une vérification auprès des auteurs.

### **6.2.2.2. Les modèles de l'Environmental Protection Agency**

Le site internet consulté est celui du « Support Center for Regulatory Air Models » (SCRAM) de l'« Environmental Protection Agency » (EPA) qui se trouve à l'adresse suivante :

<http://www.epa.gov/scram001/>

Ce site constitue une source d'informations très complète sur les modèles de dispersion atmosphérique utilisés aux Etats-Unis pour répondre aux exigences réglementaires en matière de qualité de l'air. L'EPA met à jour régulièrement un guide sur les modèles de dispersion atmosphérique (EPA, 2001) qui comprend en particulier la liste des modèles recommandés par l'EPA ainsi que leurs conditions d'utilisation. Elle met également régulièrement à jour une liste de modèles alternatifs, susceptibles de remplacer les modèles « réglementaires » et provenant de diverses origines. La dernière mise à jour de ce guide s'est effectuée sur la base de la conférence internationale (« 7th Conference on Air Quality Modeling ») qui s'est tenue en juin 2000 à Washington. Ces mises à jour reposent en particulier sur les collaborations qu'entretient l'EPA avec la communauté scientifique (American Meteorological Society) et sur l'analyse de nouveaux modèles alternatifs. Les modèles de l'EPA sont libres d'accès. Ils peuvent être téléchargés à partir de l'adresse internet indiquée ci-dessus ainsi que l'ensemble de la documentation technique. Les programmes sources sont écrits en Fortran et ne disposent pas d'interfaces « utilisateur ». Il existe cependant des versions commerciales de la plupart de ces modèles, distribuées par des sociétés privées qui ont développé des interfaces beaucoup plus conviviales, ce qui facilite beaucoup leur utilisation. Parmi ces sociétés privées, on peut citer les suivantes :

- Lakes Environmental : <http://www.lakes-environmental.com/>
- Trinity Consultants : <http://www.aermod.com/default.htm>
- Pacific Environmental Services Inc. : <http://home.pes.com/disper.html>
- Air dispersion modeling Inc : <http://www.air-dispersion-model.com/html/air-quality.html>
- Earth Sciences Software : <http://www.rockware.com/catalog/pages/iscaermod.html>
- Bee-line software : <http://www.beeline-software.com/>
- Environmental Software and Services : <http://www.ess.co.at/AIRWARE/>

### **6.2.2.3. La base de données de l'European Environment Agency**

Le site internet du consortium « European Topic Centre on Air Quality » (ETC) de l'« European Environment Agency » (EEA) se trouve à l'adresse suivante :

<http://155.207.20.121/mds/bin/allmodels>

L'ETC a constitué un inventaire de modèles de dispersion atmosphérique répondant à un large champ d'applications (changement climatique, effet de serre, pollution photochimique, pollution industrielle chronique et accidentelle, pollution urbaine, ...). Cette base de données donne une

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

description suffisamment détaillée des modèles pour qu'un utilisateur averti puisse choisir le modèle le mieux adapté à ces besoins. Elle comprend 99 modèles.

#### **6.2.2.4. Les quelques autres sites**

D'autres sites internet proposent également des inventaires de modèles que nous n'avons pas complètement exploités. Les adresses internet de ces différents sites sont les suivantes :

- Programme COST 615 "Database, Monitoring and Modelling of Urban Air Pollution"  
[http://www.mi.uni-hamburg.de/technische\\_meteorologie/cost/cost\\_615/index.html](http://www.mi.uni-hamburg.de/technische_meteorologie/cost/cost_615/index.html)
- Shell Research Ltd. : [http://www.hgssystem.com/user\\_guide/genintro.html](http://www.hgssystem.com/user_guide/genintro.html)
- Universität Freiburg, Meteorologisches Institut :  
[http://www.stadtklima.de/webklima/EN/E\\_1tools.htm](http://www.stadtklima.de/webklima/EN/E_1tools.htm)
- Environmental Software and Services : <http://www.ess.co.at/GAIA/models/aria.htm>
- Office of the Federal Coordinator for Meteorological services and supporting research :  
[http://www.ofcm.gov/atd\\_dir/pdf/frontpage.htm](http://www.ofcm.gov/atd_dir/pdf/frontpage.htm)

### **6.3. DESCRIPTION DES MODELES**

Nous avons recensé à ce jour 82 modèles couvrant une large gamme d'étude du transport et de la dispersion de polluants atmosphériques. Cet inventaire de modèles n'est bien entendu pas exhaustif compte tenu du grand nombre de modèles existants dans le monde, provenant des laboratoires de recherche, des sociétés d'ingénierie, des industriels etc... A cela, il faut rajouter les projets associant un ensemble de modèles existants (modèle météorologique, modèle de dispersion, modèle de chimie, ...) pour constituer un nouveau modèle répondant à des objectifs précis, ou encore les filiations de modèles. Cet inventaire donne cependant un aperçu suffisamment large des outils actuellement disponibles pour répondre à la problématique de la modélisation du transport et de la dispersion des polluants atmosphériques. Les modèles recensés sont dans un premier temps classés en fonction des trois principaux types d'approche de modélisation de la dispersion retenue, à savoir, les modèles gaussiens, eulériens et lagrangien (chapitre 6.3). Dans un deuxième temps, nous présentons des tableaux de synthèse permettant de classer les modèles pour quelques uns des critères retenus précédemment (chapitre 06.4).

#### **6.3.1. MODELES GAUSSIENS**

##### **6.3.1.1. Rappel des hypothèses et du champ d'application**

Comme nous l'avons déjà décrit dans le paragraphe 2.3.1, les fondements théoriques des modèles gaussiens reposent sur la solution analytique gaussienne de l'équation d'advection-diffusion dans le cas d'un rejet ponctuel. Il est en effet possible, en effectuant un certain nombre d'hypothèses simplificatrices, d'exprimer la distribution de concentration induite par un rejet instantané et ponctuel d'une masse de polluants connue par une relation gaussienne. A partir de cette relation, il est également possible d'exprimer l'évolution en fonction du temps des écarts-types de la distribution de concentration. Même si les hypothèses théoriques à l'origine de cette relation ne sont généralement pas complètement vérifiées, il a été constaté expérimentalement que cette relation gaussienne décrivait relativement bien le comportement d'un panache de polluants. Par contre, il est nécessaire de fournir une paramétrisation des écarts-types de dispersion au fur et à mesure de l'accroissement du panache. C'est en général par l'intermédiaire d'une paramétrisation empirique ou théorique des



Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

écarts-types de dispersion que seront pris en compte les principaux phénomènes atmosphériques ou effets d'obstacles.

Les modèles gaussiens sont applicables dans un domaine compris entre quelques centaines de mètres de la source et des distances de l'ordre d'une cinquantaine de kilomètres. Ils peuvent reproduire sous certaines conditions des effets atmosphériques liés en particulier à la stratification thermique de l'atmosphère et des effets d'obstacles. Ils peuvent également reproduire des effets relatifs à la variabilité météorologique, soit explicitement à partir des mesures météorologiques, soit implicitement sur la base de paramétrisations de la turbulence atmosphérique. Ces modèles sont en général bien adaptés à l'étude d'un grand nombre de cas et répondent bien aux exigences réglementaires en terme de performances, de temps calcul et de coût d'utilisation. Dans l'inventaire qui suit, nous avons distingué les modèles de panache gaussien des modèles à bouffées gaussiennes.

### 6.3.1.2. Inventaire

#### 6.3.1.2.1. Modèles de panache gaussien

ADMS	IFDM	RAM
AERMOD	ISC3	RIMPUFF
AEROPOL	ISC-PRIME	RPM-IV
ARIA IMPACT	LONGZ	SAFE-AIR
BLP	MODIM	SCSTER
CALINE3	OCD	SDM
CTDMPLUS	OML	SHORTZ
DISPERSION	PAL2.1	Simple Line-Source Model
ERT	PLUIMPLUS	STACKS
IBJplume	PLUVUE II	SYMOS97

Tableau 18 -Liste des modèles de panache gaussien.

#### 6.3.1.2.2. Modèles à bouffées gaussiennes

CALPUFF	LED	SAFE-AIR
EPISODE	MTDDIS	SCIPUFF
INPUFF-U	PPM	SMOG

Tableau 19 -Liste des modèles à bouffées gaussiennes

### 6.3.2. MODELES NUMERIQUES EULERIENS TRIDIMENSIONNELS

#### 6.3.2.1. Rappel des hypothèses et du champ d'application

Comme nous l'avons déjà décrit dans le paragraphe 2.3.3, les approches eulériennes sont basées sur une résolution numérique de l'équation d'advection-diffusion discrétisée en temps et espace. Ceci suppose que l'on associe à cette équation des conditions initiales en temps et des conditions aux limites du domaine spatial. Cela suppose également que l'on connaisse la vitesse et la turbulence en tout point du maillage choisi. En général, les champs de vitesse et de

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

turbulence sont obtenus en utilisant un modèle d'écoulement résolvant par une méthode eulérienne les équations du mouvement. Il est donc clair ici, que la qualité des résultats de concentration dépend du modèle de dispersion, mais également du modèle d'écoulement et plus particulièrement de la paramétrisation de la turbulence. Rappelons que les méthodes classiques de paramétrisation de la turbulence, utilisant un coefficient de diffusivité turbulente, sont mal adaptées au proche voisinage des sources. Les approches eulériennes demandent des temps de calcul relativement importants et nécessitent une résolution globale dans tout l'espace, même si l'on ne s'intéresse qu'à la concentration en quelques points. Elles ne sont par conséquent pas adaptées à l'étude d'un grand nombre de cas comme le nécessitent la plupart des études d'impact. Par contre, les approches eulériennes permettent de tenir compte de toute la complexité du champ de vitesse et de la cinétique des rejets. Elles permettent également pour une même espèce transportée, de traiter un grand nombre de sources sans pour cela augmenter le temps de calcul.

### 6.3.2.2. Inventaire

ADREA	HYPACT-RAMS	MODIM
ARIA LOCAL	IMSM	MOGUNTIA
ARIA REGIONAL	MAP	MUSE
CALGRID	MARS	REMOTA
CAMx	MEMO	TAPM
CFX-TASCflow	MERCURE	UAM-IV
Drag&Fly-AIR	METPHOMOD	UAM-V
EPISODE	METRAS	WINDVALLEY
FLUIDYN PANACHE	MIMO	WinMISKAM

Tableau 20 -Liste des modèles eulériens.

### 6.3.3. MODELES LAGRANGIENS

#### 6.3.3.1. Rappel des hypothèses et du champ d'application

Comme nous l'avons décrit dans le paragraphe 2.3.2, les modèles lagrangiens sont basés sur l'observation du caractère apparemment aléatoire du mouvement des particules fluides et par conséquent de l'espèce polluante, dans un écoulement turbulent. Chaque particule passant par le point de rejet suit ainsi une trajectoire chaotique. Pour prévoir le comportement moyen d'un panache de polluants, il faut donc étudier les trajectoires d'un grand nombre de particules passant par la source et en effectuer une moyenne d'ensemble. Dans ces modèles lagrangiens, il est nécessaire d'avoir recours à des modélisations complémentaires pour pouvoir prendre en compte des parois, un gradient de turbulence et les fluctuations de concentration. Ces modèles ne permettent pas de traiter un grand nombre de sources (le temps de calcul est proportionnel au nombre de sources) et des séries temporelles trop longues. Il existe également des difficultés pour introduire la chimie. Par contre, ils sont très bien adaptés à toute la durée du rejet et notamment au proche voisinage de la source. Ils permettent de traiter des rejets instantanés ou continu, variable dans le temps ainsi que n'importe quel type d'écoulement.

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

### 6.3.3.2. Inventaire

AUSTAL2000	IBJparticle	RADM
DIPCOT	LADM	SPRAY
FLEXPART	LASAT	TAMOS-D
FLUIDYN PANACHE	MAP	TAPM
HOTMAC / RAPTAD	MILORD	
HYPACT-RAMS	PPM	

Tableau 21 -Liste des modèles lagrangiens.

## 6.4. CLASSIFICATIONS SELON LES DIFFERENTS CRITERES

Dans les paragraphes suivants, nous proposons une classification des modèles par critère. La totalité des critères détaillés dans le paragraphe 6.2.1 n'a pas pu être retenue dans la mesure où la plupart des modèles n'ont pas pu être détaillés avec autant de finesse. La classification présentée repose donc essentiellement sur les critères les plus souvent documentés, sachant que les modèles insuffisamment renseignés en seront inévitablement exclus.

### 6.4.1. ECHELLES SPATIALES CONSIDEREES

La classification proposée pour les échelles spatiales couvrent l'ensemble des critères définis dans le paragraphe 6.2.1.2.3.1 (**< locale >** **< sub-méso >** **< régionale >** **< continentale >**). Rappelons ici, que la modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques chroniques d'un site industriel concerne en général un domaine d'étude allant de la source jusqu'à une distance de l'ordre de 50 à 100 kilomètres. Les échelles spatiales concernées sont donc plutôt l'échelle locale et l'échelle urbaine.

#### 6.4.1.1. Les échelles locales

Les échelles locales concernant des domaines inférieurs à 5 kilomètres. Les modèles que nous avons recensés dans cette catégorie sont placés dans le tableau ci-dessous.

ADMS	EPISODE	MARS	RIMPUFF
AERMOD	ERT	MEMO	SAFE-AIR
AEROPOL	FLUIDYN PANACHE	MERCURE	SCSTER
ARIA IMPACT	IBJodor	MIMO	SDM
ARIA LOCAL	IBJparticle	MODIM	SHORTZ
AUSTAL2000	IBJplume	OCD	Simple Line-Source
AUSTAL-PC	IBJpluris	OML	SMOG
BLP	IFDM	OND-86	SPRAY
CALINE3	INPUFF-U	OPANA	STACKS
CALPUFF	ISC3	PAL2.1	SYMOS97
CFX-TASCflow	ISC-PRIME	PLUIMPLUS	TAPM
CTDMPLUS	LADM	PLUVUE II	WINDVALLEY
DIPCOT	LASAT	PPM	WinMISKAM
DISPERSION	LONGZ	RADM	
Drag&Fly-AIR	MAP	RAM	

Tableau 22 -Liste des modèles adaptés à l'échelle locale.

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

#### 6.4.1.2. Les échelles sub-méso

Les échelles sub-méso concernent des domaines de l'ordre de 50 kilomètres. Dans cette catégorie de modèles, nous retrouvons généralement une partie des modèles des échelles locale et régionale. Les modèles que nous avons recensés dans cette catégorie sont placés dans le tableau ci-dessous.

ADMS	Drag&Fly-AIR	MERCURE	SCIPUFF
ADREA	EPISODE	METPHOMOD	SCSTER
AERMOD	FLUIDYN PANACHE	METRAS	SDM
AEROPOL	HOTMAC / RAPTAD	MIMO	SHORTZ
ARIA IMPACT	IBJparticle	MODIM	SMOG
ARIA REGIONAL	IBJplume	MTDDIS	SPRAY
AUSTAL2000	IFDM	OCD	STACKS
AUSTAL-PC	ISC3	OML	SYMOS97
BLP	ISC-PRIME	OND-86	TAPM
CALINE3	LADM	OPANA	UAM-IV
CALPUFF	LASAT	PPM	UAM-V
CAMx	LONGZ	RADM	WINDVALLEY
CTDMPLUS	MAP	RAM	WinMISKAM
DIPCOT	MARS	RIMPUFF	
DISPERSION	MEMO	SAFE-AIR	

Tableau 23 - Liste des modèles adaptés à l'échelle sub-méso.

#### 6.4.1.3. Les échelles régionales

Les échelles régionales concernent des domaines de l'ordre de 500 à 1000 kilomètres. Les modèles développés à cette échelle sont en général orientés vers l'étude du transport, de la dispersion et des transformations chimiques des polluants atmosphériques au niveau d'une région (formation et transport de l'ozone troposphérique, pluie acide, ...). Ils prennent souvent en compte la topographie du terrain et les obstacles sont en général modélisés par une rugosité au niveau du sol. Les modèles que nous avons recensés dans cette catégorie sont placés dans le tableau ci-dessous.

ADREA	HOTMAC / RAPTAD	MEMO	REMOTA
ARIA REGIONAL	HYPACT-RAMS	MERCURE	RIMPUFF
AUSTAL2000	IMSM	METPHOMOD	SCIPUFF
CALGRID	LADM	METRAS	SPRAY
CALPUFF	LASAT	MM5	TAPM
CAMx	LED	MTDDIS	UAM-IV
DIPCOT	MAP	MUSE	UAM-V
EPISODE	MARS	OPANA	

Tableau 24 - Liste des modèles adaptés à l'échelle régionale.

#### 6.4.1.4. Les échelles continentales

Les échelles continentales ou globales ne rentrent pas directement dans le cadre de cette étude et les informations présentées ici sont données à titre indicatif. Ces échelles concernent des

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

distances caractéristiques supérieures à 1000 kilomètres. Les écoulements atmosphériques à cette échelle sont principalement associés aux phénomènes synoptiques. Les modèles développés dans ce domaine s'intéressent donc principalement aux transports et aux transformations chimiques des polluants sur de grandes distances. Ils concernent en particulier le transport d'espèces radioactives à grande échelle dont un triste exemple est l'accident de la centrale nucléaire de Tchernobyl. Ils sont également orientés vers l'étude des changements climatiques (réchauffement de la planète par exemple). Les principaux modèles 3D sont CTMK (Royal Netherlands Meteorological Institute), ECHAM (Wageningen University), EMEP/MSC-W (Norwegian Meteorological Institute), IMAGES (Belgian Institute for Space and Aeronomy), MOGUNTIA (Stockholm University), STOCHEM (UK Met Office), 3D OSLO (University of Oslo).

Parmi les modèles retenus dans cette étude, certains peuvent être utilisés à cette échelle. La liste des modèles est donnée ci-dessous.

FLEXPART	MILORD	SCIPUFF
IMSM	MM5	
LED	MOGUNTIA	

Tableau 25 - Liste des modèles adaptés à l'échelle continentale.

#### 6.4.2. ECHELLES TEMPORELLES CONSIDEREES

Dans ce paragraphe, nous allons distinguer les modèles capables de traiter des situations sur le court terme, typiquement de l'ordre de l'heure, des modèles répondant à des situations plutôt sur le long terme, typiquement de l'ordre de l'année. Il est bien entendu que les modèles « courts termes » peuvent apporter des informations moyennes ou des percentiles sur des périodes plus longues, d'une année voire plus. Le problème sous jacent est souvent le temps de calcul, notamment pour des approches eulériennes.

Les modèles de type « court terme » sont reportés dans le tableau ci-dessous.

ADMS	Drag&Fly-AIR	METPHOMOD	RPM-IV
ADREA	EPISODE	METRAS	SAFE-AIR
AERMOD	ERT	MILORD	SCIPUFF
AEROPOL	FLUIDYN PANACHE	MIMO	SCSTER
ARIA IMPACT	HOTMAC / RAPTAD	MM5	SDM
ARIA LOCAL	HYPACT-RAMS	MODIM	SHORTZ
ARIA REGIONAL	IBJparticle	MTDDIS	Simple Line-Source Model
AUSTAL2000	IMSM	MUSE	SMOG
AUSTAL-PC	INPUFF-U	OCD	SPRAY
BLP	ISC3	OML	STACKS
CALGRID	ISC-PRIME	OND-86	TAPM
CALINE3	LADM	PAL2.1	UAM-IV
CALPUFF	LASAT	PLUVUE II	UAM-V
CAMx	LED	PPM	WINDVALLEY
CFX-TASCflow	MAP	RADM	WinMISKAM
CTDMPLUS	MARS	RAM	
DIPCOT	MEMO	REMOTA	
DISPERSION	MERCURE	RIMPUFF	

Tableau 26 - Liste des modèles de type « court terme ».

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

Les modèles de type « long terme » sont reportés dans le tableau ci-dessous.

LONGZ	PLUIMPLUS	SYMOS97
-------	-----------	---------

Tableau 27 -Liste des modèles de type « long terme ».

### 6.4.3. PHENOMENES PRIS EN COMPTE

#### 6.4.3.1. Les effets de relief

La prise en compte du relief dans l'ensemble des modèles recensés est spécifiée dans le Tableau 28 ci-après en regard des différents types de modélisation. Un premier critère intitulé *Critère global*, permet de spécifier globalement si le modèle tient compte du relief. En général, il existe deux méthodes distinctes pour tenir compte du relief. Une première méthode qui consiste à modéliser l'écoulement au-dessus du relief (intitulée *champ météo* dans le Tableau 28). Une deuxième méthode qui consiste à reproduire les effets du relief sur le champ de dispersion sans modéliser l'écoulement (intitulée *Modèle spécifique* dans le Tableau 28). Ces deux méthodes présentent une assez forte corrélation avec le type de modèle, sans toutefois constituer une règle absolue. Les modèles gaussiens sont souvent associés à un modèle spécifique capable de paramétrer les effets d'un relief idéalisé simple (une colline, une vallée) au moyen de critères bien identifiés comme par exemple le rapport entre la hauteur du rejet et celle du relief. Mais ils peuvent aussi être associés à des modèles météorologiques de type diagnostique qui permettent de décrire le champ d'écoulement au-dessus d'un relief simplifié. Les modèles eulériens et lagrangiens sont le plus souvent associés à des champs météorologiques obtenus par des modèles de types pronostique ou diagnostique. Mais ils peuvent également s'appuyer sur des modèles spécifiques internes.

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

ACRONYME	Types de modélisation			Prise en compte du relief		
	Gaussien	Eulérien	Lagrangien	Critère global	Champ météo	Modèle spécifique
ADMS	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ADREA	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
AERMOD	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
AEROPOL	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ARIA IMPACT	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
ARIA LOCAL	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ARIA REGIONAL	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
AUSTAL2000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
AUSTAL-PC	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
BLP	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CALGRID	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CALINE3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CALPUFF	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
CAMx	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CFX-TASCflow	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CTDMPLUS	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
DIPCOT	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
DISPERSION	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Drag&Fly-AIR	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
EPISODE	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ERT	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
FLEXPART	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
FLUIDYN PANACHE	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
HOTMAC / RAPTAD	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
HYPACT-RAMS	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
IBJodor	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
IBJparticle	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
IBJplume	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
IBJpluris	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
IFDM	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
IMSM	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
INPUFF-U	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ISC3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ISC-PRIME	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
LADM	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
LASAT	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
LED	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
LONGZ	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
MAP	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

ACRONYME	Types de modélisation			Prise en compte du relief		
	Gaussien	Eulérien	Lagrangien	Critère global	Champ météo	Modèle spécifique
MARS	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
MEMO	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MERCURE	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
METPHOMOD	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
METRAS	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MILORD	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MIMO	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MM5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	nd	nd
MODIM	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MOGUNTIA	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	nd	nd
MTDDIS	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MUSE	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	nd	nd
OCD	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ODO-FMI	nd	nd	nd	nd	nd	nd
OML	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
OND-86	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
OPANA	nd	nd	nd	nd	nd	nd
PAL2.1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PLUIMPLUS	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nd	nd	nd
PLUVUE II	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PPM	<input checked="" type="checkbox"/>	nd	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
RADM	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
RAM	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
REMOTA	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
RIMPUFF	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
RPM-IV	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SAFE-AIR	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SCIPUFF	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	nd
SCSTER	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
SDM	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SHORTZ	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Simple Line-Source Model	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SMOG	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SPRAY	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
STACKS	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nd	<input type="checkbox"/>	nd
SYMOS97	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
TAMOS-D	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	nd	nd	nd
TAPM	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
UAM-IV	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
UAM-V	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
UDM-FMI	nd	nd	nd	nd	nd	nd
WINDVALLEY	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>



Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

ACRONYME	Types de modélisation			Prise en compte du relief		
	Gaussien	Eulérien	Lagrangien	Critère global	Champ météo	Modèle spécifique
WinMISKAM	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nd	nd	nd

Tableau 28 - Prise en compte du relief dans l'ensemble des modèles recensés en regard des différents types de modélisation ( option sélectionnée,  option non sélectionnée, nd option non définie).

Dans le tableau ci-après, nous spécifions les modèles identifiés comme pouvant prendre en compte des effets de relief de montagne.

ADREA	HOTMAC / RAPTAD	MERCURE	MM5
CALPUFF	LASAT	METPHOMOD	TAPM
EPISODE	MAP	METRAS	

Tableau 29 - Liste des modèles prenant en compte des reliefs de montagne.

#### 6.4.3.2. Les effets d'obstacles

La prise en compte des obstacles dans l'ensemble des modèles recensés est spécifiée dans le Tableau 30 ci-après en regard des différents types de modélisation. Un premier critère intitulé *Critère global*, permet de spécifier globalement si le modèle tient compte des obstacles. Comme dans le cas de la prise en compte des reliefs, il existe deux méthodes distinctes pour tenir compte de l'effet des obstacles sur le champ de dispersion. Une première méthode qui consiste à modéliser complètement l'écoulement autour des obstacles (intitulée *champ de vent* dans le Tableau 30). Une deuxième méthode qui consiste à reproduire l'effet des obstacles sur le champ de dispersion par un *modèle spécifique* (dilution initiale du panache, source virtuelle, ...).

ACRONYME	Types de modélisation			Prise en compte des obstacles		
	Gaussien	Eulérien	Lagrangien	Critère global	Champ de vent	Modèle spécifique
ADMS	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
ADREA	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
AERMOD	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
AEROPOL	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
ARIA IMPACT	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ARIA LOCAL	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ARIA REGIONAL	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nd	nd	<input type="checkbox"/>
AUSTAL2000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	nd	nd
AUSTAL-PC	nd	nd	nd	<input checked="" type="checkbox"/>	nd	nd
BLP	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
CALGRID	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CALINE3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
CALPUFF	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
CAMx	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	nd	nd
CFX-TASCflow	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
CTDMPLUS	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
DIPCOT	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
DISPERSION	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

ACRONYME	Types de modélisation			Prise en compte des obstacles		
	Gaussien	Eulérien	Lagrangien	Critère global	Champ de vent	Modèle spécifique
Drag&Fly-AIR	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
EPISODE	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nd	nd	nd
ERT	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
FLEXPART	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	nd	nd	nd
FLUIDYN PANACHE	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	nd
HOTMAC / RAPTAD	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	nd	nd	nd
HYPACT- RAMS	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	nd	nd	nd
IBJodor	nd	nd	nd	nd	nd	nd
IBJparticle	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	nd	nd	nd
IBJplume	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nd	nd	nd
IBJpluris	nd	nd	nd	nd	nd	nd
IFDM	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
IMSM	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nd	nd	nd
INPUFF-U	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ISC3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
ISC-PRIME	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
LADM	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
LASAT	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	nd
LED	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nd	nd	nd
LONGZ	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nd	nd	nd
MAP	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MARS	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MEMO	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MERCURE	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
METPHOMOD	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
METRAS	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MILORD	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MIMO	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MM5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nd	nd	nd
MODIM	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MOGUNTIA	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nd	nd	nd
MTDDIS	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MUSE	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nd	nd	nd
OCD	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
ODO-FMI	nd	nd	nd	nd	nd	nd
OML	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
OND-86	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nd	<input type="checkbox"/>	nd
OPANA	nd	nd	nd	nd	nd	nd
PAL2.1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
PLUIMPLUS	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nd	nd	nd
PLUVUE II	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

ACRONYME	Types de modélisation			Prise en compte des obstacles		
	Gaussien	Eulérien	Lagrangien	Critère global	Champ de vent	Modèle spécifique
PPM	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
RADM	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
RAM	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
REMOTA	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
RIMPUFF	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
RPM-IV	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
SAFE-AIR	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
SCIPUFF	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SCSTER	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SDM	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SHORTZ	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Simple Line-Source Model	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SMOG	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SPRAY	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
STACKS	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
SYMOS97	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
TAMOS-D	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
TAPM	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
UAM-IV	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
UAM-V	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
UDM-FMI	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
WINDVALLEY	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
WinMISKAM	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Tableau 30 - Prise en compte des obstacles dans l'ensemble des modèles recensés en regard des différents types de modélisation ( option sélectionnée,  option non sélectionnée,  option non définie).

#### 6.4.3.3. Les effets de la stratification atmosphérique

Dans le Tableau 31 ci-après, nous avons placé des informations relatives à la prise en compte des effets de la stratification atmosphérique dans les modèles, toujours en regard des différents types de modélisation. D'une manière générale, rappelons que les effets de la stratification thermique dans les modèles sont pris en compte par les coefficients de diffusion (écarts-types de dispersion pour les modèles gaussiens, diffusivité turbulente pour les modèles eulériens, temps lagrangien pour les modèles lagrangiens). Dans le cas des modèles gaussiens, nous avons distingué les coefficients de dispersion définis par classe (première génération de modèle) de ceux définis continûment (modèles gaussiens de nouvelle génération). Nous avons également spécifié dans ce tableau, les principaux phénomènes physiques reproduits par les modèles en relation avec la stratification thermique de l'atmosphère (brise de mer et effets liés à la couche d'inversion).

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

ACRONYME	Types de modélisation			Prise en compte de la stratification thermique			Principaux phénomènes physiques reproduits			
	Gaussien	eulérien	lagrangien	Champ météo 3D	Paramétrisation des coefficients de dispersion		Brise de mer	Effets liés à la couche d'inversion		
					classe	continu		réflexion	pénétration	fumigation
ADMS	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
ADREA	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	nd	nd	nd
AERMOD	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
AEROPOL	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	nd	nd
ARIA IMPACT	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nd	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ARIA LOCAL	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nd	nd	nd	nd
ARIA REGIONAL	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	nd	nd	nd
AUSTAL2000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
AUSTAL-PC	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
BLP	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CALGRID	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nd	nd	nd
CALINE3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nd	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CALPUFF	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
CAMx	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nd	nd	nd
CFX-TASCflow	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nd	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CTDMPLUS	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
DIPCOT	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	nd	nd
DISPERSION	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	nd
Drag&Fly-AIR	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	nd	nd	nd	nd	nd	nd
EPISODE	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nd	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nd	nd	nd	nd
ERT	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
FLEXPART	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
FLUIDYN PANACHE	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nd	<input checked="" type="checkbox"/>	nd	nd	nd
HOTMAC / RAPTAD	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	nd	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
HYPACT-RAMS	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nd	nd	nd	nd
IBJodor	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
IBJparticle	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
IBJplume	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
IBJpluris	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
IFDM	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nd	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nd	nd	nd
IMSM	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
INPUFF-U	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nd	<input checked="" type="checkbox"/>	nd	<input type="checkbox"/>	nd	nd	nd
ISC3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ISC-PRIME	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
LADM	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	nd	nd	<input checked="" type="checkbox"/>
LASAT	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	nd	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nd	nd	nd	nd
LED	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nd	nd	nd	<input type="checkbox"/>	nd	nd	nd

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

ACRONYME	Types de modélisation			Prise en compte de la stratification thermique			Principaux phénomènes physiques reproduits			
	Gaussien	eulérien	lagrangien	Champ météo 3D	Paramétrisation des coefficients de dispersion		Brise de mer	Effets liés à la couche d'inversion		
					classe	continu		réflexion	pénétration	fumigation
LONGZ	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MAP	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
MARS	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MEMO	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MERCURE	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
METPHOMO D	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
METRAS	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MILORD	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MIMO	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MM5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MODIM	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MOGUNTIA	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MTDDIS	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MUSE	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
OCD	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
ODO-FMI	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
OML	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
OND-86	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
OPANA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PAL2.1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PLUIMPLUS	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PLUVUE II	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PPM	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
RADM	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
RAM	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
REMOTA	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
RIMPUFF	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
RPM-IV	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SAFE-AIR	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SCIPUFF	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
SCSTER	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SDM	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
SHORTZ	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Simple Line-Source Model	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SMOG	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SPRAY	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
STACKS	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SYMOS97	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
TAMOS-D	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

ACRONYME	Types de modélisation			Prise en compte de la stratification thermique			Principaux phénomènes physiques reproduits			
	Gaussien	eulérien	lagrangien	Champ météo 3D	Paramétrisation des coefficients de dispersion		Brise de mer	Effets liés à la couche d'inversion		
					classe	continu		réflexion	pénétration	fumigation
TAPM	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	nd	nd	nd	<input checked="" type="checkbox"/>	nd	nd	nd
UAM-IV	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nd	nd	nd
UAM-V	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nd	nd	nd
UDM-FMI	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
WINDVALLEY	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nd	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nd	nd	nd
WinMISKAM	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nd	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nd	nd	nd	nd

Tableau 31 - Prise en compte de la stratification thermique de l'atmosphère dans les modèles recensés en regard des types de modélisation ( option sélectionnée,  option non sélectionnée, nd option non définie).

#### 6.4.3.4. Bilan des autres phénomènes physiques pris en compte

Dans le Tableau 32 suivant, nous avons rassemblé des informations relatives aux différents phénomènes physiques reproduits par les modèles, autres que ceux relatifs aux terrains complexes (relief et obstacles) et à la stratification de l'atmosphère. Les phénomènes physiques représentés ici sont les phénomènes de dépôts au sol (dépôt sec, dépôt humide, particules), la chimie, la visibilité des panaches (panache de condensation par exemple), les fluctuations atmosphériques, souvent associées au problème d'odeurs et les situations de vent calme.

ACRONYME	Dépôts		Particules	Chimie		Visibilité des panaches	Fluctuations atmosphériques	Vent calme
	Sec	Humide		panache	atmosph.			
ADMS	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ADREA	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	nd	nd	nd
AERMOD	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
AEROPOL	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nd
ARIA IMPACT	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
ARIA LOCAL	nd	nd	<input checked="" type="checkbox"/>	nd	nd	nd	nd	nd
ARIA REGIONAL	nd	nd	nd	nd	<input checked="" type="checkbox"/>	nd	nd	nd
AUSTAL2000	nd	nd	nd	nd	nd	nd	<input type="checkbox"/>	nd
AUSTAL-PC	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
BLP	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CALGRID	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CALINE3	<input checked="" type="checkbox"/>	nd	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CALPUFF	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	nd	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nd
CAMx	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	nd	nd	<input type="checkbox"/>
CFX-TASCflow	nd	nd	nd	nd	nd	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CTDMPLUS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
DIPCOT	<input checked="" type="checkbox"/>	nd	nd	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
DISPERSION	nd	nd	nd	nd	<input checked="" type="checkbox"/>	nd	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Drag&Fly-AIR	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	nd	<input checked="" type="checkbox"/>	nd	nd	nd

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

ACRONYME	Dépôts		Particules	Chimie		Visibilité des panaches	Fluctuations atmosphériques	Vent calme
	Sec	Humide		panache	atmosph.			
EPISODE	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ERT	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
FLEXPART	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
FLUIDYN PANACHE	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
HOTMAC / RAPTAD	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
HYPACT-RAMS	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
IBJodor	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
IBJparticle	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
IBJplume	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
IBJpluris	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
IFDM	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
IMSM	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
INPUFF-U	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ISC3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
ISC-PRIME	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
LADM	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
LASAT	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
LED	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
LONGZ	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MAP	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MARS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MEMO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MERCURE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
METPHOMOD	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
METRAS	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MILORD	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MIMO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MM5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MODIM	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MOGUNTIA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MTDDIS	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MUSE	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
OCD	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ODO-FMI	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
OML	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
OND-86	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
OPANA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PAL2.1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PLUIMPLUS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PLUVUE II	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PPM	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

ACRONYME	Dépôts		Particules	Chimie		Visibilité des panaches	Fluctuations atmosphériques	Vent calme
	Sec	Humide		panache	atmosph.			
RADM	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
RAM	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
REMOTA	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
RIMPUFF	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
RPM-IV	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SAFE-AIR	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
SCIPUFF	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SCSTER	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SDM	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SHORTZ	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Simple Line-Source Model	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SMOG	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SPRAY	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
STACKS	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SYMOS97	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
TAMOS-D	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
TAPM	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
UAM-IV	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
UAM-V	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
UDM-FMI	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
WINDVALLEY	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
WinMISKAM	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Tableau 32 - Tableau récapitulatif des différents phénomènes physiques autres que terrain complexe et stratification atmosphérique, pris en compte par les modèles ( option sélectionnée,  option non sélectionnée,  option non définie).

#### 6.4.4. TYPE DE LICENCE ET COUT

Dans le Tableau 33 suivant nous donnons les quelques informations que nous avons pu recueillir concernant l'accessibilité des logiciels et le coût de la licence d'utilisation. Ces informations sont données à titre indicatif et devront dans tous les cas être vérifiées auprès des fournisseurs de modèles.

ACRONYME	Accessibilité du logiciel			Coût de la licence		
	Libre	Contrôlé	Commerciale	Gratuite	<7500 € HT	>7500 € HT
ADMS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
ADREA	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
AERMOD	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
AEROPOL	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ARIA IMPACT	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
ARIA LOCAL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
ARIA REGIONAL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
AUSTAL2000	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

ACRONYME	Accessibilité du logiciel			Coût de la licence		
	Libre	Contrôlé	Commerciale	Gratuite	<7500 € HT	>7500 € HT
AUSTAL-PC	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
BLP	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CALGRID	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CALINE3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CALPUFF	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CAMx	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CFX-TASCflow	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CTDMPLUS	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
DIPCOT	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
DISPERSION	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Drag&Fly-AIR	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
EPISODE	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ERT	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
FLEXPART	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
FLUIDYN	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PANACHE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
HOTMAC / RAPTAD	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
HYPACT-RAMS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
IBJodor	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
IBJparticle	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
IBJplume	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
IBJpluris	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
IFDM	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
IMSM	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
INPUFF-U	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ISC3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ISC-PRIME	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
LADM	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
LASAT	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
LED	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
LONGZ	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MAP	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MARS	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MEMO	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MERCURE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
METPHOMOD	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
METRAS	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MILORD	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MIMO	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MM5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MODIM	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MOGUNTIA	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MTDDIS	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

ACRONYME	Accessibilité du logiciel			Coût de la licence		
	Libre	Contrôlé	Commerciale	Gratuite	<7500 € HT	>7500 € HT
MUSE	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
OCD	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ODO-FMI	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
OML	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
OND-86	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
OPANA	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PAL2.1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PLUIMPLUS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PLUVUE II	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PPM	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
RADM	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
RAM	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
REMOTA	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
RIMPUFF	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
RPM-IV	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SAFE-AIR	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SCIPUFF	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SCSTER	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SDM	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SHORTZ	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Simple Line-Source Model	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SMOG	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SPRAY	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
STACKS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SYMOS97	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
TAMOS-D	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
TAPM	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
UAM-IV	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
UAM-V	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
UDM-FMI	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
WINDVALLEY	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
WinMISKAM	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Tableau 33 - Informations sur l'accessibilité des logiciels et le coût de la licence d'utilisation ( option sélectionnée,  option non sélectionnée,  option non définie).

## 7. INVENTAIRES DES CAS TESTS

### 7.1. GENERALITES

L'utilisation des cas tests présente un intérêt à plusieurs niveaux :

- *Au niveau du développement des modèles* : il est indispensable pour le développement des modèles d'identifier les processus physiques prépondérants pour le transport et la dispersion des polluants dans le contexte spécifique à étudier. Il est également indispensable de déterminer la sensibilité des paramètres d'influence du problème posé. Pour cela, il faut avoir recours à des expériences bien documentées avec en particulier une bonne connaissance des paramètres d'entrée.
- *Au niveau de la validation des modèles* : une fois le modèle opérationnel, il est nécessaire de le valider sur des applications pour lesquelles il a été développé. Dans ce contexte, il existe en fonction des applications, des exercices de validation qui permettent la validation proprement dite des modèles mais également leur inter-comparaison. Rappelons ici que la principale difficulté rencontrée lorsque l'on compare des résultats de calcul avec des mesures expérimentales de terrain repose sur le fait que les modèles ne reproduisent pas les processus stochastiques de la dispersion atmosphérique mais prédisent plutôt des moyennes d'ensemble. Les comparaisons entre modèles et données de terrain doivent donc obligatoirement tenir compte de cette difficulté.
- *Au niveau de l'utilisation des modèles* : de manière générale, la mise en œuvre opérationnelle d'un modèle pour répondre à un problème spécifique (étude réglementaire par exemple) n'est pas faite par un spécialiste de la dispersion atmosphérique. Il est alors utile d'avoir recours à des cas tests, pas trop éloignés des problèmes à traiter, pour permettre la formation des modélisateurs et pour acquérir une sensibilité suffisante quant aux paramètres importants.

De nombreuses bases de données expérimentales obtenues soit en soufflerie, soit par des campagnes de mesure sur le terrain existent déjà dans la littérature scientifique et couvrent un large spectre d'applications. Dans les paragraphes suivants, nous proposons un inventaire des principales bases de données existantes.

#### 7.1.1. OBJECTIFS

Dans le cadre de ce projet, le premier objectif à réaliser était de recenser les bases de données existantes et disponibles dans la littérature scientifique, qui permettront par la suite de constituer un ensemble de cas tests répondant au problème posé. Le deuxième objectif, était d'identifier les principaux critères à retenir pour la définition des cas tests qui serviront à l'évaluation des modèles retenus mais également à la formation des modélisateurs. Un troisième objectif, sera de déterminer précisément les besoins spécifiques des industriels en matière d'expériences, non totalement couverts par les bases de données existantes.

#### 7.1.2. CRITERES RETENUS POUR L'INVENTAIRE DES BASES DE DONNEES

Compte tenu du très grand nombre d'expériences de dispersion ou de mesures de pollution réalisées dans le passé, il est nécessaire d'effectuer une sélection pour ne retenir que celles ayant un intérêt direct pour la dispersion de rejets industriels chroniques. Pour cela, nous nous

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

sommes appuyés sur les résultats de l'enquête réalisée auprès des industriels pour définir des critères de sélection.

#### **7.1.2.1. Champ d'application**

- *Les échelles spatiales* : on prendra prioritairement en compte les échelles locales et urbaines (distances jusqu'à 50 à 100 kilomètres).
- *Les échelles temporelles* : on considérera le court (mesures horaires par exemple) et le long terme (mesures annuelles).
- *Les grandeurs mesurées* : principalement les mesures de concentration moyenne et les fluctuations de concentration.

#### **7.1.2.2. Terrain complexe**

- *Relief* : Tous les types de relief seront à prendre en compte, en champ proche comme en champ plus lointain. Le plus souvent, les effets de relief sont à rapprocher des conditions d'écoulement atmosphérique (force et direction du vent, stratification thermique de l'atmosphère, ...). Il sera donc recherché des situations de dispersion sur relief pour différentes configurations de stabilité thermique de l'atmosphère.
- *Obstacles* : une analyse plus détaillée des différentes configurations de bâti des sites industriels devra être effectuée afin d'en identifier les principaux critères de caractérisation des conditions de dispersion à l'émission en présence des bâtiments. Cette première analyse permettra d'orienter la recherche de cas tests vers des situations génériques déjà étudiées en soufflerie ou vers des expériences de terrain ou en encore vers la définition de nouvelles expériences en soufflerie ou sur le terrain.

#### **7.1.2.3. Conditions de rejet**

- *Type de rejet* : on considérera des cas de rejets collectés (cheminées basses et en altitude) et d'émissions diffuses (évaporation de nappe, fuites, ...).
- *Emplacement des rejets* : on prendra en compte des situations de rejet interagissant avec un environnement complexe (cheminée sur un site industriel par exemple).
- *Nature de rejet* : gaz et particules.
- *Polluants* : SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, COV, benzène, métaux lourds, ...
- *Conditions de rejet* : surhauteur cinématique et thermique.

### **7.2. INVENTAIRE DES BASES DE DONNEES EXISTANTES**

#### **7.2.1. SOURCE DES DONNEES**

Nous avons principalement recensé des sites internet qui proposaient un inventaire des bases de données existantes. L'intérêt de ces bases de données est d'être déjà orientées vers la validation des modèles de dispersion atmosphérique et pour la plupart de proposer des méthodes d'évaluation des modèles. Il existe bien entendu beaucoup d'autres sources de

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

données dans la littérature scientifique capables de répondre à la validation des modèles. On peut par exemple citer toutes les expériences en soufflerie ou en cuve de convection réalisées par l'EPA qui ont contribué en particulier au développement de la plupart des modèles recommandés par l'EPA au Etats-Unis. Ces expériences se sont notamment intéressées aux problèmes de rabattement de panache, de surhauteur de panache, de pénétration des panaches dans la couche d'inversion, ...

#### **7.2.1.1. European Commission – Joint Research Centre**

La commission européenne a constitué une base de données expérimentales orientée vers la validation des modèles de transport, de dispersion et de chimie atmosphérique pour des applications réglementaires ou de recherche. La base de données intitulée « Datasets for Atmospheric Modelling (DAM) » se trouve à l'adresse suivante :

<http://rtmod.ei.jrc.it/~dam/index.htm>

Les différents jeux de données sont classés par ordre alphabétique. Chaque jeu de données est décrit sommairement (acronyme, localisation, organisme, période des essais, mots clés, description, bibliographie, adresse internet du site des données, personne à contacter et disponibilité des données). Les données rapportées dans cette base ne sont cependant pas toujours disponibles en ligne.

#### **7.2.1.2. National Environmental Research Institute (NERI – Denmark)**

En 1991, la communauté européenne a décidé de lancer une activité visant à accroître la collaboration et la standardisation des modèles de dispersion atmosphérique pour les applications réglementaires. Les modèles de nouvelle génération commençaient en effet à faire leur apparition et il était nécessaire d'organiser de façon coordonnée leur développement et leur validation. Pour cela, il a été décidé d'organiser une série de workshop « *Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes* » pour promouvoir et étendre l'utilisation des modèles de nouvelle génération. De cette initiative a résulté la constitution d'une base de données « Model Validation Kit » pour la validation de ces nouveaux modèles. Cette base de données regroupe en particulier les résultats de quatre expériences (Kincaid, Copenhagen, Lillestrøm et Indianapolis), d'un logiciel pour l'évaluation des modèles et propose une méthodologie d'évaluation. Elle peut être obtenue gratuitement sur simple demande. Pour cela, il faut consulter le site internet suivant :

<http://www.dmu.dk/AtmosphericEnvironment/harmoni.htm>

#### **7.2.1.3. Université de Hamburg**

L'université de Hamburg a constituée plusieurs bases de données regroupant une compilation des principaux résultats d'essais obtenus en soufflerie pouvant être utilisées pour la validation des modèles de dispersion. L'adresse internet du site internet est la suivante :

[http://www.mi.uni-hamburg.de/technische\\_meteorologie/windtunnel/reports\\_data.htm](http://www.mi.uni-hamburg.de/technische_meteorologie/windtunnel/reports_data.htm)

#### **7.2.2. EXPERIENCES DE TERRAIN**

Les bases de données déjà recensées sont :

- DOPPTEX : rejet passif au sol et en hauteur. Mesures horaires de concentration entre 1 et 61 km en aval du rejet.

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

- Geysers California (USA) : rejet au sol dans une vallée. Mesures de concentration au sol entre 0,9 et 6 km en aval du rejet.
- Karlsruhe (Allemagne) : rejet passif à 160 m et 195 m de haut. Mesures de concentration au sol en aval du rejet.
- Model Validation Kit :
  - Kincaid (USA) : rejet à 187 m de haut en zone rurale. Mesures horaires de concentration au sol entre 3 et 20 km en aval du rejet.
  - Copenhagen (Danemark) : rejet à 115 m de haut en zone résidentielle. Mesures de concentration au sol entre 2 et 6 km en aval du rejet.
  - Lillestrom (Norvège) : rejet à 36 m de haut en zone résidentielle. Mesures quart horaires de concentration au sol entre 0 et 1 km en aval du rejet.
  - Indianapolis (USA) : rejet à 84 m de haut. Mesures horaires de concentration au sol entre 0,25 et 12 km en aval du rejet.

### **7.2.3. EXPERIENCES EN SOUFFLERIE**

Les bases de données déjà recensées sont :

- CEDVAL (Compilation of Experimental Data for Validation of Micro Scale Dispersion Models), University de Hamburg
  - Obstacle isolé
  - Alignement d'obstacles
- Expériences de Castro et Robins, Cermak et Meroney sur la dispersion au voisinage d'obstacles

### **7.2.4. BESOINS FUTURS EN MATIERE DE BASES DE DONNEES POUR L'EVALUATION DES MODELES**

Les besoins futurs en matière d'expériences de validation seront dégagés à partir de l'inventaire complet des bases de données existantes.

## 8. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Le projet global proposé sur une période de l'ordre de 3 ans avait comme objectifs initiaux de réaliser un état de l'art sur la modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques des rejets industriels, d'évaluer les modèles sur des cas tests représentatifs de situations industrielles bien identifiées et d'étudier quelques cas génériques des situations les plus courantes. Le travail de la première année avait donc comme objectif de réaliser un état de l'art dans ce domaine. Il a consisté en particulier à introduire les bases théoriques nécessaires à la compréhension des processus physiques relatifs à la dispersion atmosphérique et à leur modélisation, et à établir un état des connaissances scientifiques actuelles. Ce travail a également permis d'établir un inventaire et une classification de modèles de dispersion, sur la base des documentations générales disponibles en particulier sur internet, un bilan des situations industrielles à prendre en compte ainsi qu'un premier inventaire des cas tests.

### 8.1. PARTIE THEORIQUE

Dans les chapitres 2 à 4, nous avons rappelé les éléments théoriques essentiels à la compréhension des processus de transport et de dispersion des polluants atmosphériques dans la basse atmosphère. Le chapitre 2 avait pour objet de présenter les phénomènes physiques, les concepts théoriques et les techniques de modélisation relatifs à la dispersion turbulente. Le problème de la dispersion turbulente a été abordé ici d'un point de vue général, dans un contexte plus large que celui de la dispersion atmosphérique. Ce chapitre a notamment permis d'introduire les notions d'advection et de diffusion d'une substance dans un écoulement fluide. Il a également permis d'introduire les principales approches de modélisation de la dispersion turbulente : les modèles gaussiens, les modèles eulériens, les modèles lagrangiens et la modélisation physique sur maquette en laboratoire. Le chapitre 3 avait pour objet de rappeler quelques notions de météorologie locale, sur un sol plat, sur un relief et en présence d'obstacles. La dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel à cette échelle, est due principalement à l'action du vent et de la turbulence qui transportent et diluent ces polluants. Afin de pouvoir comprendre les mécanismes de dispersion atmosphérique, il était donc nécessaire de rappeler et de décrire les caractéristiques de l'atmosphère et des principaux phénomènes météorologiques. Enfin, le chapitre 4 avait pour objet de présenter un résumé des connaissances théoriques et empiriques sur la dispersion de matière dans les écoulements atmosphériques. Il s'agissait ici de bien comprendre le rôle joué par les différents phénomènes physiques mis en jeu dans la dispersion atmosphérique d'un panache de polluants.

Cette partie théorique donne une description relativement complète des principaux phénomènes physiques qui se trouvent derrière le problème de la modélisation de la dispersion atmosphérique à des échelles locales. Elle donne également une description relativement détaillée des principaux types de modélisation mis en œuvre pour traiter du transport et de la dispersion des polluants dans l'atmosphère, tout en rappelant les principales hypothèses, approximations et limitations des différentes méthodes.

*Cet exposé théorique pourrait encore être enrichi par la suite en introduisant tout au long du texte ou dans un autre document, des exemples concrets et des calculs pratiques d'ordre de grandeur sur des configurations réelles. Pour cela, il faudrait réaliser une sélection des situations réelles sur la base des informations fournies par les tuteurs industriels (approfondissement de l'enquête débutée sur cette première année) et des cas tests disponibles dans la littérature (acquisition des données). Il faudrait également disposer des outils de modélisation retenus en collaboration avec les tuteurs industriels pour réaliser des comparaisons entre les différentes approches et acquérir une sensibilité suffisante sur le type d'outil à mettre en œuvre pour répondre à un problème précis. Ce travail permettra en particulier d'établir un lien direct entre la théorie sur la dispersion atmosphérique et la pratique d'utilisation des modèles sur des cas concrets.*

## 8.2. BILAN DES SITUATIONS A MODELISER

Les principaux résultats de l'enquête menée auprès des tuteurs industriels montrent que l'on doit prendre en compte une grande diversité de situations à modéliser (effets de bâtiment, de relief, de la stratification de l'atmosphère, de dépôt, ...). Toutefois, le domaine d'étude reste inférieur à une centaine de kilomètres et les temps caractéristiques se rapportent autant à l'étude des fluctuations de concentration (odeurs) qu'à des moyennes horaires et annuelles. Les motivations des études de dispersion correspondent à la demande réglementaire (besoin de modèles opérationnels capables de traiter un grand nombre de situations), mais aussi à des demandes plus spécifiques (plaintes, dimensionnement des installations, ...) qui peuvent éventuellement s'appuyer sur des modélisations plus performantes. Les modèles mis en œuvre concernent le plus souvent des approches semi-empiriques de type gaussien.

Les attentes des tuteurs industriels par rapport à cette étude concernent plus particulièrement une meilleure compréhension des différents phénomènes physiques agissant sur le transport et la dispersion des polluants et des différentes modélisations à utiliser en fonction du problème à traiter. Il est également ressorti des discussions un besoin de disposer d'approches de modélisation qui soient agréées par le Ministère chargé de l'Environnement.

*Les situations à modéliser devront être définies plus précisément en collaboration avec les tuteurs industriels en particulier afin de répondre le plus directement et le plus efficacement possible à leurs attentes.*

## 8.3. INVENTAIRE DES MODELES

L'inventaire des modèles de dispersion atmosphérique réalisé dans le cadre de cette étude a permis de recenser 82 modèles. Cet inventaire est loin d'être exhaustif, mais il regroupe tout de même un éventail assez large de types de modèles. La recherche a été orientée dans un premier temps vers des organismes reconnus au niveau mondial qui recommandent dans leur pays d'origine un certain nombre de modèles ou de méthodes de modélisation (Environment Protection Agency, Finnish Meteorological Institute, TNO. ...) Dans un deuxième temps, nous avons orienté nos recherches vers des bases de données déjà constituées (European Protection Agency, Office of the Federal Coordinator for Meteorological Services and Supporting Research, ...), puis dans un troisième temps vers les organismes de recherche, grandes écoles et université. La description de chaque modèle recensé a été réalisée sur la base des documentations obtenues sur internet et au moyen d'un ensemble de critères permettant en particulier de décrire les types de modélisation, le champ d'application, les principaux phénomènes physiques pris en compte et un ensemble de renseignements administratifs. Les informations ainsi recueillies ont été rassemblées dans une fiche par modèle (document annexe intitulé : « Fiches de présentation des modèles de dispersion atmosphérique »). Des tableaux de synthèses ont également été présentés afin de regrouper l'ensemble des modèles recensés dans différentes catégories (champ d'application, prise en compte des phénomènes physiques, ...). La classification des modèles proposée dans ce rapport, ne consistait pas à les ranger du meilleur au moins bon, mais plutôt d'identifier clairement sur quel type de modélisation ils s'appuient, quel est leur domaine d'application, et quels sont les principaux phénomènes physiques qu'ils sont capables de reproduire.

*Rappelons que l'un des objectifs de cette étude était de proposer quelques modèles à retenir pour une évaluation plus détaillée par la suite. L'inventaire réalisé sur la base des documentations disponibles sur internet a permis d'effectuer une classification grossière des 82 modèles recensés en fonction des critères retenus. Malheureusement, il sera très certainement difficile dans l'état actuel de cet inventaire, de sélectionner pour chaque critère, les modèles qui sont les plus représentatifs et les plus performants. Afin de réaliser tout de même une première sélection de modèles, nous proposons la démarche suivante :*



Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

- **Sélection de quelques modèles d'ancienne génération** : l'objectif ici est de conserver un état de référence représentatif des études passées qui constituera un point de départ de l'évaluation des modèles sur des cas tests. L'objectif est également de conserver le savoir-faire actuel des industriels et des bureaux d'études pour permettre une évaluation directe des gains et des avantages liés à l'utilisation de modèles plus évolués. Le choix de modèles d'ancienne génération portera en particulier sur des modèles gaussiens utilisant des paramétrisations des écarts-types de dispersion par classes (Doury, Pasquill, ...).
- **Sélection de quelques modèles de référence** : il existe un certain nombre de modèles qui sont explicitement recommandés par des organismes officiels pour répondre à des situations particulières de dispersion atmosphérique. C'est en particulier le cas des modèles recommandés par l'EPA (AERMOD, CALPUFF, CALINE3, ...). Nous proposons donc d'en retenir quelques uns qui répondront en particulier directement à des situations typiques retenues.
- **Sélection de quelques modèles représentés au niveau national** : nous proposons de retenir les modèles commercialisés et supportés techniquement en France, les plus utilisés dans le cadre des applications industrielles concernant cette étude. L'intérêt ici réside surtout dans le fait de pouvoir bénéficier d'un support technique et d'un prestataire implanté au niveau national. Le choix portera sur des modèles comme ADMS-3, ARIA-IMPACT ou dans un type différent, DRAG&FLY, FLUIDYN-PANACHE, ARIA-LOCAL, ...
- **Sélection de quelques modèles de nouvelle génération ou de recherche** : des modèles gaussiens de nouvelles générations sont déjà utilisés pour des études industrielles (ADMS-3, AERMOD, ...) ou dans le domaine du nucléaire (modèle Franco-Allemand). Ils en existent d'autres qui sont le plus souvent encore en développement dans les organismes de recherche et qui permettront à terme de prendre mieux en compte certains phénomènes (champ très proche des sources, fluctuations, vent calme, chimie atmosphérique ...). On peut par exemple citer les modèles TAPM, LADM (CSIRO en Australie), METPHOMOD (EPFL en Suisse), PPM de Peter de Haan, ... L'objectif ici est de disposer de modèles capables de répondre à des situations de dispersion particulières non encore ou mal pris en compte dans les modèles actuels et d'assurer une veille scientifique et technique sur le développement des modèles de nouvelle génération adaptés à ce contexte d'études industrielles.

#### 8.4. INVENTAIRES DES CAS TESTS

Dans cette étude, nous avons précisé les différents critères à retenir pour sélectionner par la suite des expériences de terrain ou sur maquette qui serviront de cas tests pour évaluer les modèles. Nous avons également réalisé un premier inventaire des bases de données existantes et identifié les différents cas répondant aux critères sélectionnés. Les données contenues dans ces bases de données peuvent pour la plupart être obtenues sur simple demande (Model Validation Kit par exemple). D'autres expériences pourront être recherchées par la suite dans la littérature scientifique.

*Le choix définitif des cas tests devra se faire sur la base des modèles sélectionnés et des situations à modéliser.*

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

## 9. REFERENCES

Barker, C. D., 1982. *A virtual source model for building wake dispersion in nuclear safety calculations*. Central Electricity Generating Board, Report TPRD/B/0072/N82, 1-27.

Barry, P. J., 1964. *Estimation of downwind concentration of airborne effluents discharged in the neighbourhood of buildings*. Atomic Energy of Canada Limited, Report No. AECL-2043.

Blumen, W., 1990. *Atmospheric processes over complex terrain*. Meteorological Monographs Vol. 23, N° 45, American Meteorological Society, Boston.

Briggs, G. A., 1969. Plume rise, AEC Critical Review Series, US Department of Commerce, USAEC Report TID-25075.

Briggs, G. A., 1973. *Diffusion estimation for small emissions*. Atmospheric Turbulence and Diffusion Laboratory 1973 Annual Report, NOAA, 83-145.

Briggs, G. A., 1984. *Plume rise and buoyancy effects*. In Atmospheric Science and Power Production, NTIS report.

Briggs, G. A., 1985. Analytical parameterizations of diffusion: the convective boundary layer. *J. Climate Appl. Meteor.*, 24, 1167-1186.

Businger, J. A., Wyngaard, J. C., Izumi, Y., et Bradley, E. F., 1971. Flux-profile relationships in the atmospheric surface layer. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 28, 181-189.

Carissimo, B., 2001. *Preliminary numerical simulations of the Mock Urban Setting Test (MUST)*. Technical Report of the George Mason University.

Carruthers, D. J., 1994. ADMS Technical specification. Cambridge Environmental Research Consultants Ltd.

Charnock, H., 1955. Wind stress on a water surface, *Quart. J. Rot. Met. Soc.*, 81, 639.

Corrsin, S., 1953. Remarks on turbulent heat transfer, *Proceedings of the Iowa Thermodynamics symposium*, University of Iowa, Iowa City, 5-30.

Davenport, A. G., 1963. The relationship of wind structure to wind loading. in *Proceedings of a Conference on Wind Effects on Buildings and Structures*, National Physical Laboratory, Great Britain, 54-83.

Davidson, M. J., Snyder, W. H., Lawson, R. E., et Hunt, J. C. R., 1996. Wind tunnel simulations of plume dispersion through groups of obstacles. *Atmos. Env.*, 30 - 22, 3715-3731.

De Haan, P., 1999. *Studies on short-range air pollution modeling*. PhD thesis, Swiss Federal Institute of Technology Zurich.

Deardorff, J. W., 1970. A numerical study of the three-dimensional turbulent channel flow at large Reynolds Numbers. *J. Fluid Mech.*, 41 - 2, 453-480.

Durbin, P. A., 1980. A stochastic model of two-particle dispersion and concentration fluctuations in homogeneous turbulence. *J. Fluid Mech.*, 100, 279-302.

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

Durbin, P. A., 1983. *Stochastic differential equations and turbulent dispersion*. NASA Reference Publication 1103.

EPA, 2001. *Guideline on Air Quality Models*. Part 51, Appendix W – 40 CFR Ch. (7-1-01 Edition), Environmental Protection Agency.

Ferrara, V. et Cagnetti, P., 1980. *A simple formula for estimating airborne concentrations downwind of buildings for discharges near ground level*. CEC seminar on radioactive releases and their dispersion in the atmosphere following a hypothetical reactor accident, RISO, Denmark.

Fisher, B. E. A., Erbrink, J. J., Finardi, S., Jeannet, P., Joffre, S., Morselli, M. G., Pechinger, U., Seibert, P. et Thomson, D. J., 1998. *Harmonisation of the pre-processing of meteorological data for atmospheric dispersion models*. COST Action 710 – Final report.

Gandemer, J. et Guyot, A., 1976. *Intégration du phénomène vent dans la conception du milieu bâti. Guide méthodologique et conseils pratiques*. Ministère de l'équipement.

Gandemer, J. et Guyot, A., 1981. *La protection contre le vent. Aérodynamique des brise-vent et conseils pratiques*. Centre Scientifique et Technique du Bâtiment.

Garratt, J. R., 1992. *The atmospheric boundary layer*. Cambridge Atmospheric and Space Science Series.

Gifford, F. A., 1959. Statistical properties of a fluctuating plume dispersion model. *Advances in Geophysics*, 6, 117-137.

Gifford, F. A., 1960. Atmospheric dispersion calculations using the generalized gaussian plume model. *Nuclear Safety*, 2, 56-59.

Grimmond, C. S. B., et Oke, T. R., 1999. Aerodynamic properties of urban areas derived from analysis of surface form. *J. Applied Meteorol.*, 38, 1262-1292.

Healy, J. W., 1984. *Radioactive cloud dose calculations*. In Atmospheric Science and Power Production, NTIS report.

Holland, T. Z., 1953. *A meteorological Survey of the Oak Ridge Area*. USAEC Report ORO-99-554.

Holtstag, A. A. M., et van Ulden, A. P., 1983. A simple scheme for daytime estimates of the surface fluxes from routine weather data. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 22 - 4, 517-529.

Hosker, R. P., 1984. *Flow and diffusion near obstacles*. In Atmospheric Science and Power Production, NTIS report.

Hosker, R. P., 1985. Flow around isolated structure and building clusters: a review. *ASHRAE Transactions*.

Huber, A. H. et Snyder, W. H., 1982. Wind tunnel investigation of the effects of a rectangular-shaped building on dispersion of effluents from short adjacent stacks. *Atmospheric Environment*, 16, 2837-2848.

Humphries, W. et Vincent, J. H., 1976a. An experimental investigation of the detention of airborne smoke in the wake bubble behind a disk. *J. Fluid Mech.*, 73, 453-464.

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

Humphries, W. et Vincent, J. H., 1976b. Experiments to investigate transport processes in the near wake of disks in turbulent air flow. *J. Fluid Mech.*, 75, 737-749.

Hunt, J. C. R., 1974. Wakes behind buildings. *Aeronautical Research Council's Atmospheric Environment Committee Meeting*.

Hunt, J. C. R., 1985. Turbulent diffusion from sources in complex flows. *Ann. Rev. Fluid Mech.*, 17, 447-485.

Hunt, J. C. R., Leibowich, S. et Richards, K. J., 1988a. Turbulent shear flow over hills. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 114, 1435-1470.

Hunt, J. C. R., Richards, K. J. et Brighton, P. W. M., 1988b. Stably stratified flow over low hills. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 114, 859-886.

Hunt, J. C. R., Kaimal, J. C., et Gaynor, J. E., 1988c. Eddy structure in the convective boundary layer – new measurements and new concepts. *Quart. Jour. of Roy. Met. Soc.*, 114, 827-858.

Hussain, M. et Lee, B. E., 1980. *An investigation of wind forces on three dimensional roughness elements in a simulated atmospheric boundary layer flow. Part II: flow over a large arrays of identical roughness elements and the effect of frontal and side aspect ratio variations*. Dept. of Build. Sce, Univ. of Sheffiled.

Irwin, J. S., 1999. Statistical evaluation of centerline concentration estimates by atmospheric dispersion models. *Int. J. Environment and Pollution*.

Isnard, O., 1999. *Dispersion atmosphérique en présence de groupes d'obstacles*. Thèse de doctorat, Ecole Centrale de Lyon.

Jackson, P. S. et Hunt, J. C. R., 1975. Turbulent wind flow over a low hill. *J. Fluid Mech.*, 929, 929-955.

Kaimal, J. C. et Finnigan, J. J., 1994. *Atmospheric boundary layer flows. Their structure and measurement*. Oxford University Press.

Kaplan, H. et Dinar, N., 1996. A lagrangian dispersion model for calculating concentration distribution within a built-up domain. *Atmospheric Environment*, 30, 4197-4207.

Landsberg, H. E., 1981. *The urban climate*. Int. Geophys. Series, 28, 275 pp.

Launder, B. E., et Spalding, D. B., 1972. *Mathematical models of turbulence*. Academic Press, London.

Legg, B. J., et Raupach, M. R., 1982. Markov-chain simulation of particle dispersion in inhomogeneous flows: the mean drift velocity induced by a gradient in eulerian velocity variance. *Boundary-Layer Meteorol.*, 24, 3-13.

Luhar, A. K., Hibberd, M. F. et Borgas, M. S., 2000. A skewed meandering plume model for concentration statistics in the convective boundary layer. *Atmospheric Environment*, 34, 3599-3616.

MacDonald, R. W., Griffiths, R. F., et Hall, D. J., 1998. A comparison of results from scaled field and wind tunnel modelling of dispersion in arrays of obstacles. *Atmos. Env.*, 32 - 22, 3845-3862.

Macdonald, R.W., Carter, S., Slawson, P.R., 2000-a. *Measurements of mean velocity and turbulence statistics in simple obstacle arrays at 1 :200 scale*. Thermal fluids Report 2000-1.

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

Monin, A. S., et Yaglom, A. M., 1971. *Statistical Fluid Mechanics*. MIT Press, Cambridge.

Moore, D. J., 1976. Calculation of ground level concentration for different sampling periods and source locations. *Atmospheric Pollution*, Elsevier, Amsterdam, 5160.

Nieuwstadt, F. T. M., et Tennekes, H., 1981. A rate equation for the nocturnal boundary layer height. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 38, 1418-1428.

Nikuradse, J., 1933. Strömungsgesetze in rauhen Rohren. *Forschg. Arb. Ing.-Wes.*, 361.

O'Brien, J. J., 1970. A note on the vertical structure of the eddy exchange coefficient in the planetary boundary layer. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 27, 1213-1215.

Oke, T. R., 1979. *Review of urban climatology*. 1973 – 1976. WMO T.N. n° 169.

Oke, T. R., 1988. Street design and urban canopy layer climate. *Energy and buildings*, 11, 103-113.

Panofsky, H. A., Tennekes, H., Lenschow, D. H., et Wyngaard, J. C., 1977. The characteristics of turbulent velocity components in the surface layer under convective conditions. *Boundary-Layer Meteorol.*, 11, 355-361.

Pasquill, F., et Smith, F. B., 1983. *Atmospheric diffusion*. third. John Wiley & sons.

Perkins, R. J., Fung, J. C. H. et Hunt, J. C. R., 1991. *Simulation of dispersion in the deep ocean – An application of the Cloud Dispersion Model*. Report to SAIC Bellevue Washington.

Raupach, M. R., Thom, A. S., et Edwards, I., 1980. A wind-tunnel study of turbulent flow close to regularly arrayed rough surfaces. *Boundary-Layer Meteorol.*, 18, 373-397.

Redelsperger, J. L., et Sommeria, G., 1981. Méthode de représentation de la turbulence d'échelle inférieure à la maille pour un modèle tridimensionnel de convection nuageuse. *Boundary-Layer Meteorol.*, 21 - 4, 509–530.

Roberts, O. F. T., 1923. The theoretical scattering of smoke in a turbulent atmosphere. *Proc. R. Soc. Lond.*, Ser. A, 104, 640–654.

Robins, A. et McHugh, C., 1999. Development and evaluation of the ADMS building effects module. *6th Int. Conf. on Harmo. within Atmos. Disp. Modell. for Regul. Purposes*, Rouen France.

Schiller, L. et Nauman, A. Z., 1933. *Ver. Deut. Ing.*, pp 318-320.

Sehmel, G. A., 1980. Particle and gas dry deposition: a review. *Atmospheric Environment*, 14, 983-1011.

Sehmel, G. A., 1984. *Deposition and resuspension*. In *Atmospheric Science and Power Production*, NTIS report.

Seinfeld, J. H., 1986. *Atmospheric chemistry and physics of air pollution*. John Wiley & Sons.

Slinn, W. G. N., 1984. *Precipitation scavenging*. In *Atmospheric Science and Power Production*, NTIS report.

Smolarkiewicz, P. K. et Rotunno, R., 1989. Low Froude number past three dimensional obstacles. Part I: Baroclinically generated lee vortices. *J. Atmos. Sci.*, 46, 1154-1164.

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

Soulhac, L., 2000. *Modélisation de la dispersion atmosphérique à l'intérieur de la canopée urbaine. Thèse de doctorat*, Ecole Centrale de Lyon.

Soulhac, L., Mejean, P. et Perkins, R. J., 2001. *Prise en compte simplifiée du bâti dans les modélisations 3D*, École Centrale de Lyon – DER/EDF.

Stull, R. B., 1988. *An introduction to boundary layer meteorology*. Kluwer Academic Publishers.

Taylor, G. I., 1921. Diffusion by continuous movements. *Proc. London Math. Soc. Ser.*, 2, 196.

Tennekes, H. et Lumley, J. L., 1973. *A first course in turbulence*. MIT Press.

Thomson, D. J., 1990. A stochastic model for the motion of particle pairs in isotropic high Reynolds number turbulence, and its application to the problem of concentration variance. *J. Fluid Mech.*, 210, 113-153.

Turner, D. B., 1967. *Workbook of atmospheric dispersion estimates*. Public Health Service.

Underwood, B. Y., 1985. The modelling of gravitational settling in the assessment of the consequences of accidental releases of radioactivity. *CEC Report EUR 10097 EN*

Van der Hoven, I., 1957. Power spectrum of horizontal wind speed in the frequency range from 0.0007 to 900 cycles per hour. *J. Meteorol.*, 14, 150-154.

Venkatram, A., Strimaitis, D., et Dicristofaro, D. 1984. A semiempirical model to estimate vertical dispersion of elevated releases in the stable boundary layer. *Atmos. Env.*, 18 – 5, 923-928.

Vincent, J. H., 1977. Model experiments on the nature of air pollution transport near buildings. *Atm. Env.*, 11, 765-774.

Walmsley, J. L., 1989. Internal boundary-layer height formulae – A comparison with atmospheric data, *Boundary Layer Meteorol.*, 47, 251-262.

Weil, J. C., 1985. Updating applied diffusion models. *J. Climate Appl. Meteorol.*, 24 - 11, 1111-1130.

Wieringa, J., 1993. Representative roughness parameters for homogeneous terrain. *Boundary Layer Meteorol.*, 63, 323-363.

Wilson, D. J., 1979. Flow patterns over flat-roofed building and application to exhaust stack design. *ASHRAE Transactions*, 85, 284-295.

Yee, E., Chan, R., Kosteniuk, P. R., Chandler, G. M., Biltoft, C. A. et Bowers, J. F., 1994. Incorporation of internal fluctuations in a meandering plume model of concentration fluctuations. *Boundary Layer Meteorology*, 67, 11-39.

## 10. ANNEXE 1 : SOLUTIONS ANALYTIQUES DE L'EQUATION D'ADVECTION-DIFFUSION

Considérons le problème de diffusion turbulente de Fick modélisée par l'équation d'advection-diffusion :

$$\frac{\partial \bar{c}}{\partial t} + \bar{\mathbf{u}} \cdot \nabla \bar{c} = K \Delta \bar{c} + \bar{S} \quad (8.1)$$

dans laquelle la diffusivité turbulente  $K$  est supposée constante. La résolution de cette équation dépend du champ de vitesse  $\bar{\mathbf{u}}$ . Nous présentons quelques solutions exactes du problème dans le cas d'un fluide au repos ( $\bar{\mathbf{u}} = 0$ ) et d'un fluide en mouvement uniforme ( $\bar{\mathbf{u}} = U \cdot \mathbf{i}_x$ ).

### 10.1. SOLUTIONS POUR UN FLUIDE AU REPOS

#### 10.1.1. FLUIDE AU REPOS – SOURCE PONCTUELLE – REJET INSTANTANE

Une quantité  $Q$  de polluants est rejetée à l'instant  $t = 0$  à l'origine du repère. La concentration est fournie par :

$$\bar{c}(x, y, z, t) = \frac{Q}{8[\pi t]^{3/2} \sqrt{K_x K_y K_z}} \exp \left[ -\frac{1}{4t} \left( \frac{x^2}{K_x} + \frac{y^2}{K_y} + \frac{z^2}{K_z} \right) \right] \quad \text{avec} \quad \begin{cases} \bar{c} \text{ en kg/m}^3 \\ Q \text{ en kg} \\ K_x, K_y \text{ et } K_z \text{ en m}^2/\text{s} \\ t \text{ en s} \\ x, y \text{ et } z \text{ en m} \end{cases} \quad (8.2)$$

L'équation précédente est la solution de base de l'équation d'advection-diffusion. Toutes les solutions suivantes sont obtenues par intégration dans le temps ou dans l'espace de cette relation. La formulation équivalente utilisant les écarts-types est :

$$\bar{c}(x, y, z) = \frac{Q}{[2\pi]^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{x^2}{\sigma_x^2} + \frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{z^2}{\sigma_z^2} \right) \right] \quad \text{avec} \quad \begin{cases} \bar{c} \text{ en kg/m}^3 \\ Q \text{ en kg} \\ \sigma_x, \sigma_y \text{ et } \sigma_z \text{ en m} \\ x, y \text{ et } z \text{ en m} \end{cases} \quad (8.3)$$

#### 10.1.2. FLUIDE AU REPOS – SOURCE PONCTUELLE – REJET CONTINU

A partir de l'instant  $t = 0$ , une source de débit  $Q$  émet à l'origine du repère. Le passage d'un rejet instantané à un rejet continu s'effectue par intégration en fonction du temps. On obtient ainsi :

$$\bar{c}(x,y,z,t) = \frac{Q}{4\pi\sqrt{K_x K_y K_z} \sqrt{\frac{x^2}{K_x} + \frac{y^2}{K_y} + \frac{z^2}{K_z}}} \operatorname{erfc} \left[ -\frac{1}{2\sqrt{t}} \sqrt{\frac{x^2}{K_x} + \frac{y^2}{K_y} + \frac{z^2}{K_z}} \right] \quad \text{avec} \quad \begin{cases} \bar{c} \text{ en kg/m}^3 \\ Q \text{ en kg/s} \\ K_x, K_y \text{ et } K_z \text{ en m}^2/\text{s} \\ t \text{ en s} \\ x, y \text{ et } z \text{ en m} \end{cases} \quad (8.4)$$

A l'état stationnaire, la répartition spatiale de concentration est :

$$\bar{c}(x,y,z) = \frac{Q}{4\pi\sqrt{K_x K_y K_z} \sqrt{\frac{x^2}{K_x} + \frac{y^2}{K_y} + \frac{z^2}{K_z}}} \quad (8.5)$$

La formulation équivalente utilisant les écarts-types, obtenue en supposant que  $\sigma_i = \sqrt{2K_i t}$ , est :

$$\bar{c}(x,y,z,t) = \frac{Qt}{2\pi\sigma_x\sigma_y\sigma_z \sqrt{\frac{x^2}{\sigma_x^2} + \frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{z^2}{\sigma_z^2}}} \operatorname{erfc} \left[ -\frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{x^2}{\sigma_x^2} + \frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{z^2}{\sigma_z^2}} \right] \quad \text{avec} \quad \begin{cases} \bar{c} \text{ en kg/m}^3 \\ Q \text{ en kg/s} \\ \sigma_x, \sigma_y \text{ et } \sigma_z \text{ en m} \\ t \text{ en s} \\ x, y \text{ et } z \text{ en m} \end{cases} \quad (8.6)$$

### 10.1.3. FLUIDE AU REPOS – SOURCE LINEIQUE INFINIE SELON Y – REJET INSTANTANE

Une certaine quantité de polluants est rejetée à l'instant  $t = 0$  le long d'une ligne infinie définie par ( $x = z = 0$ ). On note  $Q$  la masse de polluants rejetée par unité de longueur. Pour calculer le champ de concentration, on intègre la solution 8.2 selon la direction  $y$ . La distribution de la concentration dans l'espace est alors fournie par :

$$\bar{c}(x,z,t) = \frac{Q}{4\pi t \sqrt{K_x K_z}} \exp \left[ -\frac{1}{4t} \left( \frac{x^2}{K_x} + \frac{z^2}{K_z} \right) \right] \quad \text{avec} \quad \begin{cases} \bar{c} \text{ en kg/m}^3 \\ Q \text{ en kg/m} \\ K_x \text{ et } K_z \text{ en m}^2/\text{s} \\ t \text{ en s} \\ x \text{ et } z \text{ en m} \end{cases} \quad (8.7)$$

La formulation équivalente utilisant les écarts-types est :

$$\bar{c}(x,z) = \frac{Q}{2\pi\sigma_x\sigma_z} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{x^2}{\sigma_x^2} + \frac{z^2}{\sigma_z^2} \right) \right] \quad \text{avec} \quad \begin{cases} \bar{c} \text{ en kg/m}^3 \\ Q \text{ en kg/m} \\ \sigma_x \text{ et } \sigma_z \text{ en m} \\ x \text{ et } z \text{ en m} \end{cases} \quad (8.8)$$

### 10.1.4. FLUIDE AU REPOS – SOURCE LINEIQUE INFINIE SELON Y – REJET CONTINU

A partir de l'instant  $t = 0$ , une source linéique de débit  $Q$ , placée sur la droite ( $x = z = 0$ ), émet en continu. Le champ de concentration est fourni par la relation :



Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

$$\bar{c}(x,z,t) = \frac{Q}{4\pi\sqrt{K_x K_z}} E_1 \left[ \frac{1}{4t} \left( \frac{x^2}{K_x} + \frac{z^2}{K_z} \right) \right] \quad \text{avec} \quad \begin{cases} \bar{c} \text{ en kg/m}^3 \\ Q \text{ en kg/m/s} \\ K_x \text{ et } K_z \text{ en m}^2/\text{s} \\ t \text{ en s} \\ x \text{ et } z \text{ en m} \end{cases} \quad (8.9)$$

où  $E_1$  est la fonction exponentielle intégrale d'ordre un. En raison de l'absence d'advection, cette solution ne converge jamais vers un état stationnaire, si bien que la concentration augmente indéfiniment dans le domaine. Il existe une forme simplifiée de cette solution, obtenue pour des temps de diffusion importants :

$$\bar{c}(x,z,t) \approx \frac{Q}{4\pi\sqrt{K_x K_z}} \left\{ \ln \left[ \frac{4t}{\frac{x^2}{K_x} + \frac{z^2}{K_z}} \right] - \gamma \right\} \quad \text{si} \quad \frac{1}{4t} \left( \frac{x^2}{K_x} + \frac{z^2}{K_z} \right) \ll 1 \quad (8.10)$$

où  $\gamma$  est la constante d'Euler ( $\gamma \approx 0,577$ ). Les formulations équivalentes utilisant les écarts-types, obtenues en supposant que  $\sigma_i = \sqrt{2K_i t}$ , sont :

$$\bar{c}(x,z,t) = \frac{Qt}{2\pi\sigma_x\sigma_z} E_1 \left[ \frac{1}{2} \left( \frac{x^2}{\sigma_x^2} + \frac{z^2}{\sigma_z^2} \right) \right] \quad \text{avec} \quad \begin{cases} \bar{c} \text{ en kg/m}^3 \\ Q \text{ en kg/m/s} \\ \sigma_x \text{ et } \sigma_z \text{ en m} \\ t \text{ en s} \\ x \text{ et } z \text{ en m} \end{cases} \quad (8.11)$$

$$\bar{c}(x,z,t) \approx \frac{Qt}{2\pi\sigma_x\sigma_z} \left\{ \ln \left[ \frac{2}{\frac{x^2}{\sigma_x^2} + \frac{z^2}{\sigma_z^2}} \right] - \gamma \right\} \quad \text{si} \quad \frac{1}{2} \left( \frac{x^2}{\sigma_x^2} + \frac{z^2}{\sigma_z^2} \right) \ll 1 \quad (8.12)$$

## 10.2. SOLUTIONS POUR UN FLUIDE EN ECOULEMENT UNIFORME

### 10.2.1. ECOULEMENT UNIFORME – SOURCE PONCTUELLE – REJET INSTANTANE

Une quantité  $Q$  de polluants est rejetée à l'instant  $t = 0$  à l'origine du repère. Le champ de concentration est obtenu de façon triviale, à partir de la relation 8.2, en advectant le centre de la bouffée à la vitesse  $U$  :

$$\bar{c}(x,y,z,t) = \frac{Q}{8[\pi t]^{3/2} \sqrt{K_x K_y K_z}} \exp \left[ -\frac{1}{4t} \left( \frac{(x-Ut)^2}{K_x} + \frac{y^2}{K_y} + \frac{z^2}{K_z} \right) \right] \quad \text{avec} \quad \begin{cases} \bar{c} \text{ en kg/m}^3 \\ Q \text{ en kg} \\ U \text{ en m/s} \\ K_x, K_y \text{ et } K_z \text{ en m}^2/\text{s} \\ t \text{ en s} \\ x, y \text{ et } z \text{ en m} \end{cases} \quad (8.13)$$

La formulation équivalente utilisant les écarts-types est :

$$\bar{c}(x,y,z,t) = \frac{Q}{[2\pi]^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{(x-Ut)^2}{\sigma_x^2} + \frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{z^2}{\sigma_z^2} \right) \right] \text{ avec } \begin{cases} \bar{c} \text{ en kg/m}^3 \\ Q \text{ en kg} \\ U \text{ en m/s} \\ \sigma_x, \sigma_y \text{ et } \sigma_z \text{ en m} \\ t \text{ en s} \\ x, y \text{ et } z \text{ en m} \end{cases} \quad (8.14)$$

**10.2.2. ECOULEMENT UNIFORME – SOURCE PONCTUELLE – REJET CONTINU**

Une source ponctuelle de débit Q émet en continu à l'origine du repère. Le champ de concentration s'écrit :

$$\bar{c}(x,y,z) = \frac{Q}{4\pi \sqrt{K_x K_y K_z} \sqrt{\frac{x^2}{K_x} + \frac{y^2}{K_y} + \frac{z^2}{K_z}}} \exp \left[ -\frac{U}{2\sqrt{K_x}} \left( \sqrt{\frac{x^2}{K_x} + \frac{y^2}{K_y} + \frac{z^2}{K_z}} - \frac{x}{\sqrt{K_x}} \right) \right] \text{ avec } \begin{cases} \bar{c} \text{ en kg/m}^3 \\ Q \text{ en kg} \\ U \text{ en m/s} \\ K_x, K_y \text{ et } K_z \text{ en m}^2/\text{s} \\ x, y \text{ et } z \text{ en m} \end{cases} \quad (8.15)$$

Il existe une forme simplifiée de cette équation, obtenue lorsque l'on néglige la diffusion longitudinale (selon x) devant la diffusion transversale et l'advection :

$$\bar{c}(x,y,z) = \frac{Q}{4\pi x \sqrt{K_y K_z}} \exp \left[ -\frac{U}{4x} \left( \frac{y^2}{K_y} + \frac{z^2}{K_z} \right) \right] \text{ si } \frac{y^2}{K_y} + \frac{z^2}{K_z} \ll \frac{x^2}{K_x} \quad (8.16)$$

Les formulations équivalentes utilisant les écarts-types, obtenues en supposant que  $\sigma_i = \sqrt{2K_i t}$ , sont :

$$\bar{c}(x,y,z) = \frac{Q}{2\pi \frac{U}{x} \sigma_x \sigma_y \sigma_z \sqrt{\frac{x^2}{\sigma_x^2} + \frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{z^2}{\sigma_z^2}}} \exp \left[ -\frac{x}{\sigma_x} \left( \sqrt{\frac{x^2}{\sigma_x^2} + \frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{z^2}{\sigma_z^2}} - \frac{x}{\sigma_x} \right) \right] \text{ avec } \begin{cases} \bar{c} \text{ en kg/m}^3 \\ Q \text{ en kg} \\ U \text{ en m/s} \\ \sigma_x, \sigma_y \text{ et } \sigma_z \text{ en m} \\ x, y \text{ et } z \text{ en m} \end{cases} \quad (8.17)$$

$$\bar{c}(x,y,z) = \frac{Q}{2\pi U \sigma_y \sigma_z} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{z^2}{\sigma_z^2} \right) \right] \text{ si } \frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{z^2}{\sigma_z^2} \ll \frac{x^2}{\sigma_x^2} \quad (8.18)$$

**10.2.3. ECOULEMENT UNIFORME – SOURCE LINEIQUE INFINIE SELON Y – REJET INSTANTANE**

Une certaine quantité de polluants est rejetée à l'instant t = 0 le long d'une ligne infinie définie par (x = z = 0). On note Q la masse de polluants rejetée par unité de longueur. L'évolution de la concentration dans l'écoulement est fournie par :

$$\bar{c}(x,z,t) = \frac{Q}{4\pi t \sqrt{K_x K_z}} \exp \left[ -\frac{1}{4t} \left( \frac{(x-Ut)^2}{K_x} + \frac{z^2}{K_z} \right) \right] \text{ avec } \begin{cases} \bar{c} \text{ en kg/m}^3 \\ Q \text{ en kg/m} \\ U \text{ en m/s} \\ K_x \text{ et } K_z \text{ en m}^2/\text{s} \\ t \text{ en s} \\ x \text{ et } z \text{ en m} \end{cases} \quad (8.19)$$

La formulation équivalente utilisant les écarts-types est :

$$\bar{c}(x,z,t) = \frac{Q}{2\pi\sigma_x\sigma_z} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{(x-Ut)^2}{\sigma_x^2} + \frac{z^2}{\sigma_z^2} \right) \right] \text{ avec } \begin{cases} \bar{c} \text{ en kg/m}^3 \\ Q \text{ en kg/m} \\ U \text{ en m/s} \\ \sigma_x \text{ et } \sigma_z \text{ en m} \\ t \text{ en s} \\ x \text{ et } z \text{ en m} \end{cases} \quad (8.20)$$

#### 10.2.4. ECOULEMENT UNIFORME – SOURCE LINEIQUE INFINIE SELON Y – REJET CONTINU

Une source linéique de débit Q placée sur la droite (x = z = 0) émet en continu. Le champ de concentration est décrit par :

$$\bar{c}(x,z) = \frac{Q}{2\pi\sqrt{K_x K_z}} \exp \left[ \frac{Ux}{2K_x} \right] K_0 \left[ \frac{U}{2\sqrt{K_x}} \sqrt{\frac{x^2}{K_x} + \frac{z^2}{K_z}} \right] \text{ avec } \begin{cases} \bar{c} \text{ en kg/m}^3 \\ Q \text{ en kg/m/s} \\ U \text{ en m/s} \\ K_x \text{ et } K_z \text{ en m}^2/\text{s} \\ x \text{ et } z \text{ en m} \end{cases} \quad (8.21)$$

où  $K_0$  est une fonction de Bessel modifiée d'ordre zéro. Il existe une forme simplifiée de cette équation, obtenue lorsque l'on néglige la diffusion longitudinale (selon x) devant la diffusion transversale et l'advection :

$$\bar{c}(x,z) = \frac{Q}{2\sqrt{\pi U K_z x}} \exp \left[ -\frac{Uz^2}{4K_z x} \right] \text{ si } \begin{cases} \frac{U}{2\sqrt{K_x}} \sqrt{\frac{x^2}{K_x} + \frac{z^2}{K_z}} \gg 1 \\ \frac{x^2}{K_x} \gg \frac{z^2}{K_z} \end{cases} \quad (8.22)$$

Les formulations équivalentes utilisant les écarts-types, obtenues en supposant que  $\sigma_x = \sqrt{2K_x t}$  et  $U = x / t$ , sont :

$$\bar{c}(x,z) = \frac{Qx}{\pi U \sigma_x \sigma_z} \exp \left[ \frac{x^2}{\sigma_x^2} \right] K_0 \left[ \frac{x}{\sigma_x} \sqrt{\frac{x^2}{\sigma_x^2} + \frac{z^2}{\sigma_z^2}} \right] \text{ avec } \begin{cases} \bar{c} \text{ en kg/m}^3 \\ Q \text{ en kg/m/s} \\ U \text{ en m/s} \\ \sigma_x \text{ et } \sigma_z \text{ en m} \\ x \text{ et } z \text{ en m} \end{cases} \quad (8.23)$$

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

$$\bar{c}(x,z) = \frac{Q}{\sqrt{2\pi U \sigma_z}} \exp\left[-\frac{1}{2} \frac{z^2}{\sigma_z^2}\right] \quad \text{si} \quad \begin{cases} \frac{x}{\sigma_x} \sqrt{\frac{x^2}{\sigma_x^2} + \frac{z^2}{\sigma_z^2}} \gg 1 \\ \frac{x^2}{\sigma_x^2} \gg \frac{z^2}{\sigma_z^2} \end{cases} \quad (8.24)$$

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

## 11. ANNEXE 2 : PARAMETRISATION DES ECARTS-TYPES DE DIFFUSION

### 11.1. PARAMETRISATION DE PASQUILL

La paramétrisation de Pasquill-Turner repose sur une description des écarts-types à l'aide de lois empiriques qui dépendent de la distance par rapport à la source (mesurée dans la direction du vent). Ces lois sont fournies pour différentes classes de stabilité, définies dans le Tableau 11.

Classe de stabilité de Pasquill	$s_y$ (m)	$s_z$ (m)
A	$0,573 x^{0,858}$	$10+0,000998 x^{1,89}$
B	$0,334 x^{0,889}$	$0,048 x^{1,11}$
C	$0,205 x^{0,903}$	$0,119 x^{0,915}$
D	$0,128 x^{0,908}$	$0,108 x^{0,822}$
E	$0,091 x^{0,914}$	$0,135 x^{0,745}$ si $x < 1000$ m $-126+52,5 x^{0,15}$ si $x \geq 1000$ m
F	$0,064 x^{0,908}$	$0,094 x^{0,727}$ si $x < 1000$ m $-17+3,77 x^{0,306}$ si $x \geq 1000$ m

### 11.2. PARAMETRISATION DE BRIGGS

La paramétrisation de Briggs est basée sur la caractérisation de la stabilité de l'atmosphère à l'aide des classes de Pasquill. De plus, cette paramétrisation distingue deux niveaux de rugosité de la surface : le sol rural et le sol urbain. Les écarts-types sont paramétrés en fonction de la distance parcourue par le panache dans la direction du vent :

Classe de stabilité de Pasquill	$s_y$ (m)	$s_z$ (m)
<b>Dispersion en milieu rural</b>		
A	$0,22 x (1+0,0001x)^{-0,5}$	$0,20 x$
B	$0,16 x (1+0,0001x)^{-0,5}$	$0,12 x$
C	$0,11 x (1+0,0001x)^{-0,5}$	$0,08 x (1+0,0002x)^{-0,5}$
D	$0,08 x (1+0,0001x)^{-0,5}$	$0,06 x (1+0,0015x)^{-0,5}$
E	$0,06 x (1+0,0001x)^{-0,5}$	$0,06 x (1+0,0003x)^{-1}$
F	$0,04 x (1+0,0001x)^{-0,5}$	$0,016 x (1+0,0003x)^{-1}$
<b>Dispersion en milieu urbain</b>		
A-B	$0,32 x (1+0,0004x)^{-0,5}$	$0,24 x (1+0,001x)^{0,5}$
C	$0,22 x (1+0,0004x)^{-0,5}$	$0,20 x$
D	$0,16 x (1+0,0004x)^{-0,5}$	$0,14 x (1+0,0003x)^{-0,5}$
E-F	$0,11 x (1+0,0004x)^{-0,5}$	$0,08 x (1+0,0015x)^{-0,5}$

Les relations précédentes sont valables pour x compris entre 100 m et 10000 m.

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

### 11.3. PARAMETRISATION DE DOURY

La paramétrisation de Doury distingue deux classes de diffusion des polluants dans l'atmosphère :

- **La diffusion normale**, correspondant à un gradient vertical de température  $\gamma < -5^\circ\text{C}/\text{km}$ .
- **La diffusion faible**, correspondant à un gradient vertical de température  $\gamma \geq -5^\circ\text{C}/\text{km}$ .

Les écarts-types de diffusion sont alors décrits en fonction du temps de transit des polluants depuis la source :

$$\sigma_y = (A_h t)^{k_h} \quad \text{et} \quad \sigma_z = (A_z t)^{k_z}$$

avec en diffusion normale :

Temps de rejet (s)	$A_h$	$A_z$	$k_h$	$k_z$
0 à 240	0,405	0,42	0,859	0,814
240 à 3280	0,135	1	1,130	0,685
3280 à 97000	0,135	20	1,130	0,500
97000 à 508000	0,463	20	1,000	0,500
508000 à 1300000	6,5	20	0,824	0,500
> 1300000	200000	20	0,500	0,500

et en diffusion faible :

Temps de rejet (s)	$A_h$	$A_z$	$k_h$	$k_z$
0 à 240	0,405	0,20	0,859	0,500
240 à 97000	0,135	0,20	1,130	0,500
97000 à 508000	0,463	0,20	1,000	0,500
508000 à 1300000	6,5	0,20	0,824	0,500
> 1300000	200000	0,20	0,500	0,500

### 11.4. PARAMETRISATION DE BROOKHAVEN

La paramétrisation du Brookhaven National Laboratory est basée sur des classes de stabilité analogues à celles de Pasquill et exprime les écarts-types de diffusion en fonction de la distance à la source :

Classe de stabilité de Pasquill	$s_y$ (m)	$s_z$ (m)
A-B	$0,745 x^{0,91}$	$0,763 x^{0,91}$
C	$0,946 x^{0,86}$	$0,868 x^{0,86}$
D	$1,463 x^{0,78}$	$1,006 x^{0,78}$
E-F	$2,298 x^{0,71}$	$0,445 x^{0,71}$

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

## 12. ANNEXE 3 – QUESTIONNAIRE ADRESSE AUX INDUSTRIELS

### Enquête relative à la caractérisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel

Nom de l'industriel :	Date :
-----------------------	--------

Motivations de l'étude

- Réglementaires (études d'impact, ...)
- Techniques (dimensionnement, modifications d'installation, ...)
- Plaintes (nuisances olfactives, brouillard, ...)
- Prévision en temps réel (surveillance de la pollution, ...)
- Autres :

Réalisation de l'étude

- En interne
- Sous-traitance :  
Nom du ou des sous-traitant(s) :

Types de modèle de dispersion mis en œuvre

- Modèle de panache gaussien – Nom :
- Modèle à bouffées gaussiennes – Nom :
- Modèle numérique eulérien tridimensionnel – Nom :
- Modèle lagrangien – Nom :
- Autres :

Champ d'application du modèle

Domaine spatial

- Echelle locale (<1 km)
- Echelle sub-méso ou urbaine (entre 1 et 10 km)

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

Echelle régionale (entre 10 et 100 km)

Echelle méso ou nationale (entre 100 et 1000 km)

Informations temporelles

Episodes < 24 heures

Statistiques annuelles en fonction des données météorologiques

Prévision

Autres :

Grandeurs calculées

Concentrations moyennes

Percentiles

Fluctuations de concentration (odeurs)

Doses chimiques

Doses radioactives

Dépôts secs

Dépôts humides (lessivage)

Périmètres de sécurité

Autres :

Typologies de relief

Situation globale

Site de plaine

Site vallonné (collines, vallées, ravin, ...)

Site de bord de mer

Site de montagne

Autres :

Singularités de relief en dehors du site industriel (>1km)



Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

**Colline**

**Falaise**

**Vallée**

**Autres :**

Singularités de relief a proximité du rejet (<1km)

**Colline**

**Falaise**

**Talus**

**Autres :**

Autres singularités géographiques

**Cours d'eau (fleuves rivières, ...)**

**Etendue d'eau (lacs, étangs, ...)**

**Autres :**

Typologies d'obstacles  
Situation globale

**Site industriel en milieu rural**

**Site industriel en milieu urbain ou périurbain**

**Autres :**

Obstacles dans le champ proche des émissions (<500 m)

**Bâtiment source isolé**

**Bâtiment source dans un groupe d'obstacles**

**Autres :**

**Hauteur moyenne de ces obstacles :**

Configurations des rejets  
Type de rejet

**Rejets collectés (cheminées, ...)**

**Emissions diffuses (évaporation de nappe fluide, dégazage du sol ...)**

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

**Emissions fugitives (fuites, ...)**

**Autres :**

Emplacement et forme du rejet

**Source ponctuelle :**

**Cheminée** H =

**En façade** H =

**Au sol**

**Autres :**

**Source linéique :**

**En toiture** H =

**En façade** H =

**Au sol**

**Autres :**

**Source surfacique (épandage, stockage à l'air libre, ...):**

**Au sol**

**Autres :**

**Source volumique (émissions fugitives) :**

**A l'intérieur d'un bâtiment**

**Autres :**

Nature du rejet

**Gaz**

**Particules (solides ou liquides)**

**< 10 mm**

**= 10 µm**

**Effluents radioactifs**

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

Possibilité de transformations chimiques

Autres :

Inventaires des principaux polluants

Données confidentielles

Gaz

<input type="checkbox"/>	SO <sub>2</sub>	<input type="checkbox"/>	NO <sub>x</sub>	<input type="checkbox"/>	CO	<input type="checkbox"/>	COV	<input type="checkbox"/>	Benzène
--------------------------	-----------------	--------------------------	-----------------	--------------------------	----	--------------------------	-----	--------------------------	---------

<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--

Aérosols, gouttelettes, ...

<input type="checkbox"/>	eau	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
--------------------------	-----	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--

<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--

Particules

<input type="checkbox"/>	poussières	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
--------------------------	------------	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--

<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--	--------------------------	--

Conditions de rejet

Quantité de mouvement du rejet :

Vitesse du rejet  $V_r =$

Débit volumique  $Q_v =$

Quantité de chaleur rejetée :

Température du rejet  $T_r =$

Masse volumique du rejet  $r_r =$

Unités relatives aux quantités de polluant rejetées :

Masse rejetée par seconde

Concentration à l'émission

Autres

Emission continue dans le temps

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 1<sup>ère</sup> partie : Etat de l'art.

 **Emission variable dans le temps**

Types de nuisances

 **Toxique au-delà d'un certain seuil de concentration ou d'exposition** **Nuisances olfactives** **Panache visible, risque de brouillard, ...** **Dispersion de bactéries (légiennelles, ...)** **Radioactivité** **Dépôt au sol (pollution du sol, des eaux de surface, ...)** **Autres :**

**Résumé :** Dans cette annexe, nous rappelons les critères utilisés pour la classification des modèles et nous présentons l'ensemble des fiches de description des modèles recensés.

**Mots-clés :** pollution atmosphérique, dispersion, couche limite atmosphérique, rejets industriels, inventaire de modèles

**Keywords :** atmospheric pollution, dispersion, atmospheric boundary layer, industrial releases, model inventory

**TABLE DES MATIERES**

<b>1. INTRODUCTION</b>	<b>5</b>
<b>2. RAPPEL DES CRITERES DE CLASSIFICATION</b>	<b>5</b>
<b>2.1. Introduction</b>	<b>5</b>
<b>2.2. Description générale du modèle</b>	<b>5</b>
2.2.1. Acronyme	5
2.2.2. Les types de modélisation	5
2.2.2.1. Modèle météorologique	5
2.2.2.2. Modèle de dispersion	6
2.2.2.3. Modélisation de la source	6
2.2.2.4. Modèle d'émission	6
2.2.3. Les échelles considérées	7
2.2.3.1. Les échelles spatiales	7
2.2.3.2. Les échelles temporelles	7
2.2.4. Les principaux phénomènes physiques pris en compte	7
<b>2.3. Les renseignements administratifs</b>	<b>8</b>
2.3.1. Concepteur et distributeur du logiciel	8
2.3.2. Type de licence	8
2.3.3. Coût de licence	9
2.3.4. Coût de la maintenance et du support technique	9
2.3.5. Documentation	9
2.3.6. Support technique	9
2.3.7. Agrément	10
<b>2.4. Description détaillée du modèle de dispersion</b>	<b>10</b>
2.4.1. Les critères relatifs aux modèles de dispersion	10
2.4.1.1. Modèle gaussien	10
2.4.1.2. Modèle eulérien 3D	10
2.4.1.3. Modèle lagrangien	10
2.4.2. Les phénomènes de dispersion représentés	11
2.4.2.1. Les effets de relief	11
2.4.2.2. Les effets des obstacles	11
2.4.2.3. Les effets de la source	11
2.4.2.4. Les effets de la stratification thermique	11
2.4.2.5. Les effets de variabilité des conditions météorologiques	12
2.4.2.6. Les fluctuations	12
2.4.2.7. La chimie	12
2.4.2.8. Les particules	12
2.4.2.9. Les dépôts au sol	13
2.4.2.10. La radioactivité	13
<b>2.5. Informations sur les données d'entrée et de sortie du modèle</b>	<b>13</b>
2.5.1. Les données d'entrée	13
2.5.1.1. Les données géographiques	13
2.5.1.2. Les données météorologiques	13
2.5.1.3. Les données d'émissions	14
2.5.2. Les données de sortie	14
2.5.2.1. Le format des données	14
2.5.2.2. Les grandeurs calculées	14
2.5.2.3. La répartition temporelle des données de sortie	15
<b>2.6. Description détaillée du modèle météorologique</b>	<b>15</b>
2.6.1. Les critères relatifs aux modèles météorologiques	15
2.6.1.1. Aucun modèle météorologique	15
2.6.1.2. Modèle diagnostique	15
2.6.1.3. Modèle prognostique	16
2.6.1.4. Critères communs aux modèles diagnostique et prognostique	16

2.6.2.	Les phénomènes météorologiques représentés	16
2.6.2.1.	Prise en compte de la topographie du terrain	16
2.6.2.2.	Prise en compte des obstacles	17
2.6.2.3.	Stratification atmosphérique	17
2.6.2.4.	Modèle de sol	17
2.6.2.5.	Humidité atmosphérique	17
<b>2.7.</b>	<b>Informations sur la validation du modèle</b>	<b>18</b>
<b>2.8.</b>	<b>Informations sur les besoins informatiques</b>	<b>18</b>
2.8.1.	Type de matériels	18
2.8.2.	Système d'exploitation	18
2.8.3.	Langage de programmation utilisé	18
2.8.4.	Interface utilisateur	19
2.8.5.	Temps de calcul	19
<b>2.9.</b>	<b>Informations sur les modèles liés</b>	<b>19</b>
<b>2.10.</b>	<b>Références du modèle</b>	<b>19</b>
<b>3.</b>	<b>FICHES DE PRESENTATION DES MODELES</b>	<b>19</b>

## 1. INTRODUCTION

Dans cette annexe, nous présentons l'ensemble des fiches de description des modèles de transport et dispersion que nous avons recensés. Dans le chapitre suivant, nous rappelons la signification des critères de classification que nous avons retenus pour décrire les modèles.

## 2. RAPPEL DES CRITERES DE CLASSIFICATION

### 2.1. INTRODUCTION

Les différents critères de classification des modèles de dispersion atmosphérique décrits ci-après sont associés à des champs qui sont repris dans chaque fiche de présentation des modèles. L'ordre de description des champs respecte celui retenu dans les fiches. Ces fiches proposent en particulier une description générale de chaque modèle (0), des différentes particularités des modèles météorologiques et de dispersion (chapitres 2.6 et 2.4), des informations sur les entrées et sortie des modèles (chapitre 2.5) ainsi que des informations sur la validation des modèles (chapitre 2.7), les besoins informatiques (chapitre 2.8) et des renseignements administratifs (chapitre 2.3). L'ensemble de ces fiches est présenté dans le document annexe intitulé « Fiches de présentation des modèles de dispersion atmosphérique ». Le nom des champs est matérialisé dans ce qui suit en les insérant entre les symboles < et > (exemple : < *nom du champ* >). Lors du remplissage des fiches, le code utilisé pour les champs autres que texte est le suivant :

- «  » lorsque le critère n'est pas sélectionné,
- «  » lorsque le critère est sélectionné
- «  » lorsque le critère n'a pas pu être renseigné à partir des documents en notre possession.

### 2.2. DESCRIPTION GENERALE DU MODELE

Les différents critères présentés dans ce paragraphe permettent d'établir une description générale du modèle en terme de types de modélisation (modèle météorologique, modèle de dispersion, modélisation de la source et modèle d'émissions), d'échelles spatiales et temporelles considérées et de phénomènes physiques pris en compte (terrain complexe : relief et obstacles, stratification atmosphérique, fluctuations, visibilité de panache, dépôt, chimie, vent calme). Cette première partie a pour objectif de donner un aperçu rapide des méthodes de modélisation utilisées, du champ d'applications et des principales fonctionnalités du modèle.

#### 2.2.1. ACRONYME

L'acronyme du modèle est spécifié dans le champ en haut des quatre pages de présentation des différents critères.

#### 2.2.2. LES TYPES DE MODELISATION

##### 2.2.2.1. *Modèle météorologique*

Le critère relatif au type de modèle météorologique est décrit par un champ texte qui peut contenir les expressions suivantes :



- **< Aucun >** : signifie que le modèle ne calcule pas de champ météorologique et utilise par conséquent des champs météorologiques déjà établis.
- **< Diagnostique >** : signifie que les champs météorologiques sont reconstitués à partir d'un jeu de données externes (assimilation de données).
- **< Prognostique >** : signifie que les champs météorologiques sont déterminés en résolvant les équations les décrivant.

#### 2.2.2.2. **Modèle de dispersion**

Les critères permettant de décrire le type de modélisation utilisée pour la dispersion sont les suivants :

- **< Gaussien >** : le modèle de dispersion est de type gaussien (solution gaussienne de l'équation d'advection-diffusion) ou à bouffées gaussiennes.
- **< Eulérien 3D >** : le modèle de dispersion résout numériquement l'équation d'advection-diffusion sur un maillage de l'espace.
- **< Lagrangien >** : le modèle de dispersion est basé sur le suivi de particules transportées par l'écoulement.
- **< Hybride >** : le modèle de dispersion associe plusieurs des méthodes précédentes. Dans ce cas, les méthodes concernées sont également signalées en sélectionnant les critères appropriés.

#### 2.2.2.3. **Modélisation de la source**

Le type de modélisation de la source est caractérisé par les critères suivants :

- **< ponctuelle >** : critère sélectionné pour des modèles prenant en compte des rejets à la cheminée par exemple.
- **< linéique >** : critère sélectionné pour des modèles intégrant une formulation spécifique des rejets linéiques relatifs en particulier à des activités industrielles spécifiques (usine de traitement de l'aluminium, ...) ou au trafic automobile.
- **< surfacique >** : critère sélectionné pour des modèles intégrant une formulation spécifique des rejets surfaciques relatifs à des émissions diffuses (évaporation de produits volatils, ...) ou pour la prise en compte global des émissions au sol issues d'un cadastre d'émissions.
- **< volumique >** : critère sélectionné pour des modèles intégrant une formulation spécifique des rejets volumiques relatifs à des émissions diffuses ou fugitives provenant de bâtiments par exemple.
- **< modèle de jet >** : critère sélectionné dans le cas où un modèle spécifique de jet est intégré dans la modélisation du rejet. Ce type de modèle permet par exemple de décrire complètement la phase d'établissement d'un panache issu d'une cheminée.
- **< rejet continu >** : signifie que les rejets pris en compte sont continus dans le temps, ce qui sera pratiquement toujours vérifié lorsque l'on s'intéresse aux émissions industrielles chroniques. Ce critère permet toutefois de différencier les rejets continus des rejets limités dans le temps (nuages, bouffées, ...) plus orientés vers des situations d'émissions accidentelles.
- **< rejet variable >** : critère sélectionné lorsque le modèle est capable de prendre en compte des rejets de polluants dont le débit évolue au cours du temps.
- **< sources multiples >** : critère sélectionné lorsque le modèle gère plusieurs sources en différents emplacements à l'intérieur du domaine d'étude.

#### 2.2.2.4. **Modèle d'émission**

Les critères suivants permettent d'identifier l'existence de modélisations spécifiques contenues dans le modèle pour déterminer les émissions de polluants :

- **< radioactivité >** : critère sélectionné s'il existe une modélisation spécifique calculant les débits d'activité à la source. Ces modélisations sont en général très dépendantes du type d'application et les informations qu'elles délivrent sont souvent confidentielles.
- **< trafic >** : critère sélectionné dans le cas où un modèle de trafic est intégré pour le calcul des émissions d'origine automobile.
- **< débit à la brèche >** : critère sélectionné si des modélisations du débit à la brèche sont intégrées. Ce critère concerne des modèles orientés vers des études de situations accidentelles.
- **< émissions de poussières >** : critère sélectionné lorsque le modèle contient des modélisations spécifiques relatives aux émissions de poussières (réenvol de poussières par exemple).
- **< autres émissions >** : ce critère est sélectionné pour signaler l'existence d'autres modélisations spécifiques dans le modèle non répertoriées par les critères précédents.

## 2.2.3. LES ECHELLES CONSIDEREES

### 2.2.3.1. Les échelles spatiales

Les critères retenus pour décrire le domaine spatial d'application des modèles sont les suivants :

- **< locale >** : signifie que le modèle est plutôt adapté au champ proche de la source (distance inférieure à 5 kilomètres. Le champ très proche de la source se rapporte plutôt à des distances inférieures à 1 kilomètre.
- **< sub-méso >** : signifie que le modèle est plutôt adapté à l'échelle sub-méso, comprise entre 5 et 50 kilomètres.
- **< régionale >** : signifie que le modèle est plutôt adapté à la méso échelle, comprise entre 50 et 500 à 1000 kilomètres.
- **< continentale >** : signifie que le modèle est plutôt adapté aux grandes échelles météorologiques, au-delà de 1000 kilomètres (échelle globale, climat).

### 2.2.3.2. Les échelles temporelles

Rappelons que l'échelle temporelle prise en compte dans un modèle correspond à la plus petite échelle de temps qu'il est capable de résoudre. Cette plus petite échelle de temps est le plus souvent déterminée par le pas de temps des données d'entrée dont on dispose. Les critères retenus pour décrire l'échelle temporelle des modèles sont donc les suivants :

- **< Instantanée >** : ce critère est sélectionné lorsque le modèle est capable de réaliser une description temporelle complète des fluctuations correspondant à la turbulence atmosphérique (Partie du spectre d'énergie turbulente atmosphérique relative à des fluctuations de périodes inférieures à l'heure).
- **< horaire >** : Ce critère est sélectionné lorsque le modèle résout complètement les fluctuations atmosphériques de périodes supérieures à l'heure (intègrent en particulier les fluctuations relatives au cycle diurne/nocturne).
- **< journalière >** : ce critère est sélectionné lorsque le modèle résout complètement les fluctuations atmosphériques de périodes supérieures à la journée.
- **< annuelle >** : ce critère est sélectionné lorsque le modèle ne donne qu'une évaluation annuelle en s'appuyant sur des données également moyennées sur l'année.

## 2.2.4. LES PRINCIPAUX PHENOMENES PHYSIQUES PRIS EN COMPTE

Les critères décrits dans ce paragraphe permettent globalement d'identifier quels sont les principaux phénomènes physiques que le modèle peut prendre en compte.

- **< relief >** : ce critère indique si le modèle est globalement capable de prendre en compte des effets de relief.
- **< obstacles >** : ce critère indique si le modèle est globalement capable de prendre en compte des effets d'obstacles.
- **< stratification atmosphérique >** : ce critère indique si le modèle est globalement capable de prendre en compte des effets de stratification atmosphérique.
- **< fluctuations >** : ce critère indique si le modèle est capable de modéliser les fluctuations de concentration.
- **< visibilité de panache >** : ce critère indique si le modèle est capable de prendre en compte des effets relatifs à la visibilité des panaches (panache de condensation de vapeur d'eau par exemple).
- **< dépôt >** : ce critère indique si le modèle est globalement capable de prendre en compte des phénomènes de déposition au sol.
- **< chimie >** : ce critère indique si le modèle prend en compte des transformations chimiques.
- **< vent calme >** : ce critère indique si le modèle prend en compte les situations de vent calme.

### 2.3. LES RENSEIGNEMENTS ADMINISTRATIFS

Dans cette partie, nous précisons le nom et l'adresse du concepteur et du distributeur du logiciel ainsi que les coordonnées de la personne à contacter. Nous précisons également, lorsque l'information est disponible sur les différents documents en notre possession, le type et le coût de licence, le coût de maintenance et le type de documentation disponible. Enfin, nous précisons si le modèle a reçu un agrément d'organisme officiel.

#### 2.3.1. CONCEPTEUR ET DISTRIBUTEUR DU LOGICIEL

- **< concepteur du logiciel >** : ce champ indique le nom de l'organisme qui a développé le logiciel.
- **< adresse www du concepteur >** : ce champ donne l'adresse internet du site du concepteur.
- **< distributeur du logiciel >** : ce champ indique le nom de l'organisme qui distribue le logiciel, en priorité sur la France.
- **< adresse www du distributeur >** : ce champ donne l'adresse internet du site du distributeur.
- **< contact distributeur >** : ce champ donne le nom de la personne à contacter pour obtenir des informations complémentaires.
- **< téléphone contact > et < fax contact >** : donne les numéros de téléphone et de télécopie de la personne à contacter.
- **< email contact >** : ce champ donne l'adresse électronique de la personne à contacter.

#### 2.3.2. TYPE DE LICENCE

- **< accès libre >** : ce critère est sélectionné lorsque le logiciel est en accès libre (téléchargeable à partir d'un site internet ou envoyé sur simple demande).
- **< accès contrôlé >** : ce critère est sélectionné lorsque le logiciel est en accès contrôlé. En général, il faut contacter le concepteur du logiciel pour connaître les modalités d'acquisition du logiciel.
- **< commerciale >** : ce critère est sélectionné lorsque le logiciel est commercialement distribué.

- **< non distribué >** : ce critère est sélectionné lorsque le logiciel n'est pas distribué. Certains concepteurs affichent clairement que leur logiciel n'a pas été développé dans le but d'être distribué à l'extérieur. Il existe cependant toujours des possibilités de négociation avec le concepteur.

### 2.3.3. COUT DE LICENCE

Les critères suivants permettent de préciser la fourchette de prix de la licence du logiciel :

- **< licence gratuite >** : ce critère est sélectionné lorsque la licence du logiciel est gratuite.
- **< licence <1500 €HT >** : ce critère est sélectionné lorsque le coût de la licence du logiciel est inférieur à 1500 € HT.
- **< licence <7500 €HT >** : ce critère est sélectionné lorsque le coût de la licence du logiciel est inférieur à 7500 € HT.
- **< licence >7500 €HT >** : ce critère est sélectionné lorsque le coût de la licence du logiciel est supérieur à 7500 € HT.

### 2.3.4. COUT DE LA MAINTENANCE ET DU SUPPORT TECHNIQUE

Les critères suivants permettent de préciser la fourchette de prix de la maintenance du logiciel :

- **< maintenance gratuite >** : ce critère est sélectionné lorsque la maintenance du logiciel est gratuite.
- **< maintenance <1500 €HT >** : ce critère est sélectionné lorsque le coût de la maintenance du logiciel est inférieur à 1500 € HT.
- **< maintenance <7500 €HT >** : ce critère est sélectionné lorsque le coût de la maintenance du logiciel est inférieur à 7500 € HT.
- **< maintenance >7500 €HT >** : ce critère est sélectionné lorsque le coût de la maintenance du logiciel est supérieur à 7500 € HT.

### 2.3.5. DOCUMENTATION

Les critères suivants apportent des renseignements sur le type de documentation disponible :

- **< aucune >** : ce critère est sélectionné lorsqu'il n'y a aucune documentation disponible sur le logiciel.
- **< doc technique >** : ce critère est sélectionné lorsqu'une documentation technique du logiciel existe.
- **< doc utilisateur >** : ce critère est sélectionné lorsqu'une documentation sur l'utilisation du logiciel existe.
- **< doc en ligne >** : ce critère est sélectionné lorsque la documentation est accessible par internet.

### 2.3.6. SUPPORT TECHNIQUE

Les critères suivants permettent de définir le type de support technique disponible pour le logiciel :

- **< aucun >** : ce critère est sélectionné lorsqu'il n'y a aucun support technique.
- **< à distance >** : ce critère est sélectionné lorsque le support technique peut être réalisé à distance (téléphone, internet, ...).
- **< sur site >** : ce critère est sélectionné lorsque le support technique peut être réalisé chez l'utilisateur.
- **< formation >** : ce critère est sélectionné lorsqu'il existe des possibilités de formation sur le logiciel.

### 2.3.7. AGREMENT

- **< agrément >** : ce champ texte est utilisé pour préciser l'existence d'un agrément du logiciel auprès d'instances officielles.

## 2.4. DESCRIPTION DETAILLEE DU MODELE DE DISPERSION

Dans la description générale du modèle (paragraphe 0), nous avons décrit des critères renseignant le type de modèle de dispersion utilisé (gaussien, eulérien 3D, lagrangien). Dans cette partie, nous détaillons les critères retenus permettant d'apporter des informations sur les différents types de paramétrisations utilisés dans les modèles de dispersion. Nous détaillons également les critères relatifs aux différents phénomènes de dispersion représentés.

### 2.4.1. LES CRITERES RELATIFS AUX MODELES DE DISPERSION

#### 2.4.1.1. *Modèle gaussien*

Les critères suivants permettent de préciser le type de modélisation gaussienne pris en compte :

- **< panache gaussien >** : ce critère est sélectionné pour un panache gaussien.
- **< bouffées gaussiennes >** : ce critère est sélectionné pour un modèle de bouffées gaussiennes.

Les critères ci-après précisent globalement quel est le type de modélisation des écarts-types utilisé dans le modèle :

- **< sortie du modèle météo >** : ce critère est sélectionné pour préciser que les écarts-types de dispersion sont modélisés à partir des informations sur la turbulence obtenues au moyen d'un modèle météorologique.
- **< par classes >** : ce critère est sélectionné pour préciser que les écarts-types de dispersion sont modélisés en fonction de différentes classes permettant de définir l'état de stratification atmosphérique (exemples des classes de Pasquill-Gifford, de Turner, de Doury, ...) ou le type de sol (rural ou urbain).
- **< continue >** : ce critère est sélectionné pour préciser que les écarts-types de dispersion sont modélisés continûment en fonction de l'état de l'atmosphère (exemple de la modélisation basée sur la théorie de similitude).

#### 2.4.1.2. *Modèle eulérien 3D*

Les critères suivants permettent de préciser d'où provient la paramétrisation de la turbulence :

- **< sortie du modèle météo >** : ce critère est sélectionné pour préciser que les informations sur la turbulence proviennent du modèle météorologique.
- **< modèle spécifique interne >** : ce critère est sélectionné pour préciser que la turbulence est paramétrée par une modélisation spécifique interne au modèle de dispersion.

#### 2.4.1.3. *Modèle lagrangien*

Les critères suivants permettent de préciser d'où provient la paramétrisation de la diffusion turbulente :

- **< sortie du modèle météo >** : ce critère est sélectionné pour préciser que la paramétrisation de la diffusion turbulente utilise les informations sur la turbulence délivrées par le modèle météorologique.

- **< modèle spécifique interne >** : ce critère est sélectionné pour préciser que la paramétrisation de la diffusion turbulente est réalisée au moyen d'une modélisation spécifique interne au modèle de dispersion.

## 2.4.2. LES PHENOMENES DE DISPERSION REPRESENTES

### 2.4.2.1. Les effets de relief

Les critères suivants permettent de préciser comment sont pris en compte les effets de relief dans le modèle de dispersion :

- **< pris en compte par le champ météo >** : ce critère est sélectionné lorsque les effets induits par le relief sont pris en compte à travers la fourniture du champ météorologique.
- **< modèle interne spécifique >** : ce critère est sélectionné lorsque les effets induits par le relief sont pris en compte par une modélisation spécifique interne au modèle de dispersion.

### 2.4.2.2. Les effets des obstacles

Les critères suivants permettent de préciser comment sont pris en compte les effets des bâtiments dans le modèle de dispersion :

- **< pris en compte par le champ météo >** : ce critère est sélectionné lorsque les effets induits par les bâtiments sont pris en compte à travers la connaissance du champ météorologique.
- **< modèle interne spécifique >** : ce critère est sélectionné lorsque les effets induits par les bâtiments sont pris en compte par une modélisation spécifique interne au modèle de dispersion.

### 2.4.2.3. Les effets de la source

Les critères relatifs au type de la source (*< ponctuelle >*, *< linéique >*, *< surfacique >*, *< volumique >*), déjà décrits dans le paragraphe 2.2.2.3, sont repris dans cette partie car ils concernent directement les effets de la source sur la dispersion. Les critères *< source variable >* *< source multiple >* sont également repris dans cette partie. Les critères supplémentaires suivants permettent de préciser si les effets relatifs aux flux initiaux de quantité de mouvement et de chaleur ainsi que ceux induits par la présence d'un bâtiment situé à proximité de la source, sont pris en compte par le modèle de dispersion :

- **< surhauteur cinématique >** : ce critère est sélectionné lorsque les effets relatifs à la quantité de mouvement initiale des rejets sont pris en compte (vitesse de rejet des effluents à la cheminée par exemple).
- **< surhauteur thermique >** : ce critère est sélectionné lorsque les effets relatifs au flux initial de chaleur du rejet sont pris en compte (température des rejets différente de la température de l'air ambiant).
- **< downwash/flagging >** : ce critère est sélectionné lorsque les effets aérodynamiques induits par la source sont pris en compte (effet de sillage des cheminées par exemple).

### 2.4.2.4. Les effets de la stratification thermique

Les critères suivants permettent de préciser globalement quels sont les effets relatifs à la stratification thermique qui sont pris en compte par le modèle de diffusion :

- **< effet sur les coef. de diffusion >** : ce critère est sélectionné lorsque les coefficients de diffusion sont modifiés par la stratification thermique.
- **< effets liés à la couche d'inversion >** : ce critère est sélectionné lorsque l'un ou plusieurs des effets décrits ci-dessous, liés à la couche d'inversion, sont pris en compte.

- **< réflexion >** : ce critère est sélectionné pour préciser que la réflexion totale du panache sur la couche d'inversion est prise en compte.
- **< pénétration >** : ce critère est sélectionné pour préciser que le phénomène de pénétration du panache dans la couche d'inversion est pris en compte.
- **< fumigation >** : ce critère est sélectionné pour préciser que les phénomènes de fumigation du panache sont pris en compte. La fumigation est souvent à rapprocher des phénomènes météorologiques de brise de mer, mais elle peut également avoir d'autres origines.

#### 2.4.2.5. **Les effets de variabilité des conditions météorologiques**

Le critère suivant permet de préciser si le modèle de dispersion prend en compte explicitement les effets relatifs à la variabilité des conditions météorologiques :

- **< meandering >** : ce critère est sélectionné pour préciser que les effets de « meandering » du panache sont explicitement pris en compte. Rappelons que ces effets de « meandering » sont particulièrement mis en évidence dans les processus de dispersion en atmosphère très stable (faible diffusion) par vent relativement calme.

#### 2.4.2.6. **Les fluctuations**

Les critères suivants permettent de préciser comment les fluctuations de concentration sont prises en compte par le modèle de dispersion :

- **< écart-type de concentration >** : ce critère est sélectionné pour préciser que le modèle calcule les écarts-types des fluctuations de concentration.
- **< pdf de c >** : ce critère est sélectionné pour préciser que les fluctuations de concentration sont prises en compte au moyen d'une fonction de densité de probabilité.

#### 2.4.2.7. **La chimie**

Les critères suivants permettent de préciser le type de chimie qui est pris en compte dans le modèle de dispersion :

- **< chimie simplifiée >** : ce critère est sélectionné pour préciser que la chimie prise en compte concerne essentiellement des réactions simples pouvant être traitées séparément les unes des autres et faisant intervenir uniquement les polluants émis par une source. Les transformations chimiques sont traitées en utilisant des décroissances linéaire ou exponentielle selon les cas. Les constantes de temps relatives aux réactions peuvent parfois être une données d'entrée que l'utilisateur doit fournir.
- **< chimie atmosphérique complexe >** : ce critère est sélectionné pour préciser que les phénomènes de chimie atmosphérique sont pris en compte par la résolution d'un ensemble de réactions chimiques.

#### 2.4.2.8. **Les particules**

Les critères suivants permettent de préciser si le transport et la dispersion des particules sont pris en compte dans le modèle :

- **< particules >** : ce critère est sélectionné pour spécifier que le transport et la dispersion de particules est pris en compte.
- **< sédimentation >** : ce critère est sélectionné pour préciser que les phénomènes de sédimentation des particules sont traités.

#### 2.4.2.9. *Les dépôts au sol*

Les critères suivants permettent de distinguer les types de dépôt pris en compte par le modèle de dispersion :

- **< dépôt sec >** : ce critère est sélectionné pour préciser que les phénomènes de dépôt sec au sol sont pris en compte.
- **< dépôt humide >** : ce critère est sélectionné pour préciser que les phénomènes de dépôt humide sont pris en compte (lessivage par les précipitations atmosphériques).

#### 2.4.2.10. *La radioactivité*

Les critères suivants permettent de décrire rapidement quels sont les phénomènes spécifiques aux émissions radiologiques qui sont pris en compte par le modèle de dispersion :

- **< décroissance radioactive >** : ce critère est sélectionné pour préciser que le phénomène de décroissance radioactive est pris en compte.
- **< filiation radioactive >** : ce critère est sélectionné pour préciser que la filiation entre radionucléides est pris en compte.
- **< calcul de débit de dose >** : ce critère est sélectionné pour préciser que le calcul des débits de dose radiologique est pris en compte.

### 2.5. INFORMATIONS SUR LES DONNEES D'ENTREE ET DE SORTIE DU MODELE

Dans cette partie, nous détaillons les critères retenus permettant de caractériser le type d'informations qu'il faut donner en entrée du modèle ainsi que les principales informations fournies en sortie du modèle. Les informations sur les entrées du modèle concernent essentiellement les données géographiques, les données météorologiques et les quantités de polluants rejetées à la source. Les informations sur les données de sortie du modèle concernent principalement le format des données de sortie, les grandeurs calculées et la répartition temporelle des données.

#### 2.5.1. LES DONNEES D'ENTREE

##### 2.5.1.1. *Les données géographiques*

Les critères suivants permettent de décrire globalement le type de données géographiques que le modèle prend en compte :

- **< relief >** : ce critère est sélectionné pour préciser que le modèle prend en compte des données de relief, soit dans un format spécifique, soit au format de l'IGN.
- **< obstacles >** : ce critère est sélectionné pour préciser que le modèle prend en compte des informations géométriques concernant la position et les dimensions des obstacles.
- **< catégories de sol >** : ce critère est sélectionné pour préciser que le modèle prend en compte des informations sur la nature du sol (catégorie landcover par exemple).

##### 2.5.1.2. *Les données météorologiques*

Les critères suivants apportent des informations complémentaires sur l'origine des données météorologiques qu'il faut utiliser en entrée du modèle :

- **< mesures météorologiques >** : ce critère est sélectionné pour préciser que le modèle accepte des données issues de mesures de terrain. Il n'est pas détaillé si ces mesures proviennent de stations au sol, de radiosondages, ...



- **< pré-processeur météorologique >** : ce critère est sélectionné pour préciser que le modèle utilise des données fournies par un pré-processeur météorologique. Dans ce cas, le pré-processeur renvoie au modèle des informations concernant la structure verticale de l'atmosphère (longueur de Monin-Obukhov, vitesse convective, hauteur de la couche limite atmosphérique, ...). Le pré-processeur météorologique utilise en général des informations de lieu (longitude, latitude), de temps (jour de l'année, heure de la journée) et des mesures provenant des stations météorologiques. Le pré-processeur météorologique utilisé par le modèle, lorsqu'il est identifié, est indiqué dans le champ texte relatif aux modèles liés.
- **< résultats de calcul 3D >** : ce critère est sélectionné pour préciser que le modèle utilise un champ météorologiques 3D provenant d'un modèle météorologique.

### 2.5.1.3. Les données d'émissions

Les critères suivants permettent d'identifier la provenance des données d'émissions qu'il faut rentrer dans le modèle :

- **< quantités rejetées >** : ce critère est sélectionné pour signaler qu'il faut spécifier au modèle les quantités de polluants rejetées.
- **< modèle d'émission >** : ce critère est sélectionné pour signaler que les quantités de polluants rejetées proviennent d'un modèle spécifique d'émission.

## 2.5.2. LES DONNEES DE SORTIE

### 2.5.2.1. Le format des données

Les critères suivants permettent de préciser le format des données de sortie du modèle :

- **< fichiers ASCII >** : ce critère est sélectionné lorsque les données de sortie du modèle sont dans un format texte.
- **< cartographies >** : ce critère est sélectionné lorsque les données de sortie sont présentées sous forme de cartographie. Si un post processeur externe est utilisé, alors son nom est indiqué dans le champ texte **< logiciel post traitement >**.
- **< tracés 3D >** : ce critère est sélectionné lorsque les données de sortie sont des fichiers ou des tracés 3D. Si un post processeur externe est utilisé, alors son nom est indiqué dans le champ texte **< logiciel post traitement >**.
- **< affichage WEB >** : ce critère est sélectionné lorsque les données de sortie sont présentées sur un site internet.

### 2.5.2.2. Les grandeurs calculées

Les critères suivants permettent de préciser quelles sont les grandeurs typiques disponibles en sortie du modèle :

- **< concentration moyenne >** : ce critère est sélectionné lorsque le modèle calcule des concentrations moyennes.
- **< percentiles >** : ce critère est sélectionné lorsque le modèle calcule des percentiles.
- **< dépôt sec >** : ce critère est sélectionné lorsque le modèle calcule des dépôts secs.
- **< dépôt humide >** : ce critère est sélectionné lorsque le modèle calcule des dépôts humides.
- **< écart-type >** : ce critère est sélectionné lorsque le modèle calcule des écarts-types de concentration.

### 2.5.2.3. *La répartition temporelle des données de sortie*

Les critères suivants permettent de préciser la période sur laquelle sont calculées les différentes grandeurs :

- **< moyenne par pas de temps >** : ce critère est sélectionné lorsque le modèle restitue des valeurs moyennes par pas de temps.
- **< moyenne annuelle >** : ce critère est sélectionné lorsque le modèle calcule des moyennes annuelles.
- **< fluctuations (pdf,etc) >** : ce critère est sélectionné lorsque le modèle renvoie des informations sur les fluctuations de concentration.

## 2.6. DESCRIPTION DETAILLEE DU MODELE METEOROLOGIQUE

Dans la description générale du modèle (paragraphe 0), nous avons décrit un critère renseignant le type de modèle météorologique utilisé (aucun, diagnostique et prognostique). Dans cette partie, nous détaillons en fonction du type de modèle météorologique, les critères retenus permettant d'apporter des informations sur les principales méthodes d'obtention des champs météorologiques. Nous détaillons également les critères relatifs aux principaux phénomènes météorologiques pris en compte.

### 2.6.1. LES CRITERES RELATIFS AUX MODELES METEOROLOGIQUES

#### 2.6.1.1. *Aucun modèle météorologique*

Lorsque le champ **< aucun >** modèle météorologique est sélectionné, nous utilisons les deux critères suivants pour spécifier l'origine des champs météorologiques susceptibles d'être utilisés par le modèle :

- **< résultats de simulation >** : ce critère est sélectionné lorsque le modèle utilise des résultats de simulation provenant d'un modèle météorologique extérieur. Dans ce cas et lorsque l'information existe, les noms des modèles météorologiques ayant déjà été utilisés pour des applications du modèle de dispersion sont placés dans le champ **< modèles liés >**.
- **< mesures météorologiques >** : ce critère est sélectionné lorsque le modèle utilise des mesures de terrain comme champ météorologique.

#### 2.6.1.2. *Modèle diagnostique*

Lorsque le champ **< diagnostique >** est sélectionné, nous utilisons les trois critères suivants pour caractériser l'approche de modélisation retenue dans le modèle :

- **< linéarisation des équations >** : ce critère est sélectionné lorsque le modèle météorologique utilise une méthode basée sur la linéarisation des équations de la dynamique de la couche limite atmosphérique.
- **< conservation de la masse >** : ce critère est sélectionné lorsque le modèle météorologique utilise une méthode d'interpolation des observations de terrain sur le maillage de calcul respectant le principe de conservation de la masse de fluide.
- **< modèle vertical 1D >** : ce critère est sélectionné lorsque le modèle météorologique utilise une formulation spécifique permettant de décrire complètement la structure verticale de l'atmosphère (la formulation la plus utilisée est basée sur la théorie de similitude de Monin-Obukhov).

### 2.6.1.3. *Modèle prognostique*

Lorsque le champ **< prognostique >** est sélectionné, nous utilisons les deux critères suivants pour caractériser le type de modélisation numérique proposé par le modèle :

- **< hydrostatique >** : ce critère est sélectionné lorsque le modèle météorologique utilise une approximation d'équilibre hydrostatique pour résoudre les équations de conservation. Rappelons que cette approximation implique que les mouvements verticaux doivent rester petits devant les mouvements horizontaux. Les modèles météorologiques hydrostatiques ne sont donc pas adaptés pour décrire les champs météorologiques au-dessus de terrains très complexes (reliefs de montagne par exemple).
- **< incompressible >** : ce critère est sélectionné lorsque le modèle météorologique utilise une approximation de fluide incompressible pour résoudre les équations de conservation. Dans ce cas, la masse volumique du fluide est considérée constante dans tout l'espace. Par opposition, lorsque ce critère n'est pas sélectionné, le modèle météorologique ne fait pas d'approximation de fluide incompressible ou bien utilise une approximation de fluide anélastique pour résoudre les équations de conservation (la masse volumique du fluide peut varier dans l'espace, sous l'effet de la stratification de l'atmosphère par exemple, mais pas sous l'effet de la vitesse de l'écoulement).

### 2.6.1.4. *Critères communs aux modèles diagnostique et prognostique*

Les critères suivants apportent des informations relatives aux maillages utilisés dans les modèles météorologiques diagnostique et prognostique :

- **< maillage imbriqué >** : ce critère est sélectionné lorsque le modèle météorologique utilise des maillages imbriqués.
- **< maillage suivant le relief >** : ce critère est sélectionné lorsque le modèle météorologique utilise un maillage spécifique capable de suivre la topographie du sol.
- **< maillage des obstacles >** : ce critère est sélectionné lorsque le modèle météorologique prend en compte explicitement l'écoulement autour des obstacles.

## 2.6.2. LES PHENOMENES METEOROLOGIQUES REPRESENTES

### 2.6.2.1. *Prise en compte de la topographie du terrain*

Les critères suivants permettent de caractériser le type de relief pris en compte par le modèle météorologique :

- **< terrain plat homogène >** : ce critère est sélectionné pour des reliefs plats sans variation de la nature du sol (rugosité, ...).
- **< terrain plat non homogène >** : ce critère est sélectionné pour des reliefs plats avec une variation de la nature du sol.
- **< colline isolée de pente modérée >** : ce critère est sélectionné dans le cas d'une colline isolée de pente modérée comme on en rencontre dans des reliefs de plaines.
- **< vallée isolée de profondeur modérée >** : ce critère est sélectionné dans le cas d'une vallée isolée de profondeur modérée.
- **< collines et vallées modérées >** : ce critère est sélectionné dans le cas d'un ensemble de collines et de vallées de pentes douces caractéristiques des régions vallonnées.
- **< relief de montagne >** : ce critère est sélectionné dans le cas d'un relief de montagne présentant en particulier des vallées profondes et des pentes abruptes.

### 2.6.2.2. *Prise en compte des obstacles*

Les critères présentés ci-après permettent de caractériser la prise en compte des obstacles par le modèle météorologique :

- **< rugosité >** : ce critère est sélectionné lorsque les effets des obstacles sont pris en compte par une rugosité du sol.
- **< obstacle explicite >** : ce critère est sélectionné lorsque les obstacles sont explicitement pris en compte par le modèle météorologique.
- **< groupe d'obstacles >** : ce critère est sélectionné lorsque les effets d'un groupe d'obstacles sont modélisés par le modèle météorologique (modèle de porosité par exemple).

### 2.6.2.3. *Stratification atmosphérique*

Les critères suivants permettent de caractériser les différents effets relatifs à la stratification thermique de l'atmosphère, pris en compte par le modèle météorologique :

- **< atmosphère neutre >** : ce critère se rapporte au cas d'une atmosphère adiabatique.
- **< atmosphère stable >** : ce critère se rapporte au cas d'une atmosphère thermiquement stable.
- **< atmosphère convective >** : ce critère se rapporte au cas d'une atmosphère thermiquement instable.
- **< brise de vallée >** : ce critère se rapporte au cas spécifique des écoulements atmosphériques d'origine thermique en milieu montagneux.
- **< brise de mer >** : ce critère se rapporte au cas spécifique des écoulements atmosphériques d'origine thermique en bordure de mer ou tout autre grande surface d'eau (lac par exemple).
- **< îlot de chaleur urbain >** : ce critère se rapporte au cas spécifique des écoulements atmosphériques d'origine thermique en milieu urbain (différences thermiques entre les milieux ruraux et urbains).

### 2.6.2.4. *Modèle de sol*

Les critères suivants indiquent quels sont les modèles de sol implémentés dans le modèle météorologique :

- **< sol hétérogène >** : ce critère est sélectionné lorsque le modèle prend en compte différents types de sol.
- **< échange de chaleur >** : ce critère est sélectionné lorsque le modèle prend en compte les échanges de chaleur au niveau du sol.
- **< échange d'humidité >** : ce critère est sélectionné lorsque les échanges d'humidité au niveau du sol sont pris en compte (évaporation/condensation, flux dans le sol).

### 2.6.2.5. *Humidité atmosphérique*

Les critères suivants permettent de préciser quelles sont les différentes modélisations relatives à la présence d'eau dans l'atmosphère prises en compte par le modèle météorologique :

- **< atmosphère humide >** : ce critère est sélectionné lorsque l'humidité atmosphérique est pris en compte.
- **< microphysique des nuages >** : ce critère est sélectionné lorsque la microphysique des nuages est prise en compte.
- **< précipitations >** : ce critère est sélectionné lorsque les précipitations atmosphériques sont prises en compte.

## 2.7. INFORMATIONS SUR LA VALIDATION DU MODELE

Les critères suivants permettent de spécifier le type de validation du modèle :

- **< aucune validation >** : ce critère est sélectionné lorsque aucune validation du modèle n'a été réalisée.
- **< validation en soufflerie >** : ce critère est sélectionné lorsque la validation du modèle a été réalisée en soufflerie.
- **< campagne de terrain >** : ce critère est sélectionné lorsque la validation du modèle a été réalisée au moyen de campagne de mesures sur le terrain.
- **< inter-comparaison de modèles >** : ce critère est sélectionné lorsqu'une inter-comparaison de modèles a été effectuée.

## 2.8. INFORMATIONS SUR LES BESOINS INFORMATIQUES

Dans cette partie, nous détaillons les besoins informatiques nécessaires en terme de matériel, système d'exploitation, langage de programmation, interfaces et temps de calcul.

### 2.8.1. TYPE DE MATERIELS

Les critères suivants permettent d'identifier le type de matériel sur lequel peut être porté le logiciel :

- **< PC >** : ce critère est sélectionné lorsque le modèle fonctionne sur un PC.
- **< Mac Intosh >** : ce critère est sélectionné lorsque le modèle fonctionne sur un Mac Intosh.
- **< station Unix >** : ce critère est sélectionné lorsque le modèle fonctionne sur une station de travail Unix.
- **< calcul // >** : ce critère est sélectionné lorsque le modèle fonctionne sur un calculateur parallèle.

### 2.8.2. SYSTEME D'EXPLOITATION

Les critères suivants permettent de spécifier le système d'exploitation sur lequel fonctionne le modèle :

- **< DOS >** : ce critère est sélectionné lorsque le système d'exploitation requis est MS-DOS.
- **< Windows >** : ce critère est sélectionné lorsque le système d'exploitation requis est MS-Windows.
- **< Linux >** : ce critère est sélectionné lorsque le système d'exploitation requis peut être Linux.
- **< Unix >** : ce critère est sélectionné lorsque le système d'exploitation requis est Unix.

### 2.8.3. LANGAGE DE PROGRAMMATION UTILISE

Les critères suivants permettent de spécifier le langage de programmation utilisé pour le développement du modèle :

- **< Fortran >** : ce critère est sélectionné lorsque le langage de programmation utilisé est le Fortran.
- **< C >** : ce critère est sélectionné lorsque le langage de programmation utilisé est le C.
- **< autre langage >** : ce critère est sélectionné lorsqu'il s'agit d'un langage de programmation autre que le Fortran ou le C.

#### 2.8.4. INTERFACE UTILISATEUR

Les critères suivants permettent de spécifier le type d'interface utilisateur utilisé par le modèle :

- **< aucun (fichiers ASCII) >** : ce critère est sélectionné lorsque les données d'entrée et de sortie du modèle sont spécifiées sous forme de fichiers ASCII.
- **< intégrée >** : ce critère est sélectionné lorsque le modèle intègre une interface utilisateur plus conviviale que des fichiers ASCII.
- **< logiciel post traitement >** : ce critère est sélectionné lorsque le modèle utilise un logiciel externe de post traitement. Dans ce cas, et lorsque l'information est connue, le nom du logiciel est indiqué dans ce champ au format texte.

#### 2.8.5. TEMPS DE CALCUL

Les critères suivants permettent de spécifier une plage de temps nécessaire au calcul d'un scénario élémentaire. Les critères relatifs au temps de calcul sont donnés à titre indicatif car il est toujours très difficile d'extraire ce genre d'informations des documentations commerciales et techniques dans la mesure où la définition d'un scénario peut beaucoup varier d'une application à l'autre.

- **< <1s/scénario >** : ce critère est sélectionné lorsque le temps de calcul par scénario est inférieur à 1 seconde.
- **< <1mn/scénario >** : ce critère est sélectionné lorsque le temps de calcul par scénario est inférieur à 1 minute.
- **< <1heure/scénario >** : ce critère est sélectionné lorsque le temps de calcul par scénario est inférieur à 1 heure.
- **< >1heure/scénario >** : ce critère est sélectionné lorsque le temps de calcul par scénario est supérieur à 1 heure.

#### 2.9. INFORMATIONS SUR LES MODELES LIES

Certains modèles de dispersion atmosphérique intègrent ou peuvent être interfacés à d'autres modèles spécifiques développés dans un autre contexte (pré-processeur météorologiques, modèles météorologiques 3D, modèles de chimie, ...). Dans ce cas-là et dans la mesure du possible, nous avons renseigné un champ texte permettant de mentionner explicitement le nom de ces modèles comme indiqué ci-après :

- **< modèles liés >** : ce champ texte renseigne sur le nom et le type de modèles spécifiques utilisés.

#### 2.10. REFERENCES DU MODELE

Dans ce champ texte, nous spécifions les principales références du modèle concernant en particulier des articles dans des revues scientifiques sur son développement, son utilisation et sa validation.

### 3. FICHES DE PRESENTATION DES MODELES

ACRONYME :

ADMS

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	<b>Diagnostic</b>			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> Gaussien	<input type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> ponctuelle	<input checked="" type="checkbox"/> linéique	<input checked="" type="checkbox"/> surfacique	<input checked="" type="checkbox"/> volumique
	<input checked="" type="checkbox"/> modèle de jet	<input checked="" type="checkbox"/> rejet continu	<input checked="" type="checkbox"/> rejet variable	<input checked="" type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> locale	<input checked="" type="checkbox"/> urbaine	<input type="checkbox"/> régionale	<input type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input checked="" type="checkbox"/> horaire	<input type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input checked="" type="checkbox"/> relief	<input checked="" type="checkbox"/> obstacles	<input checked="" type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input checked="" type="checkbox"/> fluctuations
<input checked="" type="checkbox"/> visibilité de panache	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt	<input checked="" type="checkbox"/> chimie	<input type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>	Cambridge Environmental Research Consultants Ltd <a href="http://www.cerc.co.uk">http://www.cerc.co.uk</a>			
• <i>Distributeur du logiciel :</i>	Numtech <a href="http://www.numtech.fr">http://www.numtech.fr</a>			
• <i>Contact :</i>	Frédéric Pradelle      Tél.:+33 4 73 40 53 73      Fax :+33 4 73 40 53 73 <a href="http://numtech@numtech.fr">http://numtech@numtech.fr</a>			
• <i>Type de licence :</i>	<input type="checkbox"/> accès libre	<input type="checkbox"/> accès contrôlé	<input checked="" type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input checked="" type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input checked="" type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input checked="" type="checkbox"/> doc technique	<input checked="" type="checkbox"/> doc utilisateur	<input checked="" type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input checked="" type="checkbox"/> à distance	<input checked="" type="checkbox"/> sur site	<input checked="" type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>				

ACRONYME :

ADMS

**Modèle de dispersion :**

<input checked="" type="checkbox"/> gaussien	<input checked="" type="checkbox"/> panache	<input type="checkbox"/> bouffées	<input type="checkbox"/> eulérien 3D	<input type="checkbox"/> lagrangien
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Modélisation des écarts-types :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> par classes</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> continue</li> </ul> </li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>

**Phénomènes de dispersion représentés :**

• <i>Effets du relief :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets des obstacles :</i>	<input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input checked="" type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> source ponctuelle <input checked="" type="checkbox"/> source linéique <input checked="" type="checkbox"/> source surfacique	<input checked="" type="checkbox"/> source volumique <input checked="" type="checkbox"/> source variable <input checked="" type="checkbox"/> source multiple <input checked="" type="checkbox"/> surhauteur cinématique <input checked="" type="checkbox"/> surhauteur thermique <input checked="" type="checkbox"/> downwash/flagging
• <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion	<input checked="" type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion <input checked="" type="checkbox"/> réflexion <input type="checkbox"/> pénétration <input checked="" type="checkbox"/> fumigation
• <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i>	<input type="checkbox"/> meandering	
• <i>Fluctuations :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> écart-type de concentration	<input checked="" type="checkbox"/> pdf de concentration
• <i>Chimie</i>	<input checked="" type="checkbox"/> chimie simplifiée	<input type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe
• <i>Déposition :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> particules <input checked="" type="checkbox"/> sédimentation	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec <input checked="" type="checkbox"/> dépôt humide
• <i>Radioactivité :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> déc. radioactive	<input type="checkbox"/> filiation radioactive
		<input checked="" type="checkbox"/> débit de dose

**Informations sur les données d'entrée :**

• <i>Données géographiques :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> relief	<input checked="" type="checkbox"/> obstacles	<input type="checkbox"/> catégories de sol
• <i>Données météorologiques :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> mesures	<input checked="" type="checkbox"/> préprocesseur	<input type="checkbox"/> champ 3D
• <i>Données d'émission</i>	<input checked="" type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées	<input type="checkbox"/> modèle d'émission	

**Informations sur les données de sortie :**

• <i>Format des données :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> fichiers ASCII	<input checked="" type="checkbox"/> cartographies	<input type="checkbox"/> tracés 3D	<input type="checkbox"/> Web
• <i>Grandeurs calculées :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> concentration moyenne	<input checked="" type="checkbox"/> percentiles	<input type="checkbox"/> écart-type	
• <i>Répartition temporelle</i>	<input checked="" type="checkbox"/> moyenne par pas de temps	<input checked="" type="checkbox"/> moyenne annuelle	<input checked="" type="checkbox"/> fluctuations	



ACRONYME :

ADMS

**Modèle météorologique :****Diagnostic**• *Aucun modèle météorologique :* résultats de simulation mesures météorologiques• *Modèle diagnostique :* linéarisation des équations conservation de la masse modèle ID vertical• *Modèle prognostique :* hydrostatique incompressible maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :* terrain plat et homogène vallée isolée de profondeur modérée collines et vallées de pentes modérées terrain plat et non homogène colline isolée de pente modérée relief de montagne• *Prise en compte des obstacles :* rugosité obstacle isolé groupe d'obstacles• *Stratification atmosphérique :* atmosphère neutre atmosphère stable atmosphère convective brise de mer brise de vallée îlot de chaleur urbain• *Modèle de sol :* sol hétérogène échange de chaleur échange d'humidité• *Humidité atmosphérique :* atmosphère humide microphysique des nuages précipitations**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :* PC Mac Intosh station Unix calcul //• *Système d'exploitation :* DOS Windows Linux Unix• *Langage utilisé :* Fortran C Autre langage• *Interface utilisateur :* aucun (ASCII) intégré*logiciels de post traitement :*

Surfer - ArcView Spatial Analyst

• *Temps de calcul par scénario :* < une seconde < une minute < une heure > une heure• *Modèles liés*

FLOWSTAR-D

ACRONYME :

ADMS

• Références :

*Carruthers, D.J., C.A. McHugh, A.G. Robins, B.M. Davies, D.J. Thomson and M.R. Montgomery, 1994. The UK Atmospheric Dispersion Modelling System: Comparisons with data from Kincaid, Lillestrøm and Copenhagen. Proceedings of the Workshop Intercomparison of Advanced Practical Short-Range Atmospheric Dispersion Models, 1993. Manno, Switzerland. C. Cuvelier, Ed.*

*Carruthers D.J., H.A. Edmunds, K.L. Ellis, C.A. McHugh, B.M. Davies and D.J. Thomson, 1995. The Atmospheric Dispersion Modelling System (ADMS): comparisons with data from the Kincaid experiment. Workshop on Operational Short-range Atmospheric Dispersion Models for Environmental Impact Assessment in Europe, Mol, Nov. 1994. Int. J. Environment and Pollution, 5(4-6): 111-000.*

*Carruthers, D.J., H.A. Edmunds, M. Bennett, P.T. Woods, M.J.T. Milton, R. Robinson, B.Y. Underwood and C.J. Franklyn, 1995. Validation of the UK-ADMS Dispersion Model and Assessment of its Performance Relative to R-91 and ISC using Archived LIDAR Data. Study commissioned by Her Majesty's Inspectorate of Pollution. DoE/HMIP/RR/95/022*

*Carruthers, D.J., H.A. Edmunds, M. Bennett, P.T. Woods, M.J.T. Milton, R. Robinson, B.Y. Underwood and C.J. Franklyn, 1997. Validation of the ADMS Dispersion Model and Assessment of its Performance Relative to R-91 and ISC using Archived LIDAR Data. Int. J. Environment and Pollution, Vol 8, Nos. 3-6.*

*Carruthers, D.J., S. Dyster and C.A. McHugh, 1998. Contrasting Methods for Validating ADMS using the Indianapolis Data set. Proc. 5 Int. Conf. on Harmonisation Within Dispersion th Modelling for Regulatory Purposes. pp. 104-110*

*Carruthers, D.J., A.M. McKeown, D.J. Hall and S. Porter, 1999. Validation of ADMS against Wind Tunnel Data of Dispersion from Chemical Warehouse Fires. Atmos. Env., 33: 1937 - 1953.*

ACRONYME :

ADREA

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	<b>Prognostique</b>			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input type="checkbox"/> Gaussien	<input checked="" type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> ponctuelle	<input type="checkbox"/> linéique	<input checked="" type="checkbox"/> surfacique	<input type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input checked="" type="checkbox"/> rejet continu	<input type="checkbox"/> rejet variable	<input checked="" type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input type="checkbox"/> locale	<input checked="" type="checkbox"/> urbaine	<input checked="" type="checkbox"/> régionale	<input type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input checked="" type="checkbox"/> horaire	<input type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input checked="" type="checkbox"/> relief	<input checked="" type="checkbox"/> obstacles	<input checked="" type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input type="checkbox"/> fluctuations
<input type="checkbox"/> visibilité de panache	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt	<input checked="" type="checkbox"/> chimie	<input type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>	Environmental Research Laboratory, NCSR "DEMOKRITOS" <a href="http://ipta.demokritos.gr/">http://ipta.demokritos.gr/</a>			
• <i>Distributeur du logiciel :</i>	Environmental REsearch Laboratory			
• <i>Contact :</i>	Dr. John G. Bartzis	Tél.:	Fax :	
• <i>Type de licence :</i>	<input type="checkbox"/> accès libre	<input checked="" type="checkbox"/> accès contrôlé	<input type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input type="checkbox"/> doc technique	<input type="checkbox"/> doc utilisateur	<input type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>				

ACRONYME :

ADREA

**Modèle de dispersion :**

<input type="checkbox"/> gaussien	<input type="checkbox"/> panache	<input type="checkbox"/> bouffées	<input checked="" type="checkbox"/> eulérien 3D	<input type="checkbox"/> lagrangien
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Modélisation des écarts-types :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> par classes</li> <li><input type="checkbox"/> continue</li> </ul> </li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>				

**Phénomènes de dispersion représentés :**

• <i>Effets du relief :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets des obstacles :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> source ponctuelle <input type="checkbox"/> source volumique <input type="checkbox"/> surhauteur cinématique <input type="checkbox"/> source linéique <input type="checkbox"/> source variable <input type="checkbox"/> surhauteur thermique <input checked="" type="checkbox"/> source surfacique <input checked="" type="checkbox"/> source multiple <input type="checkbox"/> downwash/flagging	
• <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>	<input type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion	<input type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion <input type="checkbox"/> réflexion <input type="checkbox"/> pénétration <input type="checkbox"/> fumigation
• <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i>	<input type="checkbox"/> meandering	
• <i>Fluctuations :</i>	<input type="checkbox"/> écart-type de concentration	<input type="checkbox"/> pdf de concentration
• <i>Chimie</i>	<input checked="" type="checkbox"/> chimie simplifiée	<input checked="" type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe
• <i>Déposition :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> particules <input checked="" type="checkbox"/> sédimentation	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec <input checked="" type="checkbox"/> dépôt humide
• <i>Radioactivité :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> déc. radioactive	<input checked="" type="checkbox"/> filiation radioactive <input type="checkbox"/> débit de dose

**Informations sur les données d'entrée :**

• <i>Données géographiques :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input checked="" type="checkbox"/> catégories de sol
• <i>Données météorologiques :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> mesures	<input type="checkbox"/> préprocesseur	<input checked="" type="checkbox"/> champ 3D
• <i>Données d'émission</i>	<input checked="" type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées	<input checked="" type="checkbox"/> modèle d'émission	

**Informations sur les données de sortie :**

• <i>Format des données :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> fichiers ASCII	<input type="checkbox"/> cartographies	<input checked="" type="checkbox"/> tracés 3D	<input type="checkbox"/> Web
• <i>Grandeurs calculées :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> concentration moyenne	<input type="checkbox"/> percentiles		
	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt humide	<input type="checkbox"/> écart-type	
• <i>Répartition temporelle</i>	<input checked="" type="checkbox"/> moyenne par pas de temps	<input type="checkbox"/> moyenne annuelle	<input type="checkbox"/> fluctuations	

ACRONYME :

ADREA

**Modèle météorologique :****Prognostique**• *Aucun modèle météorologique :*

- résultats de simulation
- mesures météorologiques

• *Modèle diagnostique :*

- linéarisation des équations
- conservation de la masse
- modèle ID vertical

• *Modèle prognostique :*

- hydrostatique
- incompressible

 maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :*

- terrain plat et homogène       terrain plat et non homogène
- vallée isolée de profondeur modérée       colline isolée de pente modérée
- collines et vallées de pentes modérées       relief de montagne

• *Prise en compte des obstacles :*

- rugosité       obstacle isolé       groupe d'obstacles

• *Stratification atmosphérique :*

- atmosphère neutre       brise de mer
- atmosphère stable       brise de vallée
- atmosphère convective       îlot de chaleur urbain

• *Modèle de sol :*

- sol hétérogène       échange de chaleur       échange d'humidité

• *Humidité atmosphérique :*

- atmosphère humide       microphysique des nuages       précipitations

**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :* PC       Mac Intosh       station Unix       calcul //• *Système d'exploitation :* DOS       Windows       Linux       Unix• *Langage utilisé :* Fortran       C       Autre langage• *Interface utilisateur :* aucun (ASCII)       intégré*logiciels de post traitement :*• *Temps de calcul par scénario :* < une seconde       < une minute       < une heure       > une heure• *Modèles liés*

ADREA-diagn : modèle diagnostique - ADREA-I : module météo (prognostique) - ADREA/UAM : modèle de photochimie

ACRONYME :

ADREA

• Références :

Bartzis J.G., Varvayanni, M., Venetsanos, A., Catsaros, N., Housiadas, C., Horsch, G., Statharas, J., Amanatidis, G.T., Megaritou, A., Konte, K., (1993) ADREA-I: A three-dimensional finite volume transport code for mesoscale atmospheric transport (the Cartesian version), Part I: The model description, Report DEMO 93/2 pt.1, Part II: Code Structure and User's Manual DEMO 93/2, pt.2.

Bartzis, J.G., Venetsanos, A., Varvayanni, M., Catsaros, N., Megaritou, A. (1991) ADREA-I, A transient three-dimensional transport code for complex terrain and other applications, Nuclear Technology 94, 135-148.

Varvayanni, M., Catsaros, N., Bartzis, J.G., Konte, K., Horsch, G.M. (1995) Wind Flow Simulation over the Greater Athens Area with a Highly Resolved Topography, Atmospheric Environment 29, 3593-3604.

S. Andronopoulos, J.G. Bartzis, M. Varvayanni & N. Catsaros (1997) ADREA-I predictions on NOx concentrations over the Greater Athens Area, International Scientific Workshop "Athens 2004 Air Quality Study", Athens, February 1997.

M. Varvayanni, J.G. Bartzis, N. Catsaros, P. Deligiannis, C.E. Elderkin (1997) Simulation of Nocturnal Drainage Flows Enhanced by Deep Canyons: The Rocky Flats Case, Journal of Applied Meteorology, 36, 775-791.

M. Varvayanni, J.G. Bartzis, N. Catsaros, G.Graziani, P. Deligiannis (1996), Numerical simulation of daytime mesoscale flow over highly complex terrain: the Alps case, Atmospheric Environment, in press.

ACRONYME :

AERMOD

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	<b>Diagnostic</b>			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> Gaussien	<input type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> ponctuelle	<input checked="" type="checkbox"/> linéique	<input checked="" type="checkbox"/> surfacique	<input checked="" type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input checked="" type="checkbox"/> rejet continu	<input checked="" type="checkbox"/> rejet variable	<input checked="" type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> locale	<input checked="" type="checkbox"/> urbaine	<input type="checkbox"/> régionale	<input type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input checked="" type="checkbox"/> horaire	<input type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input checked="" type="checkbox"/> relief	<input checked="" type="checkbox"/> obstacles	<input checked="" type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input checked="" type="checkbox"/> fluctuations
<input type="checkbox"/> visibilité de panache	<input type="checkbox"/> dépôt	<input type="checkbox"/> chimie	<input checked="" type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>	Environmental Protection Agency <a href="http://www.epa.gov/scram001/">http://www.epa.gov/scram001/</a>			
• <i>Distributeur du logiciel :</i>				
• <i>Contact :</i>	Tél.:		Fax :	
• <i>Type de licence :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> accès libre	<input type="checkbox"/> accès contrôlé	<input type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input checked="" type="checkbox"/> doc technique	<input checked="" type="checkbox"/> doc utilisateur	<input checked="" type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> aucun	<input type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>	Modèle recommandé par l'Environmental Protection Agency (remplace en partie le modèle ISC3)			

ACRONYME :

AERMOD

**Modèle de dispersion :**

- |  |  |   |
|--|--|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> gaussien <input checked="" type="checkbox"/> panache <input type="checkbox"/> bouffées<br>• <u>Modélisation des écarts-types :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input type="checkbox"/> par classes<br><input type="checkbox"/> continue | <input type="checkbox"/> eulérien 3D<br>• <u>Paramétrisation de la turbulence :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne | <input type="checkbox"/> lagrangien<br>• <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne |
|--|--|---|

**Phénomènes de dispersion représentés :**

- |   |  |   |
|---|--|---|
| • <i>Effets du relief :</i>                           | <input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo   | <input checked="" type="checkbox"/> modèle interne spécifique |
| • <i>Effets des obstacles :</i>                       | <input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo   | <input checked="" type="checkbox"/> modèle interne spécifique |
| • <i>Effets de la source :</i>                        | <input checked="" type="checkbox"/> source ponctuelle <input checked="" type="checkbox"/> source volumique <input checked="" type="checkbox"/> surhauteur cinématique<br><input checked="" type="checkbox"/> source linéique <input checked="" type="checkbox"/> source variable <input checked="" type="checkbox"/> surhauteur thermique<br><input checked="" type="checkbox"/> source surfacique <input checked="" type="checkbox"/> source multiple <input checked="" type="checkbox"/> downwash/flagging |   |
| • <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>  | <input checked="" type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion<br><input checked="" type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion<br><input checked="" type="checkbox"/> réflexion<br><input checked="" type="checkbox"/> pénétration<br><input type="checkbox"/> fumigation  |   |
| • <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i> | <input type="checkbox"/> meandering  |   |
| • <i>Fluctuations :</i>                               | <input checked="" type="checkbox"/> écart-type de concentration  | <input checked="" type="checkbox"/> pdf de concentration      |
| • <i>Chimie</i>                                       | <input type="checkbox"/> chimie simplifiée   | <input type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe        |
| • <i>Déposition :</i>                                 | <input type="checkbox"/> particules <input type="checkbox"/> dépôt sec<br><input type="checkbox"/> sédimentation <input type="checkbox"/> dépôt humide   |   |
| • <i>Radioactivité :</i>                              | <input type="checkbox"/> déc. radioactive <input type="checkbox"/> filiation radioactive <input type="checkbox"/> débit de dose  |   |

**Informations sur les données d'entrée :**

- |                                    |   |   |  |
|------------------------------------|---|---|--|
| • <i>Données géographiques :</i>   | <input checked="" type="checkbox"/> relief                          | <input checked="" type="checkbox"/> obstacles     | <input type="checkbox"/> catégories de sol |
| • <i>Données météorologiques :</i> | <input checked="" type="checkbox"/> mesures                         | <input checked="" type="checkbox"/> préprocesseur | <input type="checkbox"/> champ 3D          |
| • <i>Données d'émission</i>        | <input checked="" type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées | <input type="checkbox"/> modèle d'émission        |  |

**Informations sur les données de sortie :**

- |                                 |   |
|---------------------------------|---|
| • <i>Format des données :</i>   | <input checked="" type="checkbox"/> fichiers ASCII <input type="checkbox"/> cartographies <input type="checkbox"/> tracés 3D <input type="checkbox"/> Web   |
| • <i>Grandeurs calculées :</i>  | <input checked="" type="checkbox"/> concentration moyenne <input checked="" type="checkbox"/> percentiles<br><input type="checkbox"/> dépôt sec <input type="checkbox"/> dépôt humide <input type="checkbox"/> écart-type |
| • <i>Répartition temporelle</i> | <input checked="" type="checkbox"/> moyenne par pas de temps <input checked="" type="checkbox"/> moyenne annuelle <input type="checkbox"/> fluctuations   |



ACRONYME :

AERMOD

**Modèle météorologique :****Diagnostic**• *Aucun modèle météorologique :*

- résultats de simulation
- mesures météorologiques

• *Modèle diagnostique :*

- linéarisation des équations
- conservation de la masse
- modèle ID vertical

• *Modèle prognostique :*

- hydrostatique
- incompressible

 maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :*

- terrain plat et homogène  terrain plat et non homogène
- vallée isolée de profondeur modérée  colline isolée de pente modérée
- collines et vallées de pentes modérées  relief de montagne

• *Prise en compte des obstacles :*

- rugosité  obstacle isolé  groupe d'obstacles

• *Stratification atmosphérique :*

- atmosphère neutre  brise de mer
- atmosphère stable  brise de vallée
- atmosphère convective  îlot de chaleur urbain

• *Modèle de sol :*

- sol hétérogène  échange de chaleur  échange d'humidité

• *Humidité atmosphérique :*

- atmosphère humide  microphysique des nuages  précipitations

**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :* PC  Mac Intosh  station Unix  calcul //• *Système d'exploitation :* DOS  Windows  Linux  Unix• *Langage utilisé :* Fortran  C  Autre langage• *Interface utilisateur :* aucun (ASCII)  intégré*logiciels de post traitement :*• *Temps de calcul par scénario :* < une seconde  < une minute  < une heure  > une heure• *Modèles liés*

AERMET : préprocesseur météo - AERMAP : préprocesseur de terrain

ACRONYME :

AERMOD

- Références :

API, 1998: *Evaluation of State of the Science of Air Quality Dispersion Model, Scientific Evaluation, prepared by Woodward-Clyde Consultants, Lexington, Massachusetts, for American Petroleum Institute, Washington, D.C., 20005-4070.*

Paine, R.J., R.F. Lee, R.W. Brode, R.B. Wilson, A.J. Cimorelli, S.G. Perry, J.C. Weil, A. Venkatram and W.D. Peters, 1998: *Model*

*Evaluation Results for AERMOD (12/17/98 Draft). Prepared for Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC. (Docket No. A-99-05, II-A-5)*

ACRONYME :

AEROPOL

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	<b>Aucun</b>			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> Gaussien	<input type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> ponctuelle	<input checked="" type="checkbox"/> linéique	<input checked="" type="checkbox"/> surfacique	<input type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input checked="" type="checkbox"/> rejet continu	<input type="checkbox"/> rejet variable	<input checked="" type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> locale	<input checked="" type="checkbox"/> urbaine	<input type="checkbox"/> régionale	<input type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input checked="" type="checkbox"/> horaire	<input type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input type="checkbox"/> relief	<input checked="" type="checkbox"/> obstacles	<input checked="" type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input type="checkbox"/> fluctuations
<input type="checkbox"/> visibilité de panache	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt	<input type="checkbox"/> chimie	<input type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>	Chair of Meteorology - Institute of Environmental Physics - Tartu University <a href="http://apollo.aai.ee/">http://apollo.aai.ee/</a>			
• <i>Distributeur du logiciel :</i>				
• <i>Contact :</i>	Tél.:		Fax :	
• <i>Type de licence :</i>	<input type="checkbox"/> accès libre	<input checked="" type="checkbox"/> accès contrôlé	<input type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input type="checkbox"/> doc technique	<input type="checkbox"/> doc utilisateur	<input type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>				

ACRONYME :

AEROPOL

**Modèle de dispersion :**

<input checked="" type="checkbox"/> gaussien	<input checked="" type="checkbox"/> panache	<input type="checkbox"/> bouffées	<input type="checkbox"/> eulérien 3D	<input type="checkbox"/> lagrangien
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Modélisation des écarts-types :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> par classes</li> <li><input type="checkbox"/> continue</li> </ul> </li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>

**Phénomènes de dispersion représentés :**

• <i>Effets du relief :</i>	<input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets des obstacles :</i>	<input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input checked="" type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> source ponctuelle <input type="checkbox"/> source volumique <input checked="" type="checkbox"/> source linéique <input type="checkbox"/> source variable <input checked="" type="checkbox"/> source surfacique <input checked="" type="checkbox"/> source multiple	<input checked="" type="checkbox"/> surhauteur cinématique <input checked="" type="checkbox"/> surhauteur thermique <input type="checkbox"/> downwash/flagging
• <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion	<input checked="" type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion <input checked="" type="checkbox"/> réflexion <input type="checkbox"/> pénétration <input type="checkbox"/> fumigation
• <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i>	<input type="checkbox"/> meandering	
• <i>Fluctuations :</i>	<input type="checkbox"/> écart-type de concentration	<input type="checkbox"/> pdf de concentration
• <i>Chimie</i>	<input type="checkbox"/> chimie simplifiée	<input type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe
• <i>Déposition :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> particules <input type="checkbox"/> sédimentation	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec <input checked="" type="checkbox"/> dépôt humide
• <i>Radioactivité :</i>	<input type="checkbox"/> déc. radioactive	<input type="checkbox"/> filiation radioactive <input type="checkbox"/> débit de dose

**Informations sur les données d'entrée :**

• <i>Données géographiques :</i>	<input type="checkbox"/> relief	<input checked="" type="checkbox"/> obstacles	<input type="checkbox"/> catégories de sol
• <i>Données météorologiques :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> mesures	<input type="checkbox"/> préprocesseur	<input type="checkbox"/> champ 3D
• <i>Données d'émission</i>	<input checked="" type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées	<input type="checkbox"/> modèle d'émission	

**Informations sur les données de sortie :**

• <i>Format des données :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> fichiers ASCII	<input type="checkbox"/> cartographies	<input type="checkbox"/> tracés 3D	<input type="checkbox"/> Web
• <i>Grandeurs calculées :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> concentration moyenne	<input type="checkbox"/> percentiles		
	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt humide	<input type="checkbox"/> écart-type	
• <i>Répartition temporelle</i>	<input checked="" type="checkbox"/> moyenne par pas de temps	<input checked="" type="checkbox"/> moyenne annuelle	<input type="checkbox"/> fluctuations	

ACRONYME :

AEROPOL

**Modèle météorologique :**

Aucun

• *Aucun modèle météorologique :*

- résultats de simulation  
 mesures météorologiques

• *Modèle diagnostique :*

- linéarisation des équations  
 conservation de la masse  
 modèle ID vertical

• *Modèle prognostique :*

- hydrostatique  
 incompressible

 maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :*

- terrain plat et homogène  
 terrain plat et non homogène  
 vallée isolée de profondeur modérée  
 colline isolée de pente modérée  
 collines et vallées de pentes modérées  
 relief de montagne

• *Prise en compte des obstacles :*

- rugosité  
 obstacle isolé  
 groupe d'obstacles

• *Stratification atmosphérique :*

- atmosphère neutre  
 atmosphère stable  
 atmosphère convective  
 brise de mer  
 brise de vallée  
 îlot de chaleur urbain

• *Modèle de sol :*

- sol hétérogène  
 échange de chaleur  
 échange d'humidité

• *Humidité atmosphérique :*

- atmosphère humide  
 microphysique des nuages  
 précipitations

**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :*

- PC  
 Mac Intosh  
 station Unix  
 calcul //

• *Système d'exploitation :*

- DOS  
 Windows  
 Linux  
 Unix

• *Langage utilisé :*

- Fortran  
 C  
 Autre langage

• *Interface utilisateur :*

- aucun (ASCII)  
 intégré

*logiciels de post traitement :*• *Temps de calcul par scénario :*

- < une seconde  
 < une minute  
 < une heure  
 > une heure

• *Modèles liés*

ACRONYME :

AEROPOL

- Références :

*Kaasik, M., 1996: Atmospheric transport and deposition of technogenic calcium: model estimation and field measurement, Proc. Estonian Acad. Sci. Ecol. 6, 41 - 51.*

*Kaasik, M., 1998: Validation of models AEROFOUR and AEROPOL using model validation kit at Mol, Proc. of 5th international Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes, INTRP / Environmental Research Laboratory, 146 - 152.*

*Kaasik, M., Room, R., 199: Estonian Science Foundation, Grant 186, Air Pollution Modelling and Forecast, Final Report, 60 p. (available from contact person).*

ACRONYME :

ARIA IMPACT

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	<b>Aucun</b>			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> Gaussien	<input type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> ponctuelle	<input checked="" type="checkbox"/> linéique	<input checked="" type="checkbox"/> surfacique	<input checked="" type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input checked="" type="checkbox"/> rejet continu	<input checked="" type="checkbox"/> rejet variable	<input checked="" type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input checked="" type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> locale	<input checked="" type="checkbox"/> urbaine	<input type="checkbox"/> régionale	<input type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input checked="" type="checkbox"/> horaire	<input type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input checked="" type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input checked="" type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input type="checkbox"/> fluctuations
<input type="checkbox"/> visibilité de panache	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt	<input type="checkbox"/> chimie	<input checked="" type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>	ARIA Technologie <a href="http://www.aria.fr/french/home/index.html">http://www.aria.fr/french/home/index.html</a>			
• <i>Distributeur du logiciel :</i>	ARIA Technologie <a href="http://www.aria.fr/french/home/index.html">http://www.aria.fr/french/home/index.html</a>			
• <i>Contact :</i>	Florence Jasmin      Tél.:33 1 55 19 99 76      Fax :33 1 55 19 99 62 <a href="http://info@aria.fr">http://info@aria.fr</a>			
• <i>Type de licence :</i>	<input type="checkbox"/> accès libre	<input type="checkbox"/> accès contrôlé	<input checked="" type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input checked="" type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input checked="" type="checkbox"/> doc technique	<input checked="" type="checkbox"/> doc utilisateur	<input type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input checked="" type="checkbox"/> à distance	<input checked="" type="checkbox"/> sur site	<input checked="" type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>				

ACRONYME :

ARIA IMPACT

**Modèle de dispersion :**

- |   |  |   |
|---|--|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> gaussien <input checked="" type="checkbox"/> panache <input type="checkbox"/> bouffées<br>• <u>Modélisation des écarts-types :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input checked="" type="checkbox"/> par classes<br><input type="checkbox"/> continue | <input type="checkbox"/> eulérien 3D<br>• <u>Paramétrisation de la turbulence :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne | <input type="checkbox"/> lagrangien<br>• <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne |
|---|--|---|

**Phénomènes de dispersion représentés :**

- |   |   |   |
|---|---|---|
| • <i>Effets du relief :</i>                           | <input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo  | <input checked="" type="checkbox"/> modèle interne spécifique   |
| • <i>Effets des obstacles :</i>                       | <input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo  | <input type="checkbox"/> modèle interne spécifique  |
| • <i>Effets de la source :</i>                        | <input checked="" type="checkbox"/> source ponctuelle <input checked="" type="checkbox"/> source volumique <input checked="" type="checkbox"/> surhauteur cinématique<br><input checked="" type="checkbox"/> source linéique <input checked="" type="checkbox"/> source variable <input checked="" type="checkbox"/> surhauteur thermique<br><input checked="" type="checkbox"/> source surfacique <input checked="" type="checkbox"/> source multiple <input type="checkbox"/> downwash/flagging |   |
| • <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>  | <input checked="" type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion   | <input checked="" type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion<br><input checked="" type="checkbox"/> réflexion<br><input type="checkbox"/> pénétration<br><input type="checkbox"/> fumigation |
| • <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i> | <input type="checkbox"/> meandering   |   |
| • <i>Fluctuations :</i>                               | <input type="checkbox"/> écart-type de concentration  | <input type="checkbox"/> pdf de concentration   |
| • <i>Chimie</i>                                       | <input type="checkbox"/> chimie simplifiée  | <input type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe  |
| • <i>Déposition :</i>                                 | <input checked="" type="checkbox"/> particules<br><input checked="" type="checkbox"/> sédimentation   | <input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec<br><input checked="" type="checkbox"/> dépôt humide   |
| • <i>Radioactivité :</i>                              | <input checked="" type="checkbox"/> déc. radioactive  | <input type="checkbox"/> filiation radioactive <input type="checkbox"/> débit de dose   |

**Informations sur les données d'entrée :**

- |                                    |   |   |  |
|------------------------------------|---|---|--|
| • <i>Données géographiques :</i>   | <input checked="" type="checkbox"/> relief                          | <input type="checkbox"/> obstacles                    | <input type="checkbox"/> catégories de sol |
| • <i>Données météorologiques :</i> | <input checked="" type="checkbox"/> mesures                         | <input checked="" type="checkbox"/> préprocesseur     | <input type="checkbox"/> champ 3D          |
| • <i>Données d'émission</i>        | <input checked="" type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées | <input checked="" type="checkbox"/> modèle d'émission |  |

**Informations sur les données de sortie :**

- |                                 |  |  |                                       |                              |
|---------------------------------|--|--|---------------------------------------|------------------------------|
| • <i>Format des données :</i>   | <input checked="" type="checkbox"/> fichiers ASCII           | <input type="checkbox"/> cartographies               | <input type="checkbox"/> tracés 3D    | <input type="checkbox"/> Web |
| • <i>Grandeurs calculées :</i>  | <input checked="" type="checkbox"/> concentration moyenne    | <input checked="" type="checkbox"/> percentiles      |                                       |                              |
|                                 | <input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec                | <input checked="" type="checkbox"/> dépôt humide     | <input type="checkbox"/> écart-type   |                              |
| • <i>Répartition temporelle</i> | <input checked="" type="checkbox"/> moyenne par pas de temps | <input checked="" type="checkbox"/> moyenne annuelle | <input type="checkbox"/> fluctuations |                              |



ACRONYME :

ARIA IMPACT

**Modèle météorologique :**

Aucun

• *Aucun modèle météorologique :*

- résultats de simulation  
 mesures météorologiques

• *Modèle diagnostique :*

- linéarisation des équations  
 conservation de la masse  
 modèle ID vertical

• *Modèle prognostique :*

- hydrostatique  
 incompressible

 maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :*

- terrain plat et homogène  
 terrain plat et non homogène  
 vallée isolée de profondeur modérée  
 colline isolée de pente modérée  
 collines et vallées de pentes modérées  
 relief de montagne

• *Prise en compte des obstacles :*

- rugosité  
 obstacle isolé  
 groupe d'obstacles

• *Stratification atmosphérique :*

- atmosphère neutre  
 atmosphère stable  
 atmosphère convective  
 brise de mer  
 brise de vallée  
 îlot de chaleur urbain

• *Modèle de sol :*

- sol hétérogène  
 échange de chaleur  
 échange d'humidité

• *Humidité atmosphérique :*

- atmosphère humide  
 microphysique des nuages  
 précipitations

**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :*

- PC  
 Mac Intosh  
 station Unix  
 calcul //

• *Système d'exploitation :*

- DOS  
 Windows  
 Linux  
 Unix

• *Langage utilisé :*

- Fortran  
 C  
 Autre langage

• *Interface utilisateur :*

- aucun (ASCII)  
 intégré

logiciels de post traitement :  
SAVI 3D• *Temps de calcul par scénario :*

- < une seconde  
 < une minute  
 < une heure  
 > une heure

• *Modèles liés*

ACRONYME :

ARIA IMPACT

- *Références :*

ACRONYME :

ARIA LOCAL

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	<b>Prognostique</b>			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input type="checkbox"/> Gaussien	<input checked="" type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> ponctuelle	<input type="checkbox"/> linéique	<input checked="" type="checkbox"/> surfacique	<input checked="" type="checkbox"/> volumique
	<input checked="" type="checkbox"/> modèle de jet	<input checked="" type="checkbox"/> rejet continu	<input checked="" type="checkbox"/> rejet variable	<input checked="" type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input type="checkbox"/> radioactivité	<input checked="" type="checkbox"/> trafic	<input checked="" type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> locale	<input type="checkbox"/> urbaine	<input type="checkbox"/> régionale	<input type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input checked="" type="checkbox"/> horaire	<input type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input checked="" type="checkbox"/> relief	<input checked="" type="checkbox"/> obstacles	<input checked="" type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input checked="" type="checkbox"/> fluctuations
<input type="checkbox"/> visibilité de panache	<input type="checkbox"/> dépôt	<input type="checkbox"/> chimie	<input type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>	ARIA Technologie <a href="http://www.aria.fr/french/home/index.html">http://www.aria.fr/french/home/index.html</a>			
• <i>Distributeur du logiciel :</i>	ARIA Technologie <a href="http://www.aria.fr/french/home/index.html">http://www.aria.fr/french/home/index.html</a>			
• <i>Contact :</i>	Florence Jasmin	Tél.:	Fax :	
• <i>Type de licence :</i>	<input type="checkbox"/> accès libre	<input type="checkbox"/> accès contrôlé	<input checked="" type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input checked="" type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input checked="" type="checkbox"/> doc technique	<input checked="" type="checkbox"/> doc utilisateur	<input type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input checked="" type="checkbox"/> à distance	<input checked="" type="checkbox"/> sur site	<input checked="" type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>				

ACRONYME :

ARIA LOCAL

**Modèle de dispersion :**

<input type="checkbox"/> gaussien	<input type="checkbox"/> panache	<input type="checkbox"/> bouffées	<input checked="" type="checkbox"/> eulérien 3D	<input type="checkbox"/> lagrangien
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Modélisation des écarts-types :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> par classes</li> <li><input type="checkbox"/> continue</li> </ul> </li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>				

**Phénomènes de dispersion représentés :**

• <i>Effets du relief :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets des obstacles :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> source ponctuelle <input type="checkbox"/> source linéique <input checked="" type="checkbox"/> source surfacique	<input checked="" type="checkbox"/> source volumique <input checked="" type="checkbox"/> source variable <input checked="" type="checkbox"/> source multiple <input type="checkbox"/> surhauteur cinématique <input checked="" type="checkbox"/> surhauteur thermique <input type="checkbox"/> downwash/flagging
• <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>	<input type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion	<input type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion <input type="checkbox"/> réflexion <input type="checkbox"/> pénétration <input type="checkbox"/> fumigation
• <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i>	<input type="checkbox"/> meandering	
• <i>Fluctuations :</i>	<input type="checkbox"/> écart-type de concentration	<input type="checkbox"/> pdf de concentration
• <i>Chimie</i>	<input type="checkbox"/> chimie simplifiée	<input type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe
• <i>Déposition :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> particules <input checked="" type="checkbox"/> sédimentation	<input type="checkbox"/> dépôt sec <input type="checkbox"/> dépôt humide
• <i>Radioactivité :</i>	<input type="checkbox"/> déc. radioactive	<input type="checkbox"/> filiation radioactive <input type="checkbox"/> débit de dose

**Informations sur les données d'entrée :**

• <i>Données géographiques :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> relief	<input checked="" type="checkbox"/> obstacles	<input type="checkbox"/> catégories de sol
• <i>Données météorologiques :</i>	<input type="checkbox"/> mesures	<input type="checkbox"/> préprocesseur	<input checked="" type="checkbox"/> champ 3D
• <i>Données d'émission</i>	<input checked="" type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées	<input checked="" type="checkbox"/> modèle d'émission	

**Informations sur les données de sortie :**

• <i>Format des données :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> fichiers ASCII	<input checked="" type="checkbox"/> cartographies	<input checked="" type="checkbox"/> tracés 3D	<input type="checkbox"/> Web
• <i>Grandeurs calculées :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> concentration moyenne	<input type="checkbox"/> percentiles	<input type="checkbox"/> dépôt sec	<input type="checkbox"/> dépôt humide
• <i>Répartition temporelle</i>	<input checked="" type="checkbox"/> moyenne par pas de temps	<input type="checkbox"/> moyenne annuelle	<input type="checkbox"/> fluctuations	<input type="checkbox"/> écart-type

ACRONYME :

ARIA LOCAL

**Modèle météorologique :****Prognostique**• *Aucun modèle météorologique :*

- résultats de simulation
- mesures météorologiques

• *Modèle diagnostique :*

- linéarisation des équations
- conservation de la masse
- modèle ID vertical

• *Modèle prognostique :*

- hydrostatique
- incompressible

 maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :*

- terrain plat et homogène
- vallée isolée de profondeur modérée
- collines et vallées de pentes modérées

- terrain plat et non homogène
- colline isolée de pente modérée
- relief de montagne

• *Prise en compte des obstacles :*

- rugosité
- obstacle isolé
- groupe d'obstacles

• *Stratification atmosphérique :*

- atmosphère neutre
- atmosphère stable
- atmosphère convective
- brise de mer
- brise de vallée
- îlot de chaleur urbain

• *Modèle de sol :*

- sol hétérogène
- échange de chaleur
- échange d'humidité

• *Humidité atmosphérique :*

- atmosphère humide
- microphysique des nuages
- précipitations

**Validation du modèle :**

aucune validation

validation en soufflerie

campagne de terrain

intercomparaison de modèle

**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :*

PC

Mac Intosh

station Unix

calcul //

• *Système d'exploitation :*

DOS

Windows

Linux

Unix

• *Langage utilisé :*

Fortran

C

Autre langage

• *Interface utilisateur :*

aucun (ASCII)

intégré

*logiciels de post traitement :*• *Temps de calcul par scénario :*

< une seconde

< une minute

< une heure

> une heure

• *Modèles liés*

MERCURE - GEDEON

ACRONYME :

ARIA LOCAL

- Références :

ACRONYME :

ARIA REGIONAL

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	<b>Prognostique</b>			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input type="checkbox"/> Gaussien	<input checked="" type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> ponctuelle	<input checked="" type="checkbox"/> linéique	<input checked="" type="checkbox"/> surfacique	<input checked="" type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input checked="" type="checkbox"/> rejet continu	<input checked="" type="checkbox"/> rejet variable	<input checked="" type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input type="checkbox"/> radioactivité	<input checked="" type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input checked="" type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input type="checkbox"/> locale	<input checked="" type="checkbox"/> urbaine	<input checked="" type="checkbox"/> régionale	<input type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input checked="" type="checkbox"/> horaire	<input type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input checked="" type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input checked="" type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input type="checkbox"/> fluctuations
<input type="checkbox"/> visibilité de panache	<input type="checkbox"/> dépôt	<input checked="" type="checkbox"/> chimie	<input type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>	ARIA Technologie <a href="http://www.aria.fr/french/home/index.html">http://www.aria.fr/french/home/index.html</a>			
• <i>Distributeur du logiciel :</i>	ARIA Technologie <a href="http://www.aria.fr/french/home/index.html">http://www.aria.fr/french/home/index.html</a>			
• <i>Contact :</i>	Florence Jasmin	Tél.:	Fax :	
• <i>Type de licence :</i>	<input type="checkbox"/> accès libre	<input type="checkbox"/> accès contrôlé	<input checked="" type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input checked="" type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input checked="" type="checkbox"/> doc technique	<input checked="" type="checkbox"/> doc utilisateur	<input checked="" type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input checked="" type="checkbox"/> à distance	<input checked="" type="checkbox"/> sur site	<input checked="" type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>				

ACRONYME :

ARIA REGIONAL

**Modèle de dispersion :**

- |  |  |   |
|--|--|---|
| <input type="checkbox"/> gaussien <input type="checkbox"/> panache <input type="checkbox"/> bouffées<br>• <u>Modélisation des écarts-types :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input type="checkbox"/> par classes<br><input type="checkbox"/> continue | <input checked="" type="checkbox"/> eulérien 3D<br>• <u>Paramétrisation de la turbulence :</u><br><input checked="" type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne | <input type="checkbox"/> lagrangien<br>• <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne |
|--|--|---|

**Phénomènes de dispersion représentés :**

- |   |  |   |
|---|--|---|
| • <i>Effets du relief :</i>                           | <input checked="" type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo  | <input type="checkbox"/> modèle interne spécifique  |
| • <i>Effets des obstacles :</i>                       | <input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo   | <input type="checkbox"/> modèle interne spécifique  |
| • <i>Effets de la source :</i>                        | <input checked="" type="checkbox"/> source ponctuelle <input checked="" type="checkbox"/> source volumique<br><input checked="" type="checkbox"/> source linéique <input checked="" type="checkbox"/> source variable<br><input checked="" type="checkbox"/> source surfacique <input checked="" type="checkbox"/> source multiple | <input type="checkbox"/> surhauteur cinématique<br><input type="checkbox"/> surhauteur thermique<br><input type="checkbox"/> downwash/flagging                                    |
| • <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>  | <input type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion   | <input type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion<br><input type="checkbox"/> réflexion<br><input type="checkbox"/> pénétration<br><input type="checkbox"/> fumigation |
| • <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i> | <input type="checkbox"/> meandering  |   |
| • <i>Fluctuations :</i>                               | <input type="checkbox"/> écart-type de concentration   | <input type="checkbox"/> pdf de concentration   |
| • <i>Chimie</i>                                       | <input type="checkbox"/> chimie simplifiée   | <input checked="" type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe   |
| • <i>Déposition :</i>                                 | <input type="checkbox"/> particules<br><input type="checkbox"/> sédimentation  | <input type="checkbox"/> dépôt sec<br><input type="checkbox"/> dépôt humide   |
| • <i>Radioactivité :</i>                              | <input type="checkbox"/> déc. radioactive  | <input type="checkbox"/> filiation radioactive <input type="checkbox"/> débit de dose   |

**Informations sur les données d'entrée :**

- |                                    |   |   |   |
|------------------------------------|---|---|---|
| • <i>Données géographiques :</i>   | <input checked="" type="checkbox"/> relief                          | <input type="checkbox"/> obstacles                    | <input checked="" type="checkbox"/> catégories de sol |
| • <i>Données météorologiques :</i> | <input type="checkbox"/> mesures                                    | <input type="checkbox"/> préprocesseur                | <input checked="" type="checkbox"/> champ 3D          |
| • <i>Données d'émission</i>        | <input checked="" type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées | <input checked="" type="checkbox"/> modèle d'émission |   |

**Informations sur les données de sortie :**

- |                                 |  |   |   |   |
|---------------------------------|--|---|---|---|
| • <i>Format des données :</i>   | <input checked="" type="checkbox"/> fichiers ASCII           | <input checked="" type="checkbox"/> cartographies | <input checked="" type="checkbox"/> tracés 3D | <input type="checkbox"/> Web  |
| • <i>Grandeurs calculées :</i>  | <input checked="" type="checkbox"/> concentration moyenne    | <input type="checkbox"/> percentiles              | <input type="checkbox"/> dépôt sec            | <input type="checkbox"/> dépôt humide <input type="checkbox"/> écart-type |
| • <i>Répartition temporelle</i> | <input checked="" type="checkbox"/> moyenne par pas de temps | <input type="checkbox"/> moyenne annuelle         | <input type="checkbox"/> fluctuations         |   |



ACRONYME :

ARIA REGIONAL

**Modèle météorologique :****Prognostique**• *Aucun modèle météorologique :*

- résultats de simulation
- mesures météorologiques

• *Modèle diagnostique :*

- linéarisation des équations
- conservation de la masse
- modèle ID vertical

• *Modèle prognostique :*

- hydrostatique
- incompressible

 maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :*

- terrain plat et homogène
- terrain plat et non homogène
- vallée isolée de profondeur modérée
- colline isolée de pente modérée
- collines et vallées de pentes modérées
- relief de montagne

• *Prise en compte des obstacles :*

- rugosité
- obstacle isolé
- groupe d'obstacles

• *Stratification atmosphérique :*

- atmosphère neutre
- atmosphère stable
- atmosphère convective
- brise de mer
- brise de vallée
- îlot de chaleur urbain

• *Modèle de sol :*

- sol hétérogène
- échange de chaleur
- échange d'humidité

• *Humidité atmosphérique :*

- atmosphère humide
- microphysique des nuages
- précipitations

**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :*

PC

Mac Intosh

station Unix

calcul //

• *Système d'exploitation :*

DOS

Windows

Linux

Unix

• *Langage utilisé :*

Fortran

C

Autre langage

• *Interface utilisateur :*

aucun (ASCII)

intégré

*logiciels de post traitement :*• *Temps de calcul par scénario :*

< une seconde

< une minute

< une heure

> une heure

• *Modèles liés*

*MINERVE (modèle diagnostique) - MERCURE, HERMES (modèle prognostique) - AIRQUAL, UAM, CAMx (modèle de chimie)*

ACRONYME :

ARIA REGIONAL

- Références :

ACRONYME :

AUSTAL2000

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	<b>Diagnostic</b>			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input type="checkbox"/> Gaussien	<input type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input checked="" type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input type="checkbox"/> ponctuelle	<input type="checkbox"/> linéique	<input type="checkbox"/> surfacique	<input type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input type="checkbox"/> rejet continu	<input type="checkbox"/> rejet variable	<input type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> locale	<input checked="" type="checkbox"/> urbaine	<input checked="" type="checkbox"/> régionale	<input type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input checked="" type="checkbox"/> horaire	<input type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input checked="" type="checkbox"/> relief	<input checked="" type="checkbox"/> obstacles	<input checked="" type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input type="checkbox"/> fluctuations
<input type="checkbox"/> visibilité de panache	<input type="checkbox"/> dépôt	<input type="checkbox"/> chimie	<input type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>	Federal Environmental Agency			
• <i>Distributeur du logiciel :</i>	Janicke Consulting <a href="http://www.janicke.de/">http://www.janicke.de/</a>			
• <i>Contact :</i>	Tél.:		Fax :	
• <i>Type de licence :</i>	<input type="checkbox"/> accès libre	<input type="checkbox"/> accès contrôlé	<input checked="" type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input checked="" type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input type="checkbox"/> doc technique	<input type="checkbox"/> doc utilisateur	<input type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>				

ACRONYME :

AUSTAL2000

**Modèle de dispersion :**

<input type="checkbox"/> gaussien	<input checked="" type="checkbox"/> panache	<input checked="" type="checkbox"/> bouffées	<input type="checkbox"/> eulérien 3D	<input checked="" type="checkbox"/> lagrangien
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Modélisation des écarts-types :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> par classes</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> continue</li> </ul> </li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>

**Phénomènes de dispersion représentés :**

• <i>Effets du relief :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input checked="" type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets des obstacles :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input checked="" type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> source ponctuelle <input checked="" type="checkbox"/> source volumique <input checked="" type="checkbox"/> surhauteur cinématique <input checked="" type="checkbox"/> source linéique <input checked="" type="checkbox"/> source variable <input checked="" type="checkbox"/> surhauteur thermique <input checked="" type="checkbox"/> source surfacique <input checked="" type="checkbox"/> source multiple <input checked="" type="checkbox"/> downwash/flagging	
• <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion	<input checked="" type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion <input checked="" type="checkbox"/> réflexion <input checked="" type="checkbox"/> pénétration <input checked="" type="checkbox"/> fumigation
• <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> meandering	
• <i>Fluctuations :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> écart-type de concentration	<input checked="" type="checkbox"/> pdf de concentration
• <i>Chimie</i>	<input checked="" type="checkbox"/> chimie simplifiée	<input checked="" type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe
• <i>Déposition :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> particules	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec
	<input checked="" type="checkbox"/> sédimentation	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt humide
• <i>Radioactivité :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> déc. radioactive	<input checked="" type="checkbox"/> filiation radioactive <input checked="" type="checkbox"/> débit de dose

**Informations sur les données d'entrée :**

• <i>Données géographiques :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> relief	<input checked="" type="checkbox"/> obstacles	<input checked="" type="checkbox"/> catégories de sol
• <i>Données météorologiques :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> mesures	<input checked="" type="checkbox"/> préprocesseur	<input checked="" type="checkbox"/> champ 3D
• <i>Données d'émission</i>	<input checked="" type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées	<input type="checkbox"/> modèle d'émission	

**Informations sur les données de sortie :**

• <i>Format des données :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> fichiers ASCII	<input checked="" type="checkbox"/> cartographies	<input checked="" type="checkbox"/> tracés 3D	<input checked="" type="checkbox"/> Web
• <i>Grandeurs calculées :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> concentration moyenne	<input checked="" type="checkbox"/> percentiles		
	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt humide	<input checked="" type="checkbox"/> écart-type	
• <i>Répartition temporelle</i>	<input checked="" type="checkbox"/> moyenne par pas de temps	<input checked="" type="checkbox"/> moyenne annuelle	<input checked="" type="checkbox"/> fluctuations	

ACRONYME :

AUSTAL2000

**Modèle météorologique :****Diagnostic**• *Aucun modèle météorologique :*

- résultats de simulation
- mesures météorologiques

• *Modèle diagnostique :*

- linéarisation des équations
- conservation de la masse
- modèle ID vertical

• *Modèle prognostique :*

- hydrostatique
- incompressible

 maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :*

- terrain plat et homogène
- terrain plat et non homogène
- vallée isolée de profondeur modérée
- colline isolée de pente modérée
- collines et vallées de pentes modérées
- relief de montagne

• *Prise en compte des obstacles :*

- rugosité
- obstacle isolé
- groupe d'obstacles

• *Stratification atmosphérique :*

- atmosphère neutre
- atmosphère stable
- atmosphère convective
- brise de mer
- brise de vallée
- îlot de chaleur urbain

• *Modèle de sol :*

- sol hétérogène
- échange de chaleur
- échange d'humidité

• *Humidité atmosphérique :*

- atmosphère humide
- microphysique des nuages
- précipitations

**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :*

- PC
- Mac Intosh
- station Unix
- calcul //

• *Système d'exploitation :*

- DOS
- Windows
- Linux
- Unix

• *Langage utilisé :*

- Fortran
- C
- Autre langage

• *Interface utilisateur :*

- aucun (ASCII)
- intégré

*logiciels de post traitement :*• *Temps de calcul par scénario :*

- < une seconde
- < une minute
- < une heure
- > une heure

• *Modèles liés**DMW : modèle météo diagnostique*

ACRONYME :

AUSTAL2000

- Références :

ACRONYME :

AUSTAL-PC

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	Aucun			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input type="checkbox"/> Gaussien	<input type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> ponctuelle	<input type="checkbox"/> linéique	<input checked="" type="checkbox"/> surfacique	<input type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input type="checkbox"/> rejet continu	<input type="checkbox"/> rejet variable	<input type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> locale	<input checked="" type="checkbox"/> urbaine	<input type="checkbox"/> régionale	<input type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input checked="" type="checkbox"/> horaire	<input type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input type="checkbox"/> relief	<input checked="" type="checkbox"/> obstacles	<input type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input type="checkbox"/> fluctuations
<input type="checkbox"/> visibilité de panache	<input type="checkbox"/> dépôt	<input type="checkbox"/> chimie	<input type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>				
• <i>Distributeur du logiciel :</i>	GEOMET Umweltberatung und Regionalplanung, Luitpoldstraße			
• <i>Contact :</i>	Tél.:		Fax :	
• <i>Type de licence :</i>	<input type="checkbox"/> accès libre	<input type="checkbox"/> accès contrôlé	<input type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input type="checkbox"/> doc technique	<input type="checkbox"/> doc utilisateur	<input type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>				

ACRONYME :

AUSTAL-PC

**Modèle de dispersion :**

<input type="checkbox"/> gaussien	<input type="checkbox"/> panache	<input type="checkbox"/> bouffées	<input type="checkbox"/> eulérien 3D	<input type="checkbox"/> lagrangien
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Modélisation des écarts-types :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> par classes</li> <li><input type="checkbox"/> continue</li> </ul> </li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>				

**Phénomènes de dispersion représentés :**

• <i>Effets du relief :</i>	<input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets des obstacles :</i>	<input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> source ponctuelle <input type="checkbox"/> source volumique <input type="checkbox"/> surhauteur cinématique <input type="checkbox"/> source linéique <input type="checkbox"/> source variable <input type="checkbox"/> surhauteur thermique <input checked="" type="checkbox"/> source surfacique <input type="checkbox"/> source multiple <input type="checkbox"/> downwash/flagging	
• <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>	<input type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion	<input type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion <input type="checkbox"/> réflexion <input type="checkbox"/> pénétration <input type="checkbox"/> fumigation
• <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i>	<input type="checkbox"/> meandering	
• <i>Fluctuations :</i>	<input type="checkbox"/> écart-type de concentration	<input type="checkbox"/> pdf de concentration
• <i>Chimie</i>	<input type="checkbox"/> chimie simplifiée	<input type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe
• <i>Déposition :</i>	<input type="checkbox"/> particules	<input type="checkbox"/> dépôt sec
	<input type="checkbox"/> sédimentation	<input type="checkbox"/> dépôt humide
• <i>Radioactivité :</i>	<input type="checkbox"/> déc. radioactive	<input type="checkbox"/> filiation radioactive <input type="checkbox"/> débit de dose

**Informations sur les données d'entrée :**

• <i>Données géographiques :</i>	<input type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input type="checkbox"/> catégories de sol
• <i>Données météorologiques :</i>	<input type="checkbox"/> mesures	<input type="checkbox"/> préprocesseur	<input type="checkbox"/> champ 3D
• <i>Données d'émission</i>	<input type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées	<input type="checkbox"/> modèle d'émission	

**Informations sur les données de sortie :**

• <i>Format des données :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> fichiers ASCII	<input type="checkbox"/> cartographies	<input type="checkbox"/> tracés 3D	<input type="checkbox"/> Web
• <i>Grandeurs calculées :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> concentration moyenne	<input checked="" type="checkbox"/> percentiles		
	<input type="checkbox"/> dépôt sec	<input type="checkbox"/> dépôt humide	<input type="checkbox"/> écart-type	
• <i>Répartition temporelle</i>	<input checked="" type="checkbox"/> moyenne par pas de temps	<input type="checkbox"/> moyenne annuelle	<input type="checkbox"/> fluctuations	



ACRONYME :

AUSTAL-PC

**Modèle météorologique :**

Aucun

• *Aucun modèle météorologique :* résultats de simulation mesures météorologiques• *Modèle diagnostique :* linéarisation des équations conservation de la masse modèle ID vertical• *Modèle prognostique :* hydrostatique incompressible maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :* terrain plat et homogène vallée isolée de profondeur modérée collines et vallées de pentes modérées terrain plat et non homogène colline isolée de pente modérée relief de montagne• *Prise en compte des obstacles :* rugosité obstacle isolé groupe d'obstacles• *Stratification atmosphérique :* atmosphère neutre atmosphère stable atmosphère convective brise de mer brise de vallée îlot de chaleur urbain• *Modèle de sol :* sol hétérogène échange de chaleur échange d'humidité• *Humidité atmosphérique :* atmosphère humide microphysique des nuages précipitations**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :* PC Mac Intosh station Unix calcul //• *Système d'exploitation :* DOS Windows Linux Unix• *Langage utilisé :* Fortran C Autre langage• *Interface utilisateur :* aucun (ASCII) intégré*logiciels de post traitement :*• *Temps de calcul par scénario :* < une seconde < une minute < une heure > une heure• *Modèles liés*

DEPOSIT : calcul des dépôts - KAMIN I :

ACRONYME :

AUSTAL-PC

- Références :

ACRONYME :

BLP

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	<b>Aucun</b>			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> Gaussien	<input type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> ponctuelle	<input checked="" type="checkbox"/> linéique	<input type="checkbox"/> surfacique	<input type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input checked="" type="checkbox"/> rejet continu	<input checked="" type="checkbox"/> rejet variable	<input checked="" type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> locale	<input checked="" type="checkbox"/> urbaine	<input type="checkbox"/> régionale	<input type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input checked="" type="checkbox"/> horaire	<input type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input type="checkbox"/> relief	<input checked="" type="checkbox"/> obstacles	<input checked="" type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input type="checkbox"/> fluctuations
<input type="checkbox"/> visibilité de panache	<input type="checkbox"/> dépôt	<input checked="" type="checkbox"/> chimie	<input type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>	Environmental Protection Agency <a href="http://www.epa.gov/scram001/">http://www.epa.gov/scram001/</a>			
• <i>Distributeur du logiciel :</i>				
• <i>Contact :</i>	Tél.:		Fax :	
• <i>Type de licence :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> accès libre	<input type="checkbox"/> accès contrôlé	<input type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input checked="" type="checkbox"/> doc technique	<input checked="" type="checkbox"/> doc utilisateur	<input checked="" type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>	Modèle recommandé par l'Environmental Protection Agency (remplace en partie le modèle ISC3)			

ACRONYME :

BLP

**Modèle de dispersion :**

- |   |  |   |
|---|--|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> gaussien <input checked="" type="checkbox"/> panache <input type="checkbox"/> bouffées<br>• <u>Modélisation des écarts-types :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input checked="" type="checkbox"/> par classes<br><input type="checkbox"/> continue | <input type="checkbox"/> eulérien 3D<br>• <u>Paramétrisation de la turbulence :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne | <input type="checkbox"/> lagrangien<br>• <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne |
|---|--|---|

**Phénomènes de dispersion représentés :**

- |   |  |   |
|---|--|---|
| • <i>Effets du relief :</i>                           | <input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo   | <input type="checkbox"/> modèle interne spécifique  |
| • <i>Effets des obstacles :</i>                       | <input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo   | <input checked="" type="checkbox"/> modèle interne spécifique   |
| • <i>Effets de la source :</i>                        | <input checked="" type="checkbox"/> source ponctuelle <input type="checkbox"/> source volumique<br><input checked="" type="checkbox"/> source linéique <input checked="" type="checkbox"/> source variable<br><input type="checkbox"/> source surfacique <input checked="" type="checkbox"/> source multiple | <input checked="" type="checkbox"/> surhauteur cinématique<br><input checked="" type="checkbox"/> surhauteur thermique<br><input checked="" type="checkbox"/> downwash/flagging                         |
| • <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>  | <input checked="" type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion  | <input checked="" type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion<br><input checked="" type="checkbox"/> réflexion<br><input type="checkbox"/> pénétration<br><input type="checkbox"/> fumigation |
| • <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i> | <input type="checkbox"/> meandering  |   |
| • <i>Fluctuations :</i>                               | <input type="checkbox"/> écart-type de concentration   | <input type="checkbox"/> pdf de concentration   |
| • <i>Chimie</i>                                       | <input checked="" type="checkbox"/> chimie simplifiée  | <input type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe  |
| • <i>Déposition :</i>                                 | <input type="checkbox"/> particules<br><input type="checkbox"/> sédimentation  | <input type="checkbox"/> dépôt sec<br><input type="checkbox"/> dépôt humide   |
| • <i>Radioactivité :</i>                              | <input type="checkbox"/> déc. radioactive  | <input type="checkbox"/> filiation radioactive <input type="checkbox"/> débit de dose   |

**Informations sur les données d'entrée :**

- |                                    |   |   |  |
|------------------------------------|---|---|--|
| • <i>Données géographiques :</i>   | <input type="checkbox"/> relief                                     | <input checked="" type="checkbox"/> obstacles     | <input type="checkbox"/> catégories de sol |
| • <i>Données météorologiques :</i> | <input checked="" type="checkbox"/> mesures                         | <input checked="" type="checkbox"/> préprocesseur | <input type="checkbox"/> champ 3D          |
| • <i>Données d'émission</i>        | <input checked="" type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées | <input type="checkbox"/> modèle d'émission        |  |

**Informations sur les données de sortie :**

- |                                 |  |  |                                       |                              |
|---------------------------------|--|--|---------------------------------------|------------------------------|
| • <i>Format des données :</i>   | <input checked="" type="checkbox"/> fichiers ASCII           | <input type="checkbox"/> cartographies               | <input type="checkbox"/> tracés 3D    | <input type="checkbox"/> Web |
| • <i>Grandeurs calculées :</i>  | <input checked="" type="checkbox"/> concentration moyenne    | <input type="checkbox"/> percentiles                 |                                       |                              |
|                                 | <input type="checkbox"/> dépôt sec                           | <input type="checkbox"/> dépôt humide                | <input type="checkbox"/> écart-type   |                              |
| • <i>Répartition temporelle</i> | <input checked="" type="checkbox"/> moyenne par pas de temps | <input checked="" type="checkbox"/> moyenne annuelle | <input type="checkbox"/> fluctuations |                              |

ACRONYME :

BLP

**Modèle météorologique :**

Aucun

• *Aucun modèle météorologique :*

- résultats de simulation  
 mesures météorologiques

• *Modèle diagnostique :*

- linéarisation des équations  
 conservation de la masse  
 modèle ID vertical

• *Modèle prognostique :*

- hydrostatique  
 incompressible

 maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :*

- terrain plat et homogène  
 terrain plat et non homogène  
 vallée isolée de profondeur modérée  
 colline isolée de pente modérée  
 collines et vallées de pentes modérées  
 relief de montagne

• *Prise en compte des obstacles :*

- rugosité  
 obstacle isolé  
 groupe d'obstacles

• *Stratification atmosphérique :*

- atmosphère neutre  
 atmosphère stable  
 atmosphère convective  
 brise de mer  
 brise de vallée  
 îlot de chaleur urbain

• *Modèle de sol :*

- sol hétérogène  
 échange de chaleur  
 échange d'humidité

• *Humidité atmosphérique :*

- atmosphère humide  
 microphysique des nuages  
 précipitations

**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :* PC  Mac Intosh  station Unix  calcul //• *Système d'exploitation :* DOS  Windows  Linux  Unix• *Langage utilisé :* Fortran  C  Autre langage• *Interface utilisateur :* aucun (ASCII)  intégré*logiciels de post traitement :*• *Temps de calcul par scénario :* < une seconde  < une minute  < une heure  > une heure• *Modèles liés*

PCRAMMET : préprocesseur météo (interprétation des données météorologiques mesurées : horaires au sol, radiosondages)

ACRONYME :

BLP

- Références :

Schulman, L.L. and J.S. Scire, 1980. *Buoyant Line and Point Source (BLP) Dispersion Model User's Guide, P-7304B. Environmental Research and Technology, Inc., Concord, MA.*

Scire, J.S. and L.L. Schulman, 1981. *Evaluation of the BLP and ISC Models with SF6 Tracer Data and SO2 Measurements at Aluminum Reduction Plants. APCA Specialty Conference on Dispersion Modeling for Complex Sources, St. Louis, MO.*

ACRONYME :

CALGRID

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	<b>Aucun</b>			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input type="checkbox"/> Gaussien	<input checked="" type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> ponctuelle	<input type="checkbox"/> linéique	<input checked="" type="checkbox"/> surfacique	<input type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input checked="" type="checkbox"/> rejet continu	<input checked="" type="checkbox"/> rejet variable	<input checked="" type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input type="checkbox"/> locale	<input type="checkbox"/> urbaine	<input checked="" type="checkbox"/> régionale	<input type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input checked="" type="checkbox"/> horaire	<input type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input checked="" type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input checked="" type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input type="checkbox"/> fluctuations
<input type="checkbox"/> visibilité de panache	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt	<input checked="" type="checkbox"/> chimie	<input type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>				
• <i>Distributeur du logiciel :</i>	Earth Tech Inc <a href="http://www.src.com/aq/amodels1.htm">http://www.src.com/aq/amodels1.htm</a>			
• <i>Contact :</i>	Tél.:		Fax :	
• <i>Type de licence :</i>	<input type="checkbox"/> accès libre	<input checked="" type="checkbox"/> accès contrôlé	<input type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input checked="" type="checkbox"/> doc technique	<input checked="" type="checkbox"/> doc utilisateur	<input type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>				

ACRONYME :

CALGRID

**Modèle de dispersion :**

<input type="checkbox"/> gaussien	<input type="checkbox"/> panache	<input type="checkbox"/> bouffées	<input checked="" type="checkbox"/> eulérien 3D	<input type="checkbox"/> lagrangien
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Modélisation des écarts-types :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> par classes</li> <li><input type="checkbox"/> continue</li> </ul> </li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>				

**Phénomènes de dispersion représentés :**

• <i>Effets du relief :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique	
• <i>Effets des obstacles :</i>	<input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique	
• <i>Effets de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> source ponctuelle <input type="checkbox"/> source linéique <input checked="" type="checkbox"/> source surfacique	<input type="checkbox"/> source volumique <input checked="" type="checkbox"/> source variable <input checked="" type="checkbox"/> source multiple <input checked="" type="checkbox"/> surhauteur cinématique <input checked="" type="checkbox"/> surhauteur thermique <input type="checkbox"/> downwash/flagging	
• <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>	<input type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion	<input type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion <input type="checkbox"/> réflexion <input type="checkbox"/> pénétration <input type="checkbox"/> fumigation	
• <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i>	<input type="checkbox"/> meandering		
• <i>Fluctuations :</i>	<input type="checkbox"/> écart-type de concentration	<input type="checkbox"/> pdf de concentration	
• <i>Chimie</i>	<input checked="" type="checkbox"/> chimie simplifiée	<input checked="" type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe	
• <i>Déposition :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> particules <input checked="" type="checkbox"/> sédimentation	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec <input type="checkbox"/> dépôt humide	
• <i>Radioactivité :</i>	<input type="checkbox"/> déc. radioactive	<input type="checkbox"/> filiation radioactive	<input type="checkbox"/> débit de dose

**Informations sur les données d'entrée :**

• <i>Données géographiques :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input checked="" type="checkbox"/> catégories de sol
• <i>Données météorologiques :</i>	<input type="checkbox"/> mesures	<input type="checkbox"/> préprocesseur	<input checked="" type="checkbox"/> champ 3D
• <i>Données d'émission</i>	<input checked="" type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées	<input type="checkbox"/> modèle d'émission	

**Informations sur les données de sortie :**

• <i>Format des données :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> fichiers ASCII	<input checked="" type="checkbox"/> cartographies	<input checked="" type="checkbox"/> tracés 3D	<input type="checkbox"/> Web	
• <i>Grandeurs calculées :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> concentration moyenne	<input type="checkbox"/> percentiles	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec	<input type="checkbox"/> dépôt humide	<input type="checkbox"/> écart-type
• <i>Répartition temporelle</i>	<input checked="" type="checkbox"/> moyenne par pas de temps	<input type="checkbox"/> moyenne annuelle	<input type="checkbox"/> fluctuations		



ACRONYME :

CALGRID

**Modèle météorologique :**

Aucun

• *Aucun modèle météorologique :*

- résultats de simulation  
 mesures météorologiques

• *Modèle diagnostique :*

- linéarisation des équations  
 conservation de la masse  
 modèle ID vertical

• *Modèle prognostique :*

- hydrostatique  
 incompressible

 maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :*

- terrain plat et homogène  
 terrain plat et non homogène  
 vallée isolée de profondeur modérée  
 colline isolée de pente modérée  
 collines et vallées de pentes modérées  
 relief de montagne

• *Prise en compte des obstacles :*

- rugosité  
 obstacle isolé  
 groupe d'obstacles

• *Stratification atmosphérique :*

- atmosphère neutre  
 atmosphère stable  
 atmosphère convective  
 brise de mer  
 brise de vallée  
 îlot de chaleur urbain

• *Modèle de sol :*

- sol hétérogène  
 échange de chaleur  
 échange d'humidité

• *Humidité atmosphérique :*

- atmosphère humide  
 microphysique des nuages  
 précipitations

**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :*

- PC  
 Mac Intosh  
 station Unix  
 calcul //

• *Système d'exploitation :*

- DOS  
 Windows  
 Linux  
 Unix

• *Langage utilisé :*

- Fortran  
 C  
 Autre langage

• *Interface utilisateur :*

- aucun (ASCII)  
 intégré

logiciels de post traitement :  
CALPOST• *Temps de calcul par scénario :*

- < une seconde  
 < une minute  
 < une heure  
 > une heure

• *Modèles liés*

SAPRC-90 : modèle de chimie - CB-IV : modèle de chimie - CALMET : modèle météorologique

ACRONYME :

CALGRID

• Références :

Kumar N., Russell A. G., Tesche T. W., McNally D. E. (1994): *Evaluation of Calgrid using two different Ozone Episodes and Comparison to UAM Results*. *Atmospheric Environment* 28 (17): 2823-2845.

Hedley M., McLaren R., Jiang W., Singleton D.L. (1996): *Initial modelling of a future year emission control strategy for the Lower Fraser Valley: relative impacts of selected gasoline and natural gas vehicle technologies*, Report No. PET-1362-96S, March 21, 1996, National Research Council, Canada.

Pilinis C., Kassomenos P., Kallos G. (1993): *Modeling of Photochemical Pollution in Athens, Greece. Application of the RAMS-CALGRID Modeling System*. *Atmospheric Environment*, 27B (4): 353-370.

Scire J.S., Hanna S.R., Carmichael G.R., and Chang Y.S. (1989): *CALGRID: A Mesoscale Photochemical Grid Model. Volume 2: User's Guide*. California ARB Report, Sacramento, CA.

Silibello C., Calori G., Brusasca G., Catenacci G., Finzi G. (1998): *Application of a photochemical grid model to Milan metropolitan area*. *Atmospheric Environment* 32, 2025-2038.

Stern, R., Scherer, B., Fath, J. (1997): *Ermittlung und Bewertung der Wirkung von Ozonminderungsmaßnahmen im Rhein-Main-Gebiet mit Hilfe des photochemischen Ausbreitungsmodells CALGRID*. Freie Universität Berlin, Institut für Meteorologie. Abschlußbericht zum Teilvorhaben B-3.1 "Kleinräumige Ozon-Ausbreitungs-rechnungen" im Rahmen des FE-Vorhabens 10402812/01 "Aktionsprogramm und Maßnahmenplan Ozon" des Umweltbundesamts. Im Auftrag der Prognos AG

Yamartino, R.J., Scire J., Moore G., McNaughton D., Fernau M., 1996: *Development of the Regional CALGRID Ozone Model*. AWMA Annual Meeting Paper 96-TA23A.04.

Yamartino, R.J., 1993: *Nonnegative, conserved scalar transport using grid-cell-centered, spectrally constrained Blackman cubics for applications on a variable-thickness mesh*. *Mon. Wea. Rev.*, 121, 753-763.

Yamartino R.J., Scire J.S., Carmichael G.R., and Chang Y.S., (1992) *The CALGRID mesoscale photochemical grid model-I: Model formulation*. *Atmospheric Environment* 26A, p.1493-1512

Yamartino R.J., Scire J.S., Hanna S.R., Carmichael G.R., and Chang Y.S. (1989): *CALGRID: A Mesoscale Photochemical Grid Model. Volume 1: Model Formulation Document*. California ARB Report, Sacramento, CA.

ACRONYME :

CALINE3

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	<b>Aucun</b>			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> Gaussien	<input type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input type="checkbox"/> ponctuelle	<input checked="" type="checkbox"/> linéique	<input type="checkbox"/> surfacique	<input type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input checked="" type="checkbox"/> rejet continu	<input type="checkbox"/> rejet variable	<input checked="" type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input type="checkbox"/> radioactivité	<input checked="" type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> locale	<input checked="" type="checkbox"/> urbaine	<input type="checkbox"/> régionale	<input type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input checked="" type="checkbox"/> horaire	<input checked="" type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input type="checkbox"/> relief	<input checked="" type="checkbox"/> obstacles	<input checked="" type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input type="checkbox"/> fluctuations
<input type="checkbox"/> visibilité de panache	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt	<input type="checkbox"/> chimie	<input type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>				
• <i>Distributeur du logiciel :</i>	Environmental Protection Agency <a href="http://www.epa.gov/scram001/">http://www.epa.gov/scram001/</a>			
• <i>Contact :</i>	Tél.:		Fax :	
• <i>Type de licence :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> accès libre	<input type="checkbox"/> accès contrôlé	<input type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input checked="" type="checkbox"/> doc technique	<input checked="" type="checkbox"/> doc utilisateur	<input type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>	Modèle recommandé par l'EPA			

ACRONYME :

CALINE3

**Modèle de dispersion :**

<input checked="" type="checkbox"/> gaussien	<input checked="" type="checkbox"/> panache	<input type="checkbox"/> bouffées	<input type="checkbox"/> eulérien 3D	<input type="checkbox"/> lagrangien
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Modélisation des écarts-types :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> par classes</li> <li><input type="checkbox"/> continue</li> </ul> </li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>				

**Phénomènes de dispersion représentés :**

• <i>Effets du relief :</i>	<input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets des obstacles :</i>	<input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input checked="" type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets de la source :</i>	<input type="checkbox"/> source ponctuelle <input type="checkbox"/> source volumique <input type="checkbox"/> surhauteur cinématique <input checked="" type="checkbox"/> source linéique <input type="checkbox"/> source variable <input type="checkbox"/> surhauteur thermique <input type="checkbox"/> source surfacique <input checked="" type="checkbox"/> source multiple <input type="checkbox"/> downwash/flagging	
• <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion	<input type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion <input type="checkbox"/> réflexion <input type="checkbox"/> pénétration <input type="checkbox"/> fumigation
• <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i>	<input type="checkbox"/> meandering	
• <i>Fluctuations :</i>	<input type="checkbox"/> écart-type de concentration	<input type="checkbox"/> pdf de concentration
• <i>Chimie</i>	<input type="checkbox"/> chimie simplifiée	<input type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe
• <i>Déposition :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> particules <input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec <input checked="" type="checkbox"/> sédimentation <input type="checkbox"/> dépôt humide	
• <i>Radioactivité :</i>	<input type="checkbox"/> déc. radioactive	<input type="checkbox"/> filiation radioactive <input type="checkbox"/> débit de dose

**Informations sur les données d'entrée :**

• <i>Données géographiques :</i>	<input type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input type="checkbox"/> catégories de sol
• <i>Données météorologiques :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> mesures	<input type="checkbox"/> préprocesseur	<input type="checkbox"/> champ 3D
• <i>Données d'émission</i>	<input checked="" type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées	<input checked="" type="checkbox"/> modèle d'émission	

**Informations sur les données de sortie :**

• <i>Format des données :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> fichiers ASCII	<input type="checkbox"/> cartographies	<input type="checkbox"/> tracés 3D	<input type="checkbox"/> Web
• <i>Grandeurs calculées :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> concentration moyenne	<input type="checkbox"/> percentiles		
	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt humide	<input checked="" type="checkbox"/> écart-type	
• <i>Répartition temporelle</i>	<input checked="" type="checkbox"/> moyenne par pas de temps	<input type="checkbox"/> moyenne annuelle	<input type="checkbox"/> fluctuations	

ACRONYME :

CALINE3

**Modèle météorologique :**

Aucun

• *Aucun modèle météorologique :*

- résultats de simulation  
 mesures météorologiques

• *Modèle diagnostique :*

- linéarisation des équations  
 conservation de la masse  
 modèle ID vertical

• *Modèle prognostique :*

- hydrostatique  
 incompressible

 maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :*

- terrain plat et homogène  
 terrain plat et non homogène  
 vallée isolée de profondeur modérée  
 colline isolée de pente modérée  
 collines et vallées de pentes modérées  
 relief de montagne

• *Prise en compte des obstacles :*

- rugosité  
 obstacle isolé  
 groupe d'obstacles

• *Stratification atmosphérique :*

- atmosphère neutre  
 atmosphère stable  
 atmosphère convective  
 brise de mer  
 brise de vallée  
 îlot de chaleur urbain

• *Modèle de sol :*

- sol hétérogène  
 échange de chaleur  
 échange d'humidité

• *Humidité atmosphérique :*

- atmosphère humide  
 microphysique des nuages  
 précipitations

**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :* PC  Mac Intosh  station Unix  calcul //• *Système d'exploitation :* DOS  Windows  Linux  Unix• *Langage utilisé :* Fortran  C  Autre langage• *Interface utilisateur :* aucun (ASCII)  intégré*logiciels de post traitement :*• *Temps de calcul par scénario :* < une seconde  < une minute  < une heure  > une heure• *Modèles liés*

ACRONYME :

CALINE3

- Références :

*Bemis, G.R., et al, 1977. Air Pollution and roadway Location Design and Operation Project Overview. FHWA-CA-TL-7080-77-25, Federal Highway Administration, Washington DC.*

*Cadle, S.H., et al. 1976. Results of the General Motors Sulfate Dispersion Experiment, GMR-2107. General Motors Research Laboratories, Warren, MI.*

*Dabberdt, W.F., 1975. Studies of Air Quality on and near Highways, Project 2761. Stanford Research Institute, Menlo Park, CA.*

ACRONYME :

CALPUFF

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	<b>Diagnostic</b>			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> Gaussien	<input type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> ponctuelle	<input checked="" type="checkbox"/> linéique	<input checked="" type="checkbox"/> surfacique	<input checked="" type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input checked="" type="checkbox"/> rejet continu	<input checked="" type="checkbox"/> rejet variable	<input checked="" type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> locale	<input checked="" type="checkbox"/> urbaine	<input checked="" type="checkbox"/> régionale	<input type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input checked="" type="checkbox"/> horaire	<input type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input checked="" type="checkbox"/> relief	<input checked="" type="checkbox"/> obstacles	<input checked="" type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input type="checkbox"/> fluctuations
<input checked="" type="checkbox"/> visibilité de panache	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt	<input checked="" type="checkbox"/> chimie	<input type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>	Environmental Protection Agency <a href="http://www.epa.gov/scram001/">http://www.epa.gov/scram001/</a>			
• <i>Distributeur du logiciel :</i>	Earth Tech Inc <a href="http://www.src.com/calpuff/calpuff1.htm">http://www.src.com/calpuff/calpuff1.htm</a>			
• <i>Contact :</i>	Joseph Scire	Tél.:	Fax :	
	<a href="http://jss@src.com">http://jss@src.com</a>			
• <i>Type de licence :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> accès libre	<input type="checkbox"/> accès contrôlé	<input type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input checked="" type="checkbox"/> doc technique	<input checked="" type="checkbox"/> doc utilisateur	<input checked="" type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>	Modèle recommandé par l'Environmental Protection Agency )			

ACRONYME :

CALPUFF

**Modèle de dispersion :**

- |   |  |   |
|---|--|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> gaussien <input type="checkbox"/> panache <input checked="" type="checkbox"/> bouffées<br>• <u>Modélisation des écarts-types :</u><br><input checked="" type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input checked="" type="checkbox"/> par classes<br><input checked="" type="checkbox"/> continue | <input type="checkbox"/> eulérien 3D<br>• <u>Paramétrisation de la turbulence :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne | <input type="checkbox"/> lagrangien<br>• <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne |
|---|--|---|

**Phénomènes de dispersion représentés :**

- |   |  |   |
|---|--|---|
| • <i>Effets du relief :</i>                           | <input checked="" type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo  | <input checked="" type="checkbox"/> modèle interne spécifique   |
| • <i>Effets des obstacles :</i>                       | <input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo   | <input checked="" type="checkbox"/> modèle interne spécifique   |
| • <i>Effets de la source :</i>                        | <input checked="" type="checkbox"/> source ponctuelle <input checked="" type="checkbox"/> source volumique <input checked="" type="checkbox"/> surhauteur cinématique<br><input checked="" type="checkbox"/> source linéique <input checked="" type="checkbox"/> source variable <input checked="" type="checkbox"/> surhauteur thermique<br><input checked="" type="checkbox"/> source surfacique <input checked="" type="checkbox"/> source multiple <input checked="" type="checkbox"/> downwash/flagging |   |
| • <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>  | <input checked="" type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion  | <input checked="" type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion<br><input checked="" type="checkbox"/> réflexion<br><input checked="" type="checkbox"/> pénétration<br><input checked="" type="checkbox"/> fumigation |
| • <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i> | <input checked="" type="checkbox"/> meandering   |   |
| • <i>Fluctuations :</i>                               | <input type="checkbox"/> écart-type de concentration   | <input type="checkbox"/> pdf de concentration   |
| • <i>Chimie</i>                                       | <input checked="" type="checkbox"/> chimie simplifiée  | <input checked="" type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe   |
| • <i>Déposition :</i>                                 | <input checked="" type="checkbox"/> particules<br><input checked="" type="checkbox"/> sédimentation  | <input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec<br><input checked="" type="checkbox"/> dépôt humide   |
| • <i>Radioactivité :</i>                              | <input type="checkbox"/> déc. radioactive  | <input type="checkbox"/> filiation radioactive <input type="checkbox"/> débit de dose   |

**Informations sur les données d'entrée :**

- |                                    |   |   |   |
|------------------------------------|---|---|---|
| • <i>Données géographiques :</i>   | <input checked="" type="checkbox"/> relief                          | <input checked="" type="checkbox"/> obstacles     | <input checked="" type="checkbox"/> catégories de sol |
| • <i>Données météorologiques :</i> | <input checked="" type="checkbox"/> mesures                         | <input checked="" type="checkbox"/> préprocesseur | <input checked="" type="checkbox"/> champ 3D          |
| • <i>Données d'émission</i>        | <input checked="" type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées | <input type="checkbox"/> modèle d'émission        |   |

**Informations sur les données de sortie :**

- |                                 |  |  |                                       |                              |
|---------------------------------|--|--|---------------------------------------|------------------------------|
| • <i>Format des données :</i>   | <input checked="" type="checkbox"/> fichiers ASCII           | <input type="checkbox"/> cartographies           | <input type="checkbox"/> tracés 3D    | <input type="checkbox"/> Web |
| • <i>Grandeurs calculées :</i>  | <input checked="" type="checkbox"/> concentration moyenne    | <input type="checkbox"/> percentiles             |                                       |                              |
|                                 | <input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec                | <input checked="" type="checkbox"/> dépôt humide | <input type="checkbox"/> écart-type   |                              |
| • <i>Répartition temporelle</i> | <input checked="" type="checkbox"/> moyenne par pas de temps | <input type="checkbox"/> moyenne annuelle        | <input type="checkbox"/> fluctuations |                              |



ACRONYME :

CALPUFF

**Modèle météorologique :****Diagnostic**• *Aucun modèle météorologique :*

- résultats de simulation
- mesures météorologiques

• *Modèle diagnostique :*

- linéarisation des équations
- conservation de la masse
- modèle ID vertical

• *Modèle prognostique :*

- hydrostatique
- incompressible

 maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :*

- terrain plat et homogène
- terrain plat et non homogène
- vallée isolée de profondeur modérée
- colline isolée de pente modérée
- collines et vallées de pentes modérées
- relief de montagne

• *Prise en compte des obstacles :*

- rugosité
- obstacle isolé
- groupe d'obstacles

• *Stratification atmosphérique :*

- atmosphère neutre
- atmosphère stable
- atmosphère convective
- brise de mer
- brise de vallée
- îlot de chaleur urbain

• *Modèle de sol :*

- sol hétérogène
- échange de chaleur
- échange d'humidité

• *Humidité atmosphérique :*

- atmosphère humide
- microphysique des nuages
- précipitations

**Validation du modèle :**

aucune validation

validation en soufflerie

campagne de terrain

intercomparaison de modèle

**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :*

- PC
- Mac Intosh
- station Unix
- calcul //

• *Système d'exploitation :*

- DOS
- Windows
- Linux
- Unix

• *Langage utilisé :*

- Fortran
- C
- Autre langage

• *Interface utilisateur :*

- aucun (ASCII)
- intégré
- logiciels de post traitement :*  
PRTMET, CALPOST

• *Temps de calcul par scénario :*

- < une seconde
- < une minute
- < une heure
- > une heure

• *Modèles liés*

CALMET : modèle météorologique diagnostique - PRTMET, CALPOST : logiciels de post traitement

ACRONYME :

CALPUFF

- Références :

*Berman, S., J.Y. Ku, J. Zhang, and S.T. Rao, 1977: Uncertainties in estimating the mixing depth—Comparing three mixing depth models with profiler measurements, Atmospheric Environment, 31: 3023–3039.*

*Environmental Protection Agency, 1998. Interagency Workgroup on Air Quality Modeling (IWAQM) Phase 2 Summary Report and Recommendations for Modeling Long-Range Transport Impacts. EPA publication No. EPA-454/R-98-019. U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC.*

*Irwin, J.S. 1997. A Comparison of CALPUFF Modeling Results with 1997 INEL Field Data Results. In Air Pollution Modeling and its Application, XII. Edited by S.E. Gyrring and N. Chaumerliac. Plenum Press, New York, NY.*

*Irwin, J.S., J.S. Scire, and D.G. Strimaitis, 1996. A Comparison of CALPUFF Modeling Results with CAPTEX Field Data Results. In Air Pollution Modeling and its Application, XI. Edited by S.E. Gyrring and F.A. Schiermeier. Plenum Press, New York, NY.*

*Strimaitis, D.G., J.S. Scire and J.C. Chang. 1998. Evaluation of the CALPUFF Dispersion Model with Two Power Plant Data Sets. Tenth Joint Conference on the Application of Air Pollution Meteorology, Phoenix, Arizona. American Meteorological Society, Boston, MA. January 11–16, 1998.*

ACRONYME :

CAMx

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	<b>Aucun</b>			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input type="checkbox"/> Gaussien	<input checked="" type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> ponctuelle	<input type="checkbox"/> linéique	<input checked="" type="checkbox"/> surfacique	<input type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input checked="" type="checkbox"/> rejet continu	<input checked="" type="checkbox"/> rejet variable	<input checked="" type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input type="checkbox"/> locale	<input checked="" type="checkbox"/> urbaine	<input checked="" type="checkbox"/> régionale	<input type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input checked="" type="checkbox"/> horaire	<input type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input checked="" type="checkbox"/> relief	<input checked="" type="checkbox"/> obstacles	<input checked="" type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input type="checkbox"/> fluctuations
<input type="checkbox"/> visibilité de panache	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt	<input checked="" type="checkbox"/> chimie	<input type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>	ENVIRON International Corporation <a href="http://www.camx.com/index.html">http://www.camx.com/index.html</a>			
• <i>Distributeur du logiciel :</i>	ENVIRON International Corporation <a href="http://www.camx.com/index.html">http://www.camx.com/index.html</a>			
• <i>Contact :</i>	Tél.:		Fax :	
• <i>Type de licence :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> accès libre	<input type="checkbox"/> accès contrôlé	<input type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input checked="" type="checkbox"/> doc technique	<input checked="" type="checkbox"/> doc utilisateur	<input checked="" type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>				

ACRONYME :

CAMx

**Modèle de dispersion :**

- |  |  |   |
|--|--|---|
| <input type="checkbox"/> gaussien <input type="checkbox"/> panache <input type="checkbox"/> bouffées<br>• <u>Modélisation des écarts-types :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input type="checkbox"/> par classes<br><input type="checkbox"/> continue | <input checked="" type="checkbox"/> eulérien 3D<br>• <u>Paramétrisation de la turbulence :</u><br><input checked="" type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne | <input type="checkbox"/> lagrangien<br>• <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne |
|--|--|---|

**Phénomènes de dispersion représentés :**

- |   |   |
|---|---|
| • <i>Effets du relief :</i>                           | <input checked="" type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo <input type="checkbox"/> modèle interne spécifique  |
| • <i>Effets des obstacles :</i>                       | <input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo <input type="checkbox"/> modèle interne spécifique   |
| • <i>Effets de la source :</i>                        | <input checked="" type="checkbox"/> source ponctuelle <input type="checkbox"/> source volumique <input checked="" type="checkbox"/> surhauteur cinématique<br><input type="checkbox"/> source linéique <input checked="" type="checkbox"/> source variable <input checked="" type="checkbox"/> surhauteur thermique<br><input checked="" type="checkbox"/> source surfacique <input checked="" type="checkbox"/> source multiple <input type="checkbox"/> downwash/flagging |
| • <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>  | <input type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion<br><input checked="" type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion <input type="checkbox"/> réflexion<br><input type="checkbox"/> pénétration<br><input type="checkbox"/> fumigation   |
| • <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i> | <input type="checkbox"/> meandering   |
| • <i>Fluctuations :</i>                               | <input type="checkbox"/> écart-type de concentration <input type="checkbox"/> pdf de concentration  |
| • <i>Chimie</i>                                       | <input checked="" type="checkbox"/> chimie simplifiée <input checked="" type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe   |
| • <i>Déposition :</i>                                 | <input checked="" type="checkbox"/> particules <input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec<br><input type="checkbox"/> sédimentation <input checked="" type="checkbox"/> dépôt humide   |
| • <i>Radioactivité :</i>                              | <input type="checkbox"/> déc. radioactive <input type="checkbox"/> filiation radioactive <input type="checkbox"/> débit de dose   |

**Informations sur les données d'entrée :**

- |                                    |   |
|------------------------------------|---|
| • <i>Données géographiques :</i>   | <input checked="" type="checkbox"/> relief <input type="checkbox"/> obstacles <input checked="" type="checkbox"/> catégories de sol |
| • <i>Données météorologiques :</i> | <input type="checkbox"/> mesures <input type="checkbox"/> préprocesseur <input checked="" type="checkbox"/> champ 3D                |
| • <i>Données d'émission</i>        | <input checked="" type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées <input type="checkbox"/> modèle d'émission                      |

**Informations sur les données de sortie :**

- |                                 |  |
|---------------------------------|--|
| • <i>Format des données :</i>   | <input checked="" type="checkbox"/> fichiers ASCII <input type="checkbox"/> cartographies <input checked="" type="checkbox"/> tracés 3D <input type="checkbox"/> Web   |
| • <i>Grandeurs calculées :</i>  | <input checked="" type="checkbox"/> concentration moyenne <input type="checkbox"/> percentiles<br><input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec <input checked="" type="checkbox"/> dépôt humide <input type="checkbox"/> écart-type |
| • <i>Répartition temporelle</i> | <input checked="" type="checkbox"/> moyenne par pas de temps <input type="checkbox"/> moyenne annuelle <input type="checkbox"/> fluctuations   |

ACRONYME :

CAMx

**Modèle météorologique :**

Aucun

• *Aucun modèle météorologique :*

- résultats de simulation  
 mesures météorologiques

• *Modèle diagnostique :*

- linéarisation des équations  
 conservation de la masse  
 modèle ID vertical

• *Modèle prognostique :*

- hydrostatique  
 incompressible

 maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :*

- terrain plat et homogène  
 terrain plat et non homogène  
 vallée isolée de profondeur modérée  
 colline isolée de pente modérée  
 collines et vallées de pentes modérées  
 relief de montagne

• *Prise en compte des obstacles :*

- rugosité  
 obstacle isolé  
 groupe d'obstacles

• *Stratification atmosphérique :*

- atmosphère neutre  
 atmosphère stable  
 atmosphère convective  
 brise de mer  
 brise de vallée  
 îlot de chaleur urbain

• *Modèle de sol :*

- sol hétérogène  
 échange de chaleur  
 échange d'humidité

• *Humidité atmosphérique :*

- atmosphère humide  
 microphysique des nuages  
 précipitations

**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :*

- PC  
 Mac Intosh  
 station Unix  
 calcul //

• *Système d'exploitation :*

- DOS  
 Windows  
 Linux  
 Unix

• *Langage utilisé :*

- Fortran  
 C  
 Autre langage

• *Interface utilisateur :*

- aucun (ASCII)  
 intégré

*logiciels de post traitement :*• *Temps de calcul par scénario :*

- < une seconde  
 < une minute  
 < une heure  
 > une heure

• *Modèles liés*

CB-IV : modèle de photochimie Carbon Bond Version IV - SAPRC97 :  
 modèle de photochimie du State Air Pollution Research Center

ACRONYME :

CAMx

- Références :

- 1/ Sonoma Technology, Inc., 1997. *Peer Review of ENVIRON's Ozone Source Apportionment Technology and the CAMx Air Quality Model, Final Report STI996203-1732-FR. Prepared for the Division of Air Pollution Control Ohio Environmental Protection Agency.*
- 2/ Sonoma Technology, Inc., 1997. *Comparison of CAMx and UAM-V Model Performance for Two Ozone Episodes in the Eastern United States, Final Report STI-996203-1733-FR. Prepared for the Division of Air Pollution Control Ohio Environmental Protection Agency.*
- 3/ Reynolds, S. and P. Roth, 1997. *Peer Review of the CAMx Ozone Source Apportionment Technology. Report from the EPA Source Attribution Workshop, July 16-18, 1997 RTP, NC. U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, North Carolina.*
- 4/ TNRC, 1998. *Comparative Evaluation of CAMx and UAM for the Houston/Beaumont COAST Domain. Letter from James W. Thomas P.E. Texas Natural Resources Conservation Commission to Thomas Diggs EPA Region 6 dated April 13, 1998.*
- 5/ McNally, D.E. and T.W. Tesche, 1997a. "Modeled Effects of Indiana Point Source Nox Emissions Reductions on Local and Regional 1-hr and 8-hr Ground Level Ozone Concentrations in 1995 and 2007 Using Two OTAG Oxidant Episodes", prepared for the Indiana Electric Utility Air Workgroup, prepared by Alpine Geophysics, LLC, Golden, CO.
- 6/ McNally, D.E. and T.W. Tesche, 1997b. "Comparative Evaluation of the CAMx and UAM-V Models Over the Northeastern U.S. Using the July 1995 OTAG Episode and the NARSTO-NE Intensive Field Study Data", prepared for the Virginia Department of Environmental Quality, prepared by Alpine Geophysics, LLC, Golden, CO.
- 7/ McNally, D.E. et al., 1998. "Photochemical Modeling Analysis of the Effects of Electric Utility NOx Emissions Reductions in Eastern Missouri on 1-Hr and 8-Hr Ozone Concentrations", prepared for the Missouri Electric Utility Environmental Committee, prepared by Alpine Geophysics, LLC, Boulder, CO.
- 8/ Tesche, T.W. and D.E. McNally, 1998. "Cincinnati-Hamilton Ozone Attainment Demonstration Study: Volume 7: Model Evaluation and Assessment of Model Reliability for Attainment Demonstration", prepared for the Ohio Environmental Protection Agency, prepared by Alpine Geophysics, LLC, Ft. Wright, KY.
- 9/ Tesche, T.W. et al., 1998a, "Photochemical Modeling Analysis of the Effects of VOC and Nox Emissions Reductions on 1-hr and 8-hr Ozone Concentrations in Kentucky", prepared for Louisville Gas and Electric Co., prepared by Alpine Geophysics, LLC, Ft. Wright, KY.
- 10/ Tesche, T.W. et al., 1998b, "Photochemical Modeling Analysis of the Effects of VOC and Nox Emissions Reductions in the Kansas City Nonattainment Area on 1-hr and 8-hr Ozone Concentrations", prepared for Kansas City Gas and Electric Co., prepared by Alpine Geophysics, LLC, Ft. Wright, KY.
- 11/ Tesche, T.W. et al., 1998c, "Photochemical Modeling Analysis of the Subregional Effects of the EPA Section 110 SIP Call Within and Downwind of the State of Virginia", prepared for Allied Signal, Inc., prepared by Alpine Geophysics, LLC, Ft. Wright, KY.
- 12/ Tesche, T.W. et al., 1998d, "Analysis of the Effects of VOC and NOx Emissions Reductions in the Eastern United States on Peak 1-hr and 8-hr Ozone Concentrations", prepared for the Midwest Ozone Group, prepared by Alpine Geophysics, LLC, Ft. Wright, KY.
- 13/ Morris R.E., G. Yarwood, G.M. Wilson and K. Lee. 1997. "Comparison of the CAMx Ozone Source Apportionment Results with Targeted Geographic Region UAM-V Emissions Reduction Sensitivity Scenarios" Prepared for Division of Air Pollution Control Ohio Environmental Protection Agency. Environ International Corporation, Novato, California, September.
- 14/ Lehmann, E., 1998. "The Predictive Performance of The Photochemical Grid Models UAM-V and CAMx for The Northeast Corridor". Presented at the Air & Waste Management Association 91st Annual Meeting & Exhibition, San Diego, California, June 14-18, 1998.
- 15/ Morris, R.E., G.M. Wilson, E. Tai and J. Hower, 1998. *Assessment of the Contribution of Industrial and Other Source Sectors to Ozone Exceedances in the Eastern United States, Final Report. Prepared for Division of Air Pollution Control Ohio Environmental Protection Agency, prepared by ENVIRON International Corporation, Novato, California, June, 1998.*
- 16/ Yocke, M.A. et al., 1996. *Future-Year Boundary Conditions for Urban Airshed Modeling for the State of Texas, Final Report. Prepared for Texas Natural Resource Conservation Commission, prepared by ENVIRON International Corporation, Novato, California, Sonoma Technology, Inc., Santa Rosa, California, and ASTER\*/MRC, Fort Collins, Colorado, August, 1996.*

ACRONYME :

CFX-TASCflow

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	<b>Prognostique</b>			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input type="checkbox"/> Gaussien	<input checked="" type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input type="checkbox"/> ponctuelle	<input type="checkbox"/> linéique	<input checked="" type="checkbox"/> surfacique	<input type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input checked="" type="checkbox"/> rejet continu	<input checked="" type="checkbox"/> rejet variable	<input checked="" type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> locale	<input type="checkbox"/> urbaine	<input type="checkbox"/> régionale	<input type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input checked="" type="checkbox"/> horaire	<input type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input type="checkbox"/> relief	<input checked="" type="checkbox"/> obstacles	<input checked="" type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input type="checkbox"/> fluctuations
<input type="checkbox"/> visibilité de panache	<input type="checkbox"/> dépôt	<input type="checkbox"/> chimie	<input type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>	CFX <a href="http://www.software.aeat.com/cfx/">http://www.software.aeat.com/cfx/</a>			
• <i>Distributeur du logiciel :</i>	CFX <a href="http://www.software.aeat.com/cfx/products/cfx-5/sol3.htm">http://www.software.aeat.com/cfx/products/cfx-5/sol3.htm</a>			
• <i>Contact :</i>	Tél.:		Fax :	
• <i>Type de licence :</i>	<input type="checkbox"/> accès libre	<input type="checkbox"/> accès contrôlé	<input checked="" type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input checked="" type="checkbox"/> doc technique	<input checked="" type="checkbox"/> doc utilisateur	<input type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>				

ACRONYME :

CFX-TASCflow

**Modèle de dispersion :**

<input type="checkbox"/> gaussien	<input type="checkbox"/> panache	<input type="checkbox"/> bouffées	<input checked="" type="checkbox"/> eulérien 3D	<input type="checkbox"/> lagrangien
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Modélisation des écarts-types :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> par classes</li> <li><input type="checkbox"/> continue</li> </ul> </li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>				

**Phénomènes de dispersion représentés :**

• <i>Effets du relief :</i>	<input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets des obstacles :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input checked="" type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets de la source :</i>	<input type="checkbox"/> source ponctuelle <input type="checkbox"/> source volumique <input type="checkbox"/> surhauteur cinématique <input type="checkbox"/> source linéique <input checked="" type="checkbox"/> source variable <input type="checkbox"/> surhauteur thermique <input checked="" type="checkbox"/> source surfacique <input checked="" type="checkbox"/> source multiple <input type="checkbox"/> downwash/flagging	
• <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>	<input type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion	<input type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion <input type="checkbox"/> réflexion <input type="checkbox"/> pénétration <input type="checkbox"/> fumigation
• <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i>	<input type="checkbox"/> meandering	
• <i>Fluctuations :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> écart-type de concentration	<input checked="" type="checkbox"/> pdf de concentration
• <i>Chimie</i>	<input type="checkbox"/> chimie simplifiée	<input type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe
• <i>Déposition :</i>	<input type="checkbox"/> particules	<input type="checkbox"/> dépôt sec
	<input type="checkbox"/> sédimentation	<input type="checkbox"/> dépôt humide
• <i>Radioactivité :</i>	<input type="checkbox"/> déc. radioactive	<input type="checkbox"/> filiation radioactive <input type="checkbox"/> débit de dose

**Informations sur les données d'entrée :**

• <i>Données géographiques :</i>	<input type="checkbox"/> relief	<input checked="" type="checkbox"/> obstacles	<input type="checkbox"/> catégories de sol
• <i>Données météorologiques :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> mesures	<input type="checkbox"/> préprocesseur	<input type="checkbox"/> champ 3D
• <i>Données d'émission</i>	<input checked="" type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées	<input type="checkbox"/> modèle d'émission	

**Informations sur les données de sortie :**

• <i>Format des données :</i>	<input type="checkbox"/> fichiers ASCII	<input type="checkbox"/> cartographies	<input checked="" type="checkbox"/> tracés 3D	<input type="checkbox"/> Web
• <i>Grandeurs calculées :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> concentration moyenne	<input type="checkbox"/> percentiles		
	<input type="checkbox"/> dépôt sec	<input type="checkbox"/> dépôt humide	<input type="checkbox"/> écart-type	
• <i>Répartition temporelle</i>	<input checked="" type="checkbox"/> moyenne par pas de temps	<input type="checkbox"/> moyenne annuelle	<input type="checkbox"/> fluctuations	



ACRONYME :

CFX-TASCflow

**Modèle météorologique :****Prognostique**• *Aucun modèle météorologique :*

- résultats de simulation
- mesures météorologiques

• *Modèle diagnostique :*

- linéarisation des équations
- conservation de la masse
- modèle ID vertical

• *Modèle prognostique :*

- hydrostatique
- incompressible

 maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :*

- terrain plat et homogène  terrain plat et non homogène
- vallée isolée de profondeur modérée  colline isolée de pente modérée
- collines et vallées de pentes modérées  relief de montagne

• *Prise en compte des obstacles :*

- rugosité  obstacle isolé  groupe d'obstacles

• *Stratification atmosphérique :*

- atmosphère neutre  brise de mer
- atmosphère stable  brise de vallée
- atmosphère convective  îlot de chaleur urbain

• *Modèle de sol :*

- sol hétérogène  échange de chaleur  échange d'humidité

• *Humidité atmosphérique :*

- atmosphère humide  microphysique des nuages  précipitations

**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :*

- PC  Mac Intosh  station Unix  calcul //

• *Système d'exploitation :*

- DOS  Windows  Linux  Unix

• *Langage utilisé :*

- Fortran  C  Autre langage

• *Interface utilisateur :*

- aucun (ASCII)  intégré

*logiciels de post traitement :*• *Temps de calcul par scénario :*

- < une seconde  < une minute  < une heure  > une heure

• *Modèles liés*

ACRONYME :

CFX-TASCflow

• Références :

*Celik I., Chen C.J., Roach P.J. and Scheuerer G., eds., (1993), Quantification in Computational Fluid Dynamics, ASME, FED-Vol. 158.*

*Galpin P.F., van Doormaal J.P. and Raithby G.D., (1985), Solution of the incompressible mass and momentum equations by application of a coupled line solver, Int. J. Num. Meth. Fluids, Vol. 5, pp 615 - 625.*

*Moussiopoulos N., Theodoridis G. and Assimakopoulos V., (1998), The influence of fast chemistry on the composition of NOx in the emission input to atmospheric dispersion models, Proceedings of EUROTRAC2 Symposium, Garmisch, March 1998.*

*Raw M.J., (1985), An algebraic multigrid method for the 3-d Navier-Stokes equations, Proc., GAMM-Workshop, Kiel.*

*Zwart P., Britsch M. and Scheuerer G., (1993), Numerische Berechnung der Umstroemung eines Inter-City Express Zuges, Advanced Scientific Computing, Technical report ASCG/TR-93-01, 1993.*

ACRONYME :

CTDMPLUS

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	<b>Autre</b>			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> Gaussien	<input type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> ponctuelle	<input type="checkbox"/> linéique	<input type="checkbox"/> surfacique	<input type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input checked="" type="checkbox"/> rejet continu	<input checked="" type="checkbox"/> rejet variable	<input type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> locale	<input checked="" type="checkbox"/> urbaine	<input type="checkbox"/> régionale	<input type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input checked="" type="checkbox"/> horaire	<input type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input checked="" type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input checked="" type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input type="checkbox"/> fluctuations
<input type="checkbox"/> visibilité de panache	<input type="checkbox"/> dépôt	<input type="checkbox"/> chimie	<input type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>	Environmental Protection Agency <a href="http://www.epa.gov/scram001/">http://www.epa.gov/scram001/</a>			
• <i>Distributeur du logiciel :</i>				
• <i>Contact :</i>	Tél.:		Fax :	
• <i>Type de licence :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> accès libre	<input type="checkbox"/> accès contrôlé	<input type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> aucune	<input checked="" type="checkbox"/> doc technique	<input checked="" type="checkbox"/> doc utilisateur	<input checked="" type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>	Modèle recommandé par l'Environmental Protection Agency (peut être remplacé par CTSCREEN)			

ACRONYME :

CTDMPLUS

**Modèle de dispersion :**

- |  |  |   |
|--|--|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> gaussien <input checked="" type="checkbox"/> panache <input type="checkbox"/> bouffées<br>• <u>Modélisation des écarts-types :</u><br><input checked="" type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input type="checkbox"/> par classes<br><input checked="" type="checkbox"/> continue | <input type="checkbox"/> eulérien 3D<br>• <u>Paramétrisation de la turbulence :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne | <input type="checkbox"/> lagrangien<br>• <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne |
|--|--|---|

**Phénomènes de dispersion représentés :**

- |   |  |  |
|---|--|--|
| • <i>Effets du relief :</i>                           | <input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo   | <input checked="" type="checkbox"/> modèle interne spécifique  |
| • <i>Effets des obstacles :</i>                       | <input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo   | <input type="checkbox"/> modèle interne spécifique   |
| • <i>Effets de la source :</i>                        | <input checked="" type="checkbox"/> source ponctuelle <input type="checkbox"/> source volumique<br><input type="checkbox"/> source linéique <input checked="" type="checkbox"/> source variable<br><input type="checkbox"/> source surfacique <input type="checkbox"/> source multiple | <input checked="" type="checkbox"/> surhauteur cinématique<br><input checked="" type="checkbox"/> surhauteur thermique<br><input type="checkbox"/> downwash/flagging   |
| • <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>  | <input checked="" type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion  | <input checked="" type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion<br><input checked="" type="checkbox"/> réflexion<br><input checked="" type="checkbox"/> pénétration<br><input type="checkbox"/> fumigation |
| • <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i> | <input type="checkbox"/> meandering  |  |
| • <i>Fluctuations :</i>                               | <input type="checkbox"/> écart-type de concentration   | <input type="checkbox"/> pdf de concentration  |
| • <i>Chimie</i>                                       | <input type="checkbox"/> chimie simplifiée   | <input type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe   |
| • <i>Déposition :</i>                                 | <input type="checkbox"/> particules<br><input type="checkbox"/> sédimentation  | <input type="checkbox"/> dépôt sec<br><input type="checkbox"/> dépôt humide  |
| • <i>Radioactivité :</i>                              | <input type="checkbox"/> déc. radioactive  | <input type="checkbox"/> filiation radioactive <input type="checkbox"/> débit de dose  |

**Informations sur les données d'entrée :**

- |                                    |   |   |  |
|------------------------------------|---|---|--|
| • <i>Données géographiques :</i>   | <input checked="" type="checkbox"/> relief                          | <input type="checkbox"/> obstacles                | <input type="checkbox"/> catégories de sol |
| • <i>Données météorologiques :</i> | <input checked="" type="checkbox"/> mesures                         | <input checked="" type="checkbox"/> préprocesseur | <input type="checkbox"/> champ 3D          |
| • <i>Données d'émission</i>        | <input checked="" type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées | <input type="checkbox"/> modèle d'émission        |  |

**Informations sur les données de sortie :**

- |                                 |  |   |                                       |  |
|---------------------------------|--|---|---------------------------------------|--|
| • <i>Format des données :</i>   | <input checked="" type="checkbox"/> fichiers ASCII           | <input type="checkbox"/> cartographies    | <input type="checkbox"/> tracés 3D    | <input type="checkbox"/> Web                   |
| • <i>Grandeurs calculées :</i>  | <input checked="" type="checkbox"/> concentration moyenne    | <input type="checkbox"/> percentiles      | <input type="checkbox"/> dépôt sec    | <input type="checkbox"/> dépôt humide          |
| • <i>Répartition temporelle</i> | <input checked="" type="checkbox"/> moyenne par pas de temps | <input type="checkbox"/> moyenne annuelle | <input type="checkbox"/> fluctuations | <input checked="" type="checkbox"/> écart-type |

ACRONYME :

CTDMPLUS

**Modèle météorologique :****Autre**• *Aucun modèle météorologique :*

- résultats de simulation  
 mesures météorologiques

• *Modèle diagnostique :*

- linéarisation des équations  
 conservation de la masse  
 modèle ID vertical

• *Modèle prognostique :*

- hydrostatique  
 incompressible

 maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :*

- terrain plat et homogène  
 terrain plat et non homogène  
 vallée isolée de profondeur modérée  
 colline isolée de pente modérée  
 collines et vallées de pentes modérées  
 relief de montagne

• *Prise en compte des obstacles :*

- rugosité  
 obstacle isolé  
 groupe d'obstacles

• *Stratification atmosphérique :*

- atmosphère neutre  
 atmosphère stable  
 atmosphère convective  
 brise de mer  
 brise de vallée  
 îlot de chaleur urbain

• *Modèle de sol :*

- sol hétérogène  
 échange de chaleur  
 échange d'humidité

• *Humidité atmosphérique :*

- atmosphère humide  
 microphysique des nuages  
 précipitations

**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :* PC  Mac Intosh  station Unix  calcul //• *Système d'exploitation :* DOS  Windows  Linux  Unix• *Langage utilisé :* Fortran  C  Autre langage• *Interface utilisateur :* aucun (ASCII)  intégré*logiciels de post traitement :*  
CHAVG (?)• *Temps de calcul par scénario :* < une seconde  < une minute  < une heure  > une heure• *Modèles liés*

CTSCREEN : en tant que préprocesseur météo ou en remplacement de CTDMPLUS si pas de données météo disponibles

ACRONYME :

CTDMPLUS

- Références :

*Burns, D.J., L.H. Adams and S.G. Perry, 1990. Testing and Evaluation of the CTDMPLUS Dispersion Model: Daytime Convective Conditions. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC.*

*Paumier, J.O., S.G. Perry and D.J. Burns, 1990. An Analysis of CTDMPLUS Model Predictions with the Lovett Power Plant Data Base. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC.*

*Paumier, J.O., S.G. Perry and D.J. Burns, 1992. CTDMPLUS: A Dispersion Model for Sources near Complex Topography. Part II: Performance Characteristics. Journal of Applied Meteorology, 31(7): 646–660.*

*Wackter, D.J. and R.J. Londergan. 1984. Evaluation of complex terrain air quality simulation models. EPA-450/4-84-017, U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC.*

ACRONYME :

DIPCOT

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	<b>Aucun</b>			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input type="checkbox"/> Gaussien	<input type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input checked="" type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> ponctuelle	<input type="checkbox"/> linéique	<input type="checkbox"/> surfacique	<input type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input checked="" type="checkbox"/> rejet continu	<input checked="" type="checkbox"/> rejet variable	<input checked="" type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> locale	<input checked="" type="checkbox"/> urbaine	<input checked="" type="checkbox"/> régionale	<input type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input checked="" type="checkbox"/> horaire	<input type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input checked="" type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input checked="" type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input type="checkbox"/> fluctuations
<input type="checkbox"/> visibilité de panache	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt	<input type="checkbox"/> chimie	<input type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>	Environmental Research Laboratory, NCSR "DEMOKRITOS" <a href="http://ipta.demokritos.gr/">http://ipta.demokritos.gr/</a>			
• <i>Distributeur du logiciel :</i>	Environmental Research Laboratory, NCSR "DEMOKRITOS"			
• <i>Contact :</i>	Tél.:		Fax :	
• <i>Type de licence :</i>	<input type="checkbox"/> accès libre	<input checked="" type="checkbox"/> accès contrôlé	<input type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input type="checkbox"/> doc technique	<input type="checkbox"/> doc utilisateur	<input type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>				

ACRONYME :

DIPCOT

**Modèle de dispersion :**

- |  |  |   |
|--|--|---|
| <input type="checkbox"/> gaussien <input type="checkbox"/> panache <input type="checkbox"/> bouffées<br>• <u>Modélisation des écarts-types :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input type="checkbox"/> par classes<br><input type="checkbox"/> continue | <input type="checkbox"/> eulérien 3D<br>• <u>Paramétrisation de la turbulence :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne | <input checked="" type="checkbox"/> lagrangien<br>• <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input checked="" type="checkbox"/> modèle spécifique interne |
|--|--|---|

**Phénomènes de dispersion représentés :**

- |   |   |   |
|---|---|---|
| • <i>Effets du relief :</i>                           | <input checked="" type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo   | <input type="checkbox"/> modèle interne spécifique  |
| • <i>Effets des obstacles :</i>                       | <input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo  | <input type="checkbox"/> modèle interne spécifique  |
| • <i>Effets de la source :</i>                        | <input checked="" type="checkbox"/> source ponctuelle <input type="checkbox"/> source volumique<br><input type="checkbox"/> source linéique <input checked="" type="checkbox"/> source variable<br><input type="checkbox"/> source surfacique <input checked="" type="checkbox"/> source multiple | <input checked="" type="checkbox"/> surhauteur cinématique<br><input checked="" type="checkbox"/> surhauteur thermique<br><input checked="" type="checkbox"/> downwash/flagging                         |
| • <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>  | <input type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion  | <input checked="" type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion<br><input checked="" type="checkbox"/> réflexion<br><input type="checkbox"/> pénétration<br><input type="checkbox"/> fumigation |
| • <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i> | <input type="checkbox"/> meandering   |   |
| • <i>Fluctuations :</i>                               | <input type="checkbox"/> écart-type de concentration  | <input type="checkbox"/> pdf de concentration   |
| • <i>Chimie</i>                                       | <input type="checkbox"/> chimie simplifiée  | <input type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe  |
| • <i>Déposition :</i>                                 | <input type="checkbox"/> particules<br><input type="checkbox"/> sédimentation   | <input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec<br><input type="checkbox"/> dépôt humide  |
| • <i>Radioactivité :</i>                              | <input type="checkbox"/> déc. radioactive   | <input type="checkbox"/> filiation radioactive<br><input checked="" type="checkbox"/> débit de dose   |

**Informations sur les données d'entrée :**

- |                                    |   |   |  |
|------------------------------------|---|---|--|
| • <i>Données géographiques :</i>   | <input checked="" type="checkbox"/> relief                          | <input type="checkbox"/> obstacles                    | <input type="checkbox"/> catégories de sol   |
| • <i>Données météorologiques :</i> | <input type="checkbox"/> mesures                                    | <input type="checkbox"/> préprocesseur                | <input checked="" type="checkbox"/> champ 3D |
| • <i>Données d'émission</i>        | <input checked="" type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées | <input checked="" type="checkbox"/> modèle d'émission |  |

**Informations sur les données de sortie :**

- |                                 |  |   |   |                              |
|---------------------------------|--|---|---|------------------------------|
| • <i>Format des données :</i>   | <input checked="" type="checkbox"/> fichiers ASCII           | <input type="checkbox"/> cartographies    | <input checked="" type="checkbox"/> tracés 3D | <input type="checkbox"/> Web |
| • <i>Grandeurs calculées :</i>  | <input checked="" type="checkbox"/> concentration moyenne    | <input type="checkbox"/> percentiles      |   |                              |
|                                 | <input type="checkbox"/> dépôt sec                           | <input type="checkbox"/> dépôt humide     | <input type="checkbox"/> écart-type           |                              |
| • <i>Répartition temporelle</i> | <input checked="" type="checkbox"/> moyenne par pas de temps | <input type="checkbox"/> moyenne annuelle | <input type="checkbox"/> fluctuations         |                              |



ACRONYME :

DIPCOT

**Modèle météorologique :**

Aucun

• *Aucun modèle météorologique :*

- résultats de simulation  
 mesures météorologiques

• *Modèle diagnostique :*

- linéarisation des équations  
 conservation de la masse  
 modèle ID vertical

• *Modèle prognostique :*

- hydrostatique  
 incompressible

 maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :*

- terrain plat et homogène  
 terrain plat et non homogène  
 vallée isolée de profondeur modérée  
 colline isolée de pente modérée  
 collines et vallées de pentes modérées  
 relief de montagne

• *Prise en compte des obstacles :*

- rugosité  
 obstacle isolé  
 groupe d'obstacles

• *Stratification atmosphérique :*

- atmosphère neutre  
 atmosphère stable  
 atmosphère convective  
 brise de mer  
 brise de vallée  
 îlot de chaleur urbain

• *Modèle de sol :*

- sol hétérogène  
 échange de chaleur  
 échange d'humidité

• *Humidité atmosphérique :*

- atmosphère humide  
 microphysique des nuages  
 précipitations

**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :* PC  Mac Intosh  station Unix  calcul //• *Système d'exploitation :* DOS  Windows  Linux  Unix• *Langage utilisé :* Fortran  C  Autre langage• *Interface utilisateur :* aucun (ASCII)  intégré*logiciels de post traitement :*• *Temps de calcul par scénario :* < une seconde  < une minute  < une heure  > une heure• *Modèles liés*

ADREA-diagn : modèle diagnostique - ADREA-I : module météo (prognostique)

ACRONYME :

DIPCOT

• Références :

J.G. Bartzis, M. Varvayanni G. Graziani E. Davakis, P. Deligiannis, &N. Catsaros "Ôhe TRANSALP Experimental Tracer Release and Transport Simulation", *Air Pollution 95*, Editors H. Power, N. Moussiopoulos, C.A. Brebbia, Porto Carras, 26-29 September 1995, pp 429-434

P. Deligiannis, J.G. Bartzis, N. Catsaros, E. Davakis, M, Varvayanni, J. Àhrhardt "RODOS Application on Complex Terrain Dispersion Problem using DETRACT", *International Conference of Probabilistic Safety Assessment and Management - ESREL 96*, Editors P.C. Cacciabue, I.A. Papazoglou, Grete, 24-28 July 1996, pp 75-83

P. Deligiannis, J.G Bartzis, E. Davakis, "Complex Terrain Modeling Exercise, 4th Workshop on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes, 6-9 May 1996 Oostende, Belgium, published at the *Int. J. of Environment and Pollution*. Vol. 8, Nos. 3-6, pp 367-377, 1997

Ì. Varvagianni, P. Deligiannis, E. Davakis. A.G. Venetsanos, N. Catsaros, "Wind flow and pollutant dispersion diagnosis over complex terrain based on sparse meteorological measurements", *5th Conference on Environmental Science and Technology – Ìolybos Lesbos*, pp 273 –280, 1997

J.G. Bartzis, A.G. Venetsanos, M. Varvayanni, S. Andronopoulos, E. Davakis, J. Statharas, N. Catsaros, P. Deligiannis. "Wind flow and dispersion modelling over terrain of high complexity", *Air Pollution V*, Editors H. Power, T. Tirabassi, C.A. Brebbia, pp 143-156, 1997

H.R. Olesen, *Tools for Model Evaluation (1997)*, National Environmental Research Institute. (personal communication)

ACRONYME :

DISPERSION

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	<b>Diagnostic</b>			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> Gaussien	<input type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> ponctuelle	<input checked="" type="checkbox"/> linéique	<input checked="" type="checkbox"/> surfacique	<input type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input checked="" type="checkbox"/> rejet continu	<input checked="" type="checkbox"/> rejet variable	<input checked="" type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input type="checkbox"/> radioactivité	<input checked="" type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> locale	<input checked="" type="checkbox"/> urbaine	<input type="checkbox"/> régionale	<input type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input checked="" type="checkbox"/> horaire	<input type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input type="checkbox"/> relief	<input checked="" type="checkbox"/> obstacles	<input checked="" type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input type="checkbox"/> fluctuations
<input type="checkbox"/> visibilité de panache	<input type="checkbox"/> dépôt	<input checked="" type="checkbox"/> chimie	<input type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>				
• <i>Distributeur du logiciel :</i>	Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI) <a href="http://www.smhi.se/sgn0104/miljo/english/dispersion_eng/dispersion.htm">http://www.smhi.se/sgn0104/miljo/english/dispersion_eng/dispersion.htm</a>			
• <i>Contact :</i>	Tél.:		Fax :	
• <i>Type de licence :</i>	<input type="checkbox"/> accès libre	<input checked="" type="checkbox"/> accès contrôlé	<input checked="" type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input checked="" type="checkbox"/> doc technique	<input checked="" type="checkbox"/> doc utilisateur	<input type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>				

ACRONYME :

DISPERSION

**Modèle de dispersion :**

- |   |  |   |
|---|--|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> gaussien <input checked="" type="checkbox"/> panache <input type="checkbox"/> bouffées<br>• <u>Modélisation des écarts-types :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input type="checkbox"/> par classes<br><input checked="" type="checkbox"/> continue | <input type="checkbox"/> eulérien 3D<br>• <u>Paramétrisation de la turbulence :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne | <input type="checkbox"/> lagrangien<br>• <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne |
|---|--|---|

**Phénomènes de dispersion représentés :**

- |   |   |  |
|---|---|--|
| • <i>Effets du relief :</i>                           | <input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo  | <input type="checkbox"/> modèle interne spécifique   |
| • <i>Effets des obstacles :</i>                       | <input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo  | <input checked="" type="checkbox"/> modèle interne spécifique  |
| • <i>Effets de la source :</i>                        | <input checked="" type="checkbox"/> source ponctuelle <input type="checkbox"/> source volumique<br><input checked="" type="checkbox"/> source linéique <input checked="" type="checkbox"/> source variable<br><input checked="" type="checkbox"/> source surfacique <input checked="" type="checkbox"/> source multiple | <input checked="" type="checkbox"/> surhauteur cinématique<br><input checked="" type="checkbox"/> surhauteur thermique<br><input type="checkbox"/> downwash/flagging   |
| • <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>  | <input checked="" type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion   | <input checked="" type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion<br><input checked="" type="checkbox"/> réflexion<br><input checked="" type="checkbox"/> pénétration<br><input type="checkbox"/> fumigation |
| • <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i> | <input type="checkbox"/> meandering   |  |
| • <i>Fluctuations :</i>                               | <input type="checkbox"/> écart-type de concentration  | <input type="checkbox"/> pdf de concentration  |
| • <i>Chimie</i>                                       | <input type="checkbox"/> chimie simplifiée  | <input checked="" type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe  |
| • <i>Déposition :</i>                                 | <input type="checkbox"/> particules<br><input type="checkbox"/> sédimentation   | <input type="checkbox"/> dépôt sec<br><input type="checkbox"/> dépôt humide  |
| • <i>Radioactivité :</i>                              | <input type="checkbox"/> déc. radioactive   | <input type="checkbox"/> filiation radioactive <input type="checkbox"/> débit de dose  |

**Informations sur les données d'entrée :**

- |                                    |   |   |  |
|------------------------------------|---|---|--|
| • <i>Données géographiques :</i>   | <input checked="" type="checkbox"/> relief                          | <input checked="" type="checkbox"/> obstacles     | <input type="checkbox"/> catégories de sol |
| • <i>Données météorologiques :</i> | <input checked="" type="checkbox"/> mesures                         | <input checked="" type="checkbox"/> préprocesseur | <input type="checkbox"/> champ 3D          |
| • <i>Données d'émission</i>        | <input checked="" type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées | <input type="checkbox"/> modèle d'émission        |  |

**Informations sur les données de sortie :**

- |                                 |  |  |                                       |                                       |                                     |
|---------------------------------|--|--|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|
| • <i>Format des données :</i>   | <input checked="" type="checkbox"/> fichiers ASCII           | <input type="checkbox"/> cartographies               | <input type="checkbox"/> tracés 3D    | <input type="checkbox"/> Web          |                                     |
| • <i>Grandeurs calculées :</i>  | <input checked="" type="checkbox"/> concentration moyenne    | <input checked="" type="checkbox"/> percentiles      | <input type="checkbox"/> dépôt sec    | <input type="checkbox"/> dépôt humide | <input type="checkbox"/> écart-type |
| • <i>Répartition temporelle</i> | <input checked="" type="checkbox"/> moyenne par pas de temps | <input checked="" type="checkbox"/> moyenne annuelle | <input type="checkbox"/> fluctuations |                                       |                                     |

ACRONYME :

DISPERSION

**Modèle météorologique :****Diagnostic**• *Aucun modèle météorologique :*

- résultats de simulation  
 mesures météorologiques

• *Modèle diagnostique :*

- linéarisation des équations  
 conservation de la masse  
 modèle ID vertical

• *Modèle prognostique :*

- hydrostatique  
 incompressible

 maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :*

- terrain plat et homogène  
 terrain plat et non homogène  
 vallée isolée de profondeur modérée  
 colline isolée de pente modérée  
 collines et vallées de pentes modérées  
 relief de montagne

• *Prise en compte des obstacles :*

- rugosité  
 obstacle isolé  
 groupe d'obstacles

• *Stratification atmosphérique :*

- atmosphère neutre  
 atmosphère stable  
 atmosphère convective  
 brise de mer  
 brise de vallée  
 îlot de chaleur urbain

• *Modèle de sol :*

- sol hétérogène  
 échange de chaleur  
 échange d'humidité

• *Humidité atmosphérique :*

- atmosphère humide  
 microphysique des nuages  
 précipitations

**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :*

- PC  
 Mac Intosh  
 station Unix  
 calcul //

• *Système d'exploitation :*

- DOS  
 Windows  
 Linux  
 Unix

• *Langage utilisé :*

- Fortran  
 C  
 Autre langage

• *Interface utilisateur :*

- aucun (ASCII)  
 intégré

logiciels de post traitement :  
MS ACCESS - MAPINFO• *Temps de calcul par scénario :*

- < une seconde  
 < une minute  
 < une heure  
 > une heure

• *Modèles liés*

ACRONYME :

DISPERSION

- Références :

*Bringfelt, B., Backstrom, H., Kindel, K., Omstedt, G., Persson, C. and Ullerstig, A. (1997) Calculation of PM-10 concentrations in Swedish cities-Modelling inhalable particles. SMHI-report, RMK 76.*

*DISPERSION- User Guide. SMHI*

*Omstedt, G. (1988) An operational air pollution model. SMHI-report, RMK 57.1*

**ACRONYME :**

**Drag&Fly-AIR**

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	<b>Prognostique</b>			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input type="checkbox"/> Gaussien	<input checked="" type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> ponctuelle	<input checked="" type="checkbox"/> linéique	<input checked="" type="checkbox"/> surfacique	<input checked="" type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input checked="" type="checkbox"/> rejet continu	<input checked="" type="checkbox"/> rejet variable	<input checked="" type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input checked="" type="checkbox"/> émission de poussières		<input checked="" type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> locale	<input checked="" type="checkbox"/> urbaine	<input type="checkbox"/> régionale	<input type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input checked="" type="checkbox"/> horaire	<input type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input checked="" type="checkbox"/> relief	<input checked="" type="checkbox"/> obstacles	<input checked="" type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input type="checkbox"/> fluctuations
<input type="checkbox"/> visibilité de panache	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt	<input checked="" type="checkbox"/> chimie	<input type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>	SIRIATECH <a href="http://www.siriatech.com/index.htm">http://www.siriatech.com/index.htm</a>			
• <i>Distributeur du logiciel :</i>	SIRIATECH <a href="http://www.siriatech.com/index.htm">http://www.siriatech.com/index.htm</a>			
• <i>Contact :</i>	Bruno Abart Tél.:33 3 20 34 45 67 Fax :33 3 20 34 45 60 <a href="http://b.abart@siriatech.com">http://b.abart@siriatech.com</a>			
• <i>Type de licence :</i>	<input type="checkbox"/> accès libre	<input type="checkbox"/> accès contrôlé	<input checked="" type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input checked="" type="checkbox"/> doc technique	<input checked="" type="checkbox"/> doc utilisateur	<input type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input checked="" type="checkbox"/> à distance	<input checked="" type="checkbox"/> sur site	<input checked="" type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>				

ACRONYME :

Drag&amp;Fly-AIR

**Modèle de dispersion :**

<input type="checkbox"/> gaussien	<input type="checkbox"/> panache	<input type="checkbox"/> bouffées	<input checked="" type="checkbox"/> eulérien 3D	<input type="checkbox"/> lagrangien
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Modélisation des écarts-types :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> par classes</li> <li><input type="checkbox"/> continue</li> </ul> </li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>				

**Phénomènes de dispersion représentés :**

• <i>Effets du relief :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets des obstacles :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> source ponctuelle <input checked="" type="checkbox"/> source volumique <input checked="" type="checkbox"/> surhauteur cinématique <input checked="" type="checkbox"/> source linéique <input checked="" type="checkbox"/> source variable <input checked="" type="checkbox"/> surhauteur thermique <input checked="" type="checkbox"/> source surfacique <input checked="" type="checkbox"/> source multiple <input type="checkbox"/> downwash/flagging	
• <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>	<input type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion	<input type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion <input type="checkbox"/> réflexion <input type="checkbox"/> pénétration <input type="checkbox"/> fumigation
• <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i>	<input type="checkbox"/> meandering	
• <i>Fluctuations :</i>	<input type="checkbox"/> écart-type de concentration	<input type="checkbox"/> pdf de concentration
• <i>Chimie</i>	<input type="checkbox"/> chimie simplifiée	<input checked="" type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe
• <i>Déposition :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> particules <input type="checkbox"/> sédimentation	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec <input checked="" type="checkbox"/> dépôt humide
• <i>Radioactivité :</i>	<input type="checkbox"/> déc. radioactive	<input type="checkbox"/> filiation radioactive <input type="checkbox"/> débit de dose

**Informations sur les données d'entrée :**

• <i>Données géographiques :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> relief	<input checked="" type="checkbox"/> obstacles	<input checked="" type="checkbox"/> catégories de sol
• <i>Données météorologiques :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> mesures	<input type="checkbox"/> préprocesseur	<input checked="" type="checkbox"/> champ 3D
• <i>Données d'émission</i>	<input checked="" type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées	<input checked="" type="checkbox"/> modèle d'émission	

**Informations sur les données de sortie :**

• <i>Format des données :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> fichiers ASCII	<input checked="" type="checkbox"/> cartographies	<input checked="" type="checkbox"/> tracés 3D	<input type="checkbox"/> Web
• <i>Grandeurs calculées :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> concentration moyenne	<input type="checkbox"/> percentiles		
	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt humide	<input type="checkbox"/> écart-type	
• <i>Répartition temporelle</i>	<input checked="" type="checkbox"/> moyenne par pas de temps	<input checked="" type="checkbox"/> moyenne annuelle	<input type="checkbox"/> fluctuations	



ACRONYME :

Drag&amp;Fly-AIR

**Modèle météorologique :****Prognostique**• *Aucun modèle météorologique :*

- résultats de simulation
- mesures météorologiques

• *Modèle diagnostique :*

- linéarisation des équations
- conservation de la masse
- modèle ID vertical

• *Modèle prognostique :*

- hydrostatique
- incompressible

 maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :*

- terrain plat et homogène
- terrain plat et non homogène
- vallée isolée de profondeur modérée
- colline isolée de pente modérée
- collines et vallées de pentes modérées
- relief de montagne

• *Prise en compte des obstacles :*

- rugosité
- obstacle isolé
- groupe d'obstacles

• *Stratification atmosphérique :*

- atmosphère neutre
- brise de mer
- atmosphère stable
- brise de vallée
- atmosphère convective
- îlot de chaleur urbain

• *Modèle de sol :*

- sol hétérogène
- échange de chaleur
- échange d'humidité

• *Humidité atmosphérique :*

- atmosphère humide
- microphysique des nuages
- précipitations

**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :*

- PC
- Mac Intosh
- station Unix
- calcul //

• *Système d'exploitation :*

- DOS
- Windows
- Linux
- Unix

• *Langage utilisé :*

- Fortran
- C
- Autre langage

• *Interface utilisateur :*

- aucun (ASCII)
- intégré

*logiciels de post traitement :*• *Temps de calcul par scénario :*

- < une seconde
- < une minute
- < une heure
- > une heure

• *Modèles liés*

RACM ou CB IV : modèle de photochimie

ACRONYME :

Drag&Fly-AIR

- Références :

ACRONYME :

EPISODE

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	<b>Diagnostic</b>			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> Gaussien	<input checked="" type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> ponctuelle	<input checked="" type="checkbox"/> linéique	<input checked="" type="checkbox"/> surfacique	<input type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input checked="" type="checkbox"/> rejet continu	<input checked="" type="checkbox"/> rejet variable	<input checked="" type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> locale	<input checked="" type="checkbox"/> urbaine	<input checked="" type="checkbox"/> régionale	<input type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input checked="" type="checkbox"/> horaire	<input type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input checked="" type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input checked="" type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input type="checkbox"/> fluctuations
<input type="checkbox"/> visibilité de panache	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt	<input checked="" type="checkbox"/> chimie	<input type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>	Norwegian Institute for Air Research <a href="http://www.nilu.no/niluweb/index.cfm?lang=3">http://www.nilu.no/niluweb/index.cfm?lang=3</a>			
• <i>Distributeur du logiciel :</i>				
• <i>Contact :</i>	Tél.:		Fax :	
• <i>Type de licence :</i>	<input type="checkbox"/> accès libre	<input checked="" type="checkbox"/> accès contrôlé	<input type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input checked="" type="checkbox"/> doc technique	<input checked="" type="checkbox"/> doc utilisateur	<input type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>				

ACRONYME :

EPISODE

**Modèle de dispersion :**

- |   |  |   |
|---|--|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> gaussien <input type="checkbox"/> panache <input checked="" type="checkbox"/> bouffées<br>• <u>Modélisation des écarts-types :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input checked="" type="checkbox"/> par classes<br><input type="checkbox"/> continue | <input checked="" type="checkbox"/> eulérien 3D<br>• <u>Paramétrisation de la turbulence :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input checked="" type="checkbox"/> modèle spécifique interne | <input type="checkbox"/> lagrangien<br>• <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne |
|---|--|---|

**Phénomènes de dispersion représentés :**

- |   |   |   |
|---|---|---|
| • <i>Effets du relief :</i>                           | <input checked="" type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo   | <input type="checkbox"/> modèle interne spécifique  |
| • <i>Effets des obstacles :</i>                       | <input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo  | <input type="checkbox"/> modèle interne spécifique  |
| • <i>Effets de la source :</i>                        | <input checked="" type="checkbox"/> source ponctuelle <input type="checkbox"/> source volumique<br><input checked="" type="checkbox"/> source linéique <input checked="" type="checkbox"/> source variable<br><input checked="" type="checkbox"/> source surfacique <input checked="" type="checkbox"/> source multiple | <input type="checkbox"/> surhauteur cinématique<br><input type="checkbox"/> surhauteur thermique<br><input type="checkbox"/> downwash/flagging                                    |
| • <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>  | <input type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion  | <input type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion<br><input type="checkbox"/> réflexion<br><input type="checkbox"/> pénétration<br><input type="checkbox"/> fumigation |
| • <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i> | <input type="checkbox"/> meandering   |   |
| • <i>Fluctuations :</i>                               | <input type="checkbox"/> écart-type de concentration  | <input type="checkbox"/> pdf de concentration   |
| • <i>Chimie</i>                                       | <input type="checkbox"/> chimie simplifiée  | <input checked="" type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe   |
| • <i>Déposition :</i>                                 | <input type="checkbox"/> particules<br><input type="checkbox"/> sédimentation   | <input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec<br><input checked="" type="checkbox"/> dépôt humide   |
| • <i>Radioactivité :</i>                              | <input type="checkbox"/> déc. radioactive   | <input type="checkbox"/> filiation radioactive <input type="checkbox"/> débit de dose   |

**Informations sur les données d'entrée :**

- |                                    |   |   |  |
|------------------------------------|---|---|--|
| • <i>Données géographiques :</i>   | <input checked="" type="checkbox"/> relief                          | <input type="checkbox"/> obstacles                | <input type="checkbox"/> catégories de sol |
| • <i>Données météorologiques :</i> | <input checked="" type="checkbox"/> mesures                         | <input checked="" type="checkbox"/> préprocesseur | <input type="checkbox"/> champ 3D          |
| • <i>Données d'émission</i>        | <input checked="" type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées | <input type="checkbox"/> modèle d'émission        |  |

**Informations sur les données de sortie :**

- |                                 |  |  |                                       |                              |
|---------------------------------|--|--|---------------------------------------|------------------------------|
| • <i>Format des données :</i>   | <input type="checkbox"/> fichiers ASCII                      | <input type="checkbox"/> cartographies           | <input type="checkbox"/> tracés 3D    | <input type="checkbox"/> Web |
| • <i>Grandeurs calculées :</i>  | <input checked="" type="checkbox"/> concentration moyenne    | <input type="checkbox"/> percentiles             |                                       |                              |
|                                 | <input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec                | <input checked="" type="checkbox"/> dépôt humide | <input type="checkbox"/> écart-type   |                              |
| • <i>Répartition temporelle</i> | <input checked="" type="checkbox"/> moyenne par pas de temps | <input type="checkbox"/> moyenne annuelle        | <input type="checkbox"/> fluctuations |                              |

ACRONYME :

EPISODE

**Modèle météorologique :****Diagnostic**• *Aucun modèle météorologique :* résultats de simulation mesures météorologiques• *Modèle diagnostique :* linéarisation des équations conservation de la masse modèle ID vertical• *Modèle prognostique :* hydrostatique incompressible maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :* terrain plat et homogène vallée isolée de profondeur modérée collines et vallées de pentes modérées terrain plat et non homogène colline isolée de pente modérée relief de montagne• *Prise en compte des obstacles :* rugosité obstacle isolé groupe d'obstacles• *Stratification atmosphérique :* atmosphère neutre atmosphère stable atmosphère convective brise de mer brise de vallée îlot de chaleur urbain• *Modèle de sol :* sol hétérogène échange de chaleur échange d'humidité• *Humidité atmosphérique :* atmosphère humide microphysique des nuages précipitations**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :* PC Mac Intosh station Unix calcul //• *Système d'exploitation :* DOS Windows Linux Unix• *Langage utilisé :* Fortran C Autre langage• *Interface utilisateur :* aucun (ASCII) intégré*logiciels de post traitement :*• *Temps de calcul par scénario :* < une seconde < une minute < une heure > une heure• *Modèles liés*

MEPDIM : préprocesseur météo (interne EPISODE) - EMEP : modèle photochimique du programme EMEP

ACRONYME :

EPISODE

• Références :

Bartonova, A., Clench-Aas J., Gram, F., Guerreiro, C., Larssen S., Tønnesen D.A., Walker S.E. (1997) *After-study Ekeberg tunnel 1996. Estimating indicators of exposure for interview study. Kjeller (NILU OR /97) (In Norwegian) (In preparation).*

Bott, A. (1993) *The monotone area-preserving flux-form advection algorithm: Reducing the time-splitting error in two-dimensional flow fields, Monthly Weather Review 121, 2637-2641.*

Bøhler, T. (1996) *MEPDIM. The NILU Meteorological Processor for Dispersion Modelling. Version 1.0. Model description. Kjeller (NILU TR 7/96).*

Grønskei, K.E., Walker S.E. and Gram F. (1993) *Evaluation of a model for hourly spatial concentrations distributions, Atmos. Environ. 27B, 105-120.*

Irwin, J.S. (1983) *Estimating plume dispersion - a comparison of several sigma schemes. J. Climate Appl. Meteor. 22, 92-114.*

Larssen, S., Grønskei K.E., Gram, F., Hagen L.O, Walker S.E. (1994) *Verification of urban scale time-dependent dispersion model with sub-grid elements in Oslo, Norway. Air Poll. Modelling and Its Appl. X, Plenum Press, New York.*

Simpson, D. (1995) *Biogenic emissions in Europe. Part II: Implications for ozone control strategies. J. Geophys. Res., 100, 228911-22906.*

Slørdal L.H., Walker, S.E (1997) *Dispersion calculations of NOx, NO2 and PM10 in Oslo, Drammen, Bergen and Trondheim. Model validation. Kjeller (NILU OR 68/97). (In Norwegian).*

Venkatram, A., Strimaitis, D. and Dicristofaro, D. (1984) *A semiempirical model to estimate vertical dispersion of elevated releases in the stable boundary layer. Atmos. Environ. 18, 923-928.*

Walker, S.E (1997) *The EPISODE air pollution dispersion model, version 2.2. User's Guide. Kjeller (NILU TR 10/97).*

ACRONYME :

ERT

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	<b>Aucun</b>			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> Gaussien	<input type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> ponctuelle	<input type="checkbox"/> linéique	<input type="checkbox"/> surfacique	<input type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input type="checkbox"/> rejet continu	<input type="checkbox"/> rejet variable	<input type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> locale	<input type="checkbox"/> urbaine	<input type="checkbox"/> régionale	<input type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input checked="" type="checkbox"/> horaire	<input type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input type="checkbox"/> fluctuations
<input checked="" type="checkbox"/> visibilité de panache	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt	<input checked="" type="checkbox"/> chimie	<input type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>	ENSR Environmental Consulting <a href="http://www.ensr.com/index.htm">http://www.ensr.com/index.htm</a>			
• <i>Distributeur du logiciel :</i>	National Technical Information Service <a href="http://www.ntis.gov/">http://www.ntis.gov/</a>			
• <i>Contact :</i>	Tél.:		Fax :	
• <i>Type de licence :</i>	<input type="checkbox"/> accès libre	<input type="checkbox"/> accès contrôlé	<input type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input type="checkbox"/> doc technique	<input type="checkbox"/> doc utilisateur	<input type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>				

ACRONYME :

ERT

**Modèle de dispersion :**

- |   |  |   |
|---|--|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> gaussien <input checked="" type="checkbox"/> panache <input type="checkbox"/> bouffées<br>• <u>Modélisation des écarts-types :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input checked="" type="checkbox"/> par classes<br><input type="checkbox"/> continue | <input type="checkbox"/> eulérien 3D<br>• <u>Paramétrisation de la turbulence :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne | <input type="checkbox"/> lagrangien<br>• <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne |
|---|--|---|

**Phénomènes de dispersion représentés :**

- |   |   |   |
|---|---|---|
| • <i>Effets du relief :</i>                           | <input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo  | <input type="checkbox"/> modèle interne spécifique  |
| • <i>Effets des obstacles :</i>                       | <input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo  | <input type="checkbox"/> modèle interne spécifique  |
| • <i>Effets de la source :</i>                        | <input checked="" type="checkbox"/> source ponctuelle <input type="checkbox"/> source volumique<br><input type="checkbox"/> source linéique <input type="checkbox"/> source variable<br><input type="checkbox"/> source surfacique <input type="checkbox"/> source multiple | <input checked="" type="checkbox"/> surhauteur cinématique<br><input checked="" type="checkbox"/> surhauteur thermique<br><input type="checkbox"/> downwash/flagging                                    |
| • <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>  | <input checked="" type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion<br><input type="checkbox"/> meandering  | <input checked="" type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion<br><input checked="" type="checkbox"/> réflexion<br><input type="checkbox"/> pénétration<br><input type="checkbox"/> fumigation |
| • <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i> | <input type="checkbox"/> meandering   |   |
| • <i>Fluctuations :</i>                               | <input type="checkbox"/> écart-type de concentration  | <input type="checkbox"/> pdf de concentration   |
| • <i>Chimie</i>                                       | <input checked="" type="checkbox"/> chimie simplifiée   | <input type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe  |
| • <i>Déposition :</i>                                 | <input type="checkbox"/> particules<br><input type="checkbox"/> sédimentation   | <input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec<br><input type="checkbox"/> dépôt humide  |
| • <i>Radioactivité :</i>                              | <input type="checkbox"/> déc. radioactive   | <input type="checkbox"/> filiation radioactive <input type="checkbox"/> débit de dose   |

**Informations sur les données d'entrée :**

- |                                    |   |  |  |
|------------------------------------|---|--|--|
| • <i>Données géographiques :</i>   | <input checked="" type="checkbox"/> relief                          | <input type="checkbox"/> obstacles         | <input type="checkbox"/> catégories de sol |
| • <i>Données météorologiques :</i> | <input checked="" type="checkbox"/> mesures                         | <input type="checkbox"/> préprocesseur     | <input type="checkbox"/> champ 3D          |
| • <i>Données d'émission</i>        | <input checked="" type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées | <input type="checkbox"/> modèle d'émission |  |

**Informations sur les données de sortie :**

- |                                 |  |   |                                       |                              |
|---------------------------------|--|---|---------------------------------------|------------------------------|
| • <i>Format des données :</i>   | <input checked="" type="checkbox"/> fichiers ASCII           | <input type="checkbox"/> cartographies    | <input type="checkbox"/> tracés 3D    | <input type="checkbox"/> Web |
| • <i>Grandeurs calculées :</i>  | <input checked="" type="checkbox"/> concentration moyenne    | <input type="checkbox"/> percentiles      |                                       |                              |
|                                 | <input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec                | <input type="checkbox"/> dépôt humide     | <input type="checkbox"/> écart-type   |                              |
| • <i>Répartition temporelle</i> | <input checked="" type="checkbox"/> moyenne par pas de temps | <input type="checkbox"/> moyenne annuelle | <input type="checkbox"/> fluctuations |                              |



ACRONYME :

ERT

**Modèle météorologique :**

Aucun

• *Aucun modèle météorologique :*

- résultats de simulation
- mesures météorologiques

• *Modèle diagnostique :*

- linéarisation des équations
- conservation de la masse
- modèle ID vertical

• *Modèle prognostique :*

- hydrostatique
- incompressible

 maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :*

- terrain plat et homogène
- terrain plat et non homogène
- vallée isolée de profondeur modérée
- colline isolée de pente modérée
- collines et vallées de pentes modérées
- relief de montagne

• *Prise en compte des obstacles :*

- rugosité
- obstacle isolé
- groupe d'obstacles

• *Stratification atmosphérique :*

- atmosphère neutre
- atmosphère stable
- atmosphère convective
- brise de mer
- brise de vallée
- îlot de chaleur urbain

• *Modèle de sol :*

- sol hétérogène
- échange de chaleur
- échange d'humidité

• *Humidité atmosphérique :*

- atmosphère humide
- microphysique des nuages
- précipitations

**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :* PC Mac Intosh station Unix calcul //• *Système d'exploitation :* DOS Windows Linux Unix• *Langage utilisé :* Fortran C Autre langage• *Interface utilisateur :* aucun (ASCII) intégré*logiciels de post traitement :*• *Temps de calcul par scénario :* < une seconde < une minute < une heure > une heure• *Modèles liés*

ACRONYME :

ERT

- Références :

Seigneur, C., R.W. Bergstrom and A.B. Hudischewskyj, 1982. *Evaluation of the EPA PLUVUE Model and the ERT Visibility Model Based on the 1979 VISTTA Data Base*. EPA Publication No. EPA-450/4-82-008. U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC.

White, W.H., C. Seigneur, D.W. Heinold, M.W. Eltgroth, L.W. Richards, P.T. Roberts, P.S. Bhardwaja, W.D. Conner and W.E. Wilson, Jr., 1985. *Predicting the Visibility of Chimney Plumes: An Inter-comparison of Four Models with Observations at a Well-Controlled Power Plant*. *Atmos. Environ.*, 19: 515-528.

ACRONYME :

FLEXPART

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	Aucun			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input type="checkbox"/> Gaussien	<input type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input checked="" type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input type="checkbox"/> ponctuelle	<input type="checkbox"/> linéique	<input type="checkbox"/> surfacique	<input type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input type="checkbox"/> rejet continu	<input type="checkbox"/> rejet variable	<input type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input type="checkbox"/> locale	<input type="checkbox"/> urbaine	<input type="checkbox"/> régionale	<input checked="" type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input type="checkbox"/> horaire	<input type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input type="checkbox"/> fluctuations
<input type="checkbox"/> visibilité de panache	<input type="checkbox"/> dépôt	<input type="checkbox"/> chimie	<input type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>	<a href="http://www.forst.uni-muenchen.de/EXT/LST/METEO/stohl/flexpart.html">http://www.forst.uni-muenchen.de/EXT/LST/METEO/stohl/flexpart.html</a>			
• <i>Distributeur du logiciel :</i>				
• <i>Contact :</i>	Tél.:		Fax :	
• <i>Type de licence :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> accès libre	<input type="checkbox"/> accès contrôlé	<input type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input type="checkbox"/> doc technique	<input type="checkbox"/> doc utilisateur	<input type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>				

ACRONYME :

FLEXPART

**Modèle de dispersion :**

<input type="checkbox"/> gaussien	<input checked="" type="checkbox"/> panache	<input checked="" type="checkbox"/> bouffées	<input type="checkbox"/> eulérien 3D	<input checked="" type="checkbox"/> lagrangien
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Modélisation des écarts-types :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> par classes</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> continue</li> </ul> </li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>

**Phénomènes de dispersion représentés :**

• <i>Effets du relief :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input checked="" type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets des obstacles :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input checked="" type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> source ponctuelle <input checked="" type="checkbox"/> source volumique <input checked="" type="checkbox"/> surhauteur cinématique <input checked="" type="checkbox"/> source linéique <input checked="" type="checkbox"/> source variable <input checked="" type="checkbox"/> surhauteur thermique <input checked="" type="checkbox"/> source surfacique <input checked="" type="checkbox"/> source multiple <input checked="" type="checkbox"/> downwash/flagging	
• <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion	<input checked="" type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion <input checked="" type="checkbox"/> réflexion <input checked="" type="checkbox"/> pénétration <input checked="" type="checkbox"/> fumigation
• <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> meandering	
• <i>Fluctuations :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> écart-type de concentration	<input checked="" type="checkbox"/> pdf de concentration
• <i>Chimie</i>	<input checked="" type="checkbox"/> chimie simplifiée	<input checked="" type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe
• <i>Déposition :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> particules	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec
	<input checked="" type="checkbox"/> sédimentation	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt humide
• <i>Radioactivité :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> déc. radioactive	<input checked="" type="checkbox"/> filiation radioactive <input checked="" type="checkbox"/> débit de dose

**Informations sur les données d'entrée :**

• <i>Données géographiques :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> relief	<input checked="" type="checkbox"/> obstacles	<input checked="" type="checkbox"/> catégories de sol
• <i>Données météorologiques :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> mesures	<input checked="" type="checkbox"/> préprocesseur	<input checked="" type="checkbox"/> champ 3D
• <i>Données d'émission</i>	<input checked="" type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées	<input type="checkbox"/> modèle d'émission	

**Informations sur les données de sortie :**

• <i>Format des données :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> fichiers ASCII	<input checked="" type="checkbox"/> cartographies	<input checked="" type="checkbox"/> tracés 3D	<input checked="" type="checkbox"/> Web
• <i>Grandeurs calculées :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> concentration moyenne	<input checked="" type="checkbox"/> percentiles		
	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt humide	<input checked="" type="checkbox"/> écart-type	
• <i>Répartition temporelle</i>	<input checked="" type="checkbox"/> moyenne par pas de temps	<input checked="" type="checkbox"/> moyenne annuelle	<input checked="" type="checkbox"/> fluctuations	

ACRONYME :

FLEXPART

**Modèle météorologique :**

Aucun

• *Aucun modèle météorologique :* résultats de simulation mesures météorologiques• *Modèle diagnostique :* linéarisation des équations conservation de la masse modèle ID vertical• *Modèle prognostique :* hydrostatique incompressible maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :* terrain plat et homogène vallée isolée de profondeur modérée collines et vallées de pentes modérées terrain plat et non homogène colline isolée de pente modérée relief de montagne• *Prise en compte des obstacles :* rugosité obstacle isolé groupe d'obstacles• *Stratification atmosphérique :* atmosphère neutre atmosphère stable atmosphère convective brise de mer brise de vallée îlot de chaleur urbain• *Modèle de sol :* sol hétérogène échange de chaleur échange d'humidité• *Humidité atmosphérique :* atmosphère humide microphysique des nuages précipitations**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :* PC Mac Intosh station Unix calcul //• *Système d'exploitation :* DOS Windows Linux Unix• *Langage utilisé :* Fortran C Autre langage• *Interface utilisateur :* aucun (ASCII) intégré*logiciels de post traitement :*• *Temps de calcul par scénario :* < une seconde < une minute < une heure > une heure• *Modèles liés*

ACRONYME :

FLEXPART

- Références :

ACRONYME :

FLUIDYN PANACHE

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	<b>Prognostique</b>			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input type="checkbox"/> Gaussien	<input checked="" type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input checked="" type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> ponctuelle	<input checked="" type="checkbox"/> linéique	<input checked="" type="checkbox"/> surfacique	<input checked="" type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input checked="" type="checkbox"/> rejet continu	<input checked="" type="checkbox"/> rejet variable	<input checked="" type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> locale	<input checked="" type="checkbox"/> urbaine	<input type="checkbox"/> régionale	<input type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input checked="" type="checkbox"/> horaire	<input type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input checked="" type="checkbox"/> relief	<input checked="" type="checkbox"/> obstacles	<input checked="" type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input checked="" type="checkbox"/> fluctuations
<input checked="" type="checkbox"/> visibilité de panache	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt	<input checked="" type="checkbox"/> chimie	<input checked="" type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>	Transoft International <a href="http://www.fluidyn.com/">http://www.fluidyn.com/</a>			
• <i>Distributeur du logiciel :</i>	Transoft International <a href="http://www.fluidyn.com/">http://www.fluidyn.com/</a>			
• <i>Contact :</i>	Tripathi	Tél.:	Fax :	
• <i>Type de licence :</i>	<input type="checkbox"/> accès libre	<input type="checkbox"/> accès contrôlé	<input checked="" type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input checked="" type="checkbox"/> doc technique	<input checked="" type="checkbox"/> doc utilisateur	<input type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>				

ACRONYME :

FLUIDYN PANACHE

**Modèle de dispersion :**

<input type="checkbox"/> gaussien	<input type="checkbox"/> panache	<input type="checkbox"/> bouffées	<input checked="" type="checkbox"/> eulérien 3D	<input checked="" type="checkbox"/> lagrangien
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Modélisation des écarts-types :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> par classes</li> <li><input type="checkbox"/> continue</li> </ul> </li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>	
			<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>	

**Phénomènes de dispersion représentés :**

• <i>Effets du relief :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets des obstacles :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> source ponctuelle <input checked="" type="checkbox"/> source volumique <input checked="" type="checkbox"/> surhauteur cinématique <input checked="" type="checkbox"/> source linéique <input checked="" type="checkbox"/> source variable <input checked="" type="checkbox"/> surhauteur thermique <input checked="" type="checkbox"/> source surfacique <input checked="" type="checkbox"/> source multiple <input type="checkbox"/> downwash/flagging	
• <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion	<input type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion <input type="checkbox"/> réflexion <input type="checkbox"/> pénétration <input type="checkbox"/> fumigation
• <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i>	<input type="checkbox"/> meandering	
• <i>Fluctuations :</i>	<input type="checkbox"/> écart-type de concentration	<input type="checkbox"/> pdf de concentration
• <i>Chimie</i>	<input checked="" type="checkbox"/> chimie simplifiée	<input checked="" type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe
• <i>Déposition :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> particules <input checked="" type="checkbox"/> sédimentation	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec <input type="checkbox"/> dépôt humide
• <i>Radioactivité :</i>	<input type="checkbox"/> déc. radioactive	<input type="checkbox"/> filiation radioactive <input type="checkbox"/> débit de dose

**Informations sur les données d'entrée :**

• <i>Données géographiques :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> relief	<input checked="" type="checkbox"/> obstacles	<input checked="" type="checkbox"/> catégories de sol
• <i>Données météorologiques :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> mesures	<input checked="" type="checkbox"/> préprocesseur	<input checked="" type="checkbox"/> champ 3D
• <i>Données d'émission</i>	<input checked="" type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées	<input type="checkbox"/> modèle d'émission	

**Informations sur les données de sortie :**

• <i>Format des données :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> fichiers ASCII	<input checked="" type="checkbox"/> cartographies	<input checked="" type="checkbox"/> tracés 3D	<input type="checkbox"/> Web
• <i>Grandeurs calculées :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> concentration moyenne	<input checked="" type="checkbox"/> percentiles		
	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt humide	<input type="checkbox"/> écart-type	
• <i>Répartition temporelle</i>	<input checked="" type="checkbox"/> moyenne par pas de temps	<input checked="" type="checkbox"/> moyenne annuelle	<input type="checkbox"/> fluctuations	



ACRONYME :

FLUIDYN PANACHE

**Modèle météorologique :****Prognostique**• *Aucun modèle météorologique :*

- résultats de simulation
- mesures météorologiques

• *Modèle diagnostique :*

- linéarisation des équations
- conservation de la masse
- modèle ID vertical

• *Modèle prognostique :*

- hydrostatique
- incompressible

 maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :*

- terrain plat et homogène       terrain plat et non homogène
- vallée isolée de profondeur modérée       colline isolée de pente modérée
- collines et vallées de pentes modérées       relief de montagne

• *Prise en compte des obstacles :*

- rugosité       obstacle isolé       groupe d'obstacles

• *Stratification atmosphérique :*

- atmosphère neutre       brise de mer
- atmosphère stable       brise de vallée
- atmosphère convective       îlot de chaleur urbain

• *Modèle de sol :*

- sol hétérogène       échange de chaleur       échange d'humidité

• *Humidité atmosphérique :*

- atmosphère humide       microphysique des nuages       précipitations

**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :*

- PC       Mac Intosh       station Unix       calcul //

• *Système d'exploitation :*

- DOS       Windows       Linux       Unix

• *Langage utilisé :*

- Fortran       C       Autre langage

• *Interface utilisateur :*

- aucun (ASCII)       intégré

*logiciels de post traitement :*• *Temps de calcul par scénario :*

- < une seconde       < une minute       < une heure       > une heure

• *Modèles liés*

PCRAMMET : préprocesseur météo de l'EPA

ACRONYME :

FLUIDYN PANACHE

• Références :

Goldwire, H.C. Jr, T.G. McRae, G.W. Johnson, D.L. Hipple, R.P. Koopman, J.W. McClure, L.K. Morris and R.T. Cederhall, 1985. *desert Tortoise Series Data Report: 1983 Pressurized Ammonia Spills. UCID 20562, Lawrence Livermore National Laboratory; Livermore, California.*

Green, S.R., 1992. *Modeling Turbulent Air Flow in a Stand of Widely Spaced Trees, The PHOENICS Journal of Computational Fluid Dynamics and Its Applications, 5: 294-312.*

Gryning, S.E. and E. Lyck, 1984. *Atmospheric Dispersion from Elevated Sources in an Urban Area: Comparison Between Tracer Experiments and Model Calculations. J. of Climate and Appl. Meteor., 23:651-660.*

Havens, J., T. Spicer, H. Walker and T. Williams, 1995. *Validation of Mathematical Models Using Wind-Tunnel Data Sets for Dense Gas Dispersion in the Presence of Obstacles. University of Arkansas, 8th International Symposium-Loss Prevention and Safety Promotion in the Process Industries; Antwerp, Belgium.*

McQuaid, J. (ed), 1985. *Heavy Gas Dispersion Trials at Thorney Island. Proc. of a Symposium held at the University of Sheffield, Great Britain.*

Pavitskiy, N.Y., A.A. Yakuskin and S.V. Zhubrin, 1993. *Vehicular Exhaust Dispersion Around Group of Buildings. The PHOENICS Journal of Computational Fluid Dynamics and Its Applications, 6: 270-285.*

Tripathi, S., 1994. *Evaluation of Fluidyn-PANACHE on Heavy Gas Dispersion Test Case. Seminar on Evaluation of Models of Heavy Gas Dispersion Organized by European Commission; Mol, Belgium.*

ACRONYME :

HOTMAC / RAPTAD

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	<b>Prognostique</b>			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input type="checkbox"/> Gaussien	<input type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input checked="" type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> ponctuelle	<input checked="" type="checkbox"/> linéique	<input checked="" type="checkbox"/> surfacique	<input type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input type="checkbox"/> rejet continu	<input type="checkbox"/> rejet variable	<input type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input type="checkbox"/> locale	<input checked="" type="checkbox"/> urbaine	<input checked="" type="checkbox"/> régionale	<input type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input checked="" type="checkbox"/> horaire	<input type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input checked="" type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input checked="" type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input checked="" type="checkbox"/> fluctuations
<input type="checkbox"/> visibilité de panache	<input type="checkbox"/> dépôt	<input type="checkbox"/> chimie	<input checked="" type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>	Yamada Science & Art Corporation <a href="http://www.kmxq.com/ysa/index.html">http://www.kmxq.com/ysa/index.html</a>			
• <i>Distributeur du logiciel :</i>	Yamada Science & Art Corporation <a href="http://www.kmxq.com/ysa/index.html">http://www.kmxq.com/ysa/index.html</a>			
• <i>Contact :</i>	ysa@ysasoft.com	Tél.:	Fax :	
• <i>Type de licence :</i>	<input type="checkbox"/> accès libre	<input type="checkbox"/> accès contrôlé	<input type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input checked="" type="checkbox"/> doc technique	<input checked="" type="checkbox"/> doc utilisateur	<input type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>				

ACRONYME :

HOTMAC / RAPTAD

**Modèle de dispersion :**

<input type="checkbox"/> gaussien	<input type="checkbox"/> panache	<input type="checkbox"/> bouffées	<input type="checkbox"/> eulérien 3D	<input checked="" type="checkbox"/> lagrangien
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Modélisation des écarts-types :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> par classes</li> <li><input type="checkbox"/> continue</li> </ul> </li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>				

**Phénomènes de dispersion représentés :**

• <i>Effets du relief :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets des obstacles :</i>	<input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> source ponctuelle <input type="checkbox"/> source volumique <input checked="" type="checkbox"/> source linéique <input type="checkbox"/> source variable <input checked="" type="checkbox"/> source surfacique <input type="checkbox"/> source multiple	<input checked="" type="checkbox"/> surhauteur cinématique <input checked="" type="checkbox"/> surhauteur thermique <input type="checkbox"/> downwash/flagging
• <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>	<input type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion	<input checked="" type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion <input checked="" type="checkbox"/> réflexion <input checked="" type="checkbox"/> pénétration <input checked="" type="checkbox"/> fumigation
• <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> meandering	
• <i>Fluctuations :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> écart-type de concentration	<input checked="" type="checkbox"/> pdf de concentration
• <i>Chimie</i>	<input type="checkbox"/> chimie simplifiée	<input type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe
• <i>Déposition :</i>	<input type="checkbox"/> particules <input type="checkbox"/> sédimentation	<input type="checkbox"/> dépôt sec <input type="checkbox"/> dépôt humide
• <i>Radioactivité :</i>	<input type="checkbox"/> déc. radioactive	<input type="checkbox"/> filiation radioactive <input type="checkbox"/> débit de dose

**Informations sur les données d'entrée :**

• <i>Données géographiques :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input checked="" type="checkbox"/> catégories de sol
• <i>Données météorologiques :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> mesures	<input type="checkbox"/> préprocesseur	<input type="checkbox"/> champ 3D
• <i>Données d'émission</i>	<input checked="" type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées	<input type="checkbox"/> modèle d'émission	

**Informations sur les données de sortie :**

• <i>Format des données :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> fichiers ASCII	<input checked="" type="checkbox"/> cartographies	<input checked="" type="checkbox"/> tracés 3D	<input type="checkbox"/> Web
• <i>Grandeurs calculées :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> concentration moyenne	<input type="checkbox"/> dépôt sec	<input type="checkbox"/> dépôt humide	<input type="checkbox"/> percentiles
• <i>Répartition temporelle</i>	<input checked="" type="checkbox"/> moyenne par pas de temps	<input type="checkbox"/> écart-type	<input type="checkbox"/> moyenne annuelle	<input checked="" type="checkbox"/> fluctuations

ACRONYME :

HOTMAC / RAPTAD

**Modèle météorologique :****Prognostique**• *Aucun modèle météorologique :*

- résultats de simulation
- mesures météorologiques

• *Modèle diagnostique :*

- linéarisation des équations
- conservation de la masse
- modèle ID vertical

• *Modèle prognostique :*

- hydrostatique
- incompressible

 maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :*

- terrain plat et homogène
- vallée isolée de profondeur modérée
- collines et vallées de pentes modérées

- terrain plat et non homogène
- colline isolée de pente modérée
- relief de montagne

• *Prise en compte des obstacles :*

- rugosité
- obstacle isolé
- groupe d'obstacles

• *Stratification atmosphérique :*

- atmosphère neutre
- atmosphère stable
- atmosphère convective
- brise de mer
- brise de vallée
- îlot de chaleur urbain

• *Modèle de sol :*

- sol hétérogène
- échange de chaleur
- échange d'humidité

• *Humidité atmosphérique :*

- atmosphère humide
- microphysique des nuages
- précipitations

**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :*

- PC
- Mac Intosh
- station Unix
- calcul //

• *Système d'exploitation :*

- DOS
- Windows
- Linux
- Unix

• *Langage utilisé :*

- Fortran
- C
- Autre langage

• *Interface utilisateur :*

- aucun (ASCII)
- intégré

*logiciels de post traitement :*• *Temps de calcul par scénario :*

- < une seconde
- < une minute
- < une heure
- > une heure

• *Modèles liés**interfaçage possible avec des modèles de chimie atmosphérique comme UAM*

ACRONYME :

HOTMAC / RAPTAD

- Références :

Mellor, G.L. and T. Yamada, 1974. *A Hierarchy of Turbulence Closure Models for Planetary Boundary Layers*. *J. Atmos. Sci.*, 31: 1791-1806.

Mellor, G.L. and T. Yamada, 1982. *Development of a Turbulence Closure Model for Geophysical Fluid Problems*. *Rev. Geophys. Space Phys.*, 20: 851-875.

Yamada, T. and S. Bunker, 1988. *Development of a Nested Grid, Second Moment Turbulence Closure Model and Application to the 1982 ASCOT Brush Creek Data Simulation*. *J. Appl. Meteor.*, 27: 562-578.

Yamada, T., S. Bunker and M. Moss, 1992. *A Numerical Simulation of Atmospheric Transport and Diffusion over Coastal Complex Terrain*. *J. Appl. Meteor.*, 31: 565-578.

Yamada, T. and T. Henmi, 1994. *HOTMAC: Model Performance Evaluation by Using Project WIND Phase I and II Data*. *Mesoscale Modeling of the Atmosphere, American Meteorological Society, Monograph 47*, pp. 123-135.

ACRONYME :

HYPACT-RAMS

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	<b>Prognostique</b>			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input type="checkbox"/> Gaussien	<input checked="" type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input checked="" type="checkbox"/> Lagrangien	<input checked="" type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> ponctuelle	<input checked="" type="checkbox"/> linéique	<input checked="" type="checkbox"/> surfacique	<input checked="" type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input checked="" type="checkbox"/> rejet continu	<input checked="" type="checkbox"/> rejet variable	<input checked="" type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input type="checkbox"/> locale	<input type="checkbox"/> urbaine	<input checked="" type="checkbox"/> régionale	<input type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input checked="" type="checkbox"/> horaire	<input checked="" type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input checked="" type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input checked="" type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input type="checkbox"/> fluctuations
<input type="checkbox"/> visibilité de panache	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt	<input checked="" type="checkbox"/> chimie	<input type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>	Colorado State University <a href="http://www.colostate.edu/">http://www.colostate.edu/</a>			
• <i>Distributeur du logiciel :</i>	Atmospheric, Meteorological, and Environmental Technologies (ATMET) <a href="http://www.atmet.com/index.shtml">http://www.atmet.com/index.shtml</a>			
• <i>Contact :</i>	Tél.:		Fax :	
• <i>Type de licence :</i>	<input type="checkbox"/> accès libre	<input type="checkbox"/> accès contrôlé	<input type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input checked="" type="checkbox"/> doc technique	<input checked="" type="checkbox"/> doc utilisateur	<input checked="" type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>				

ACRONYME :

HYPACT-RAMS

**Modèle de dispersion :**

<input type="checkbox"/> gaussien	<input type="checkbox"/> panache	<input type="checkbox"/> bouffées	<input checked="" type="checkbox"/> eulérien 3D	<input checked="" type="checkbox"/> lagrangien
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Modélisation des écarts-types :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> par classes</li> <li><input type="checkbox"/> continue</li> </ul> </li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>	
			<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>	

**Phénomènes de dispersion représentés :**

• <i>Effets du relief :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets des obstacles :</i>	<input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> source ponctuelle <input checked="" type="checkbox"/> source volumique <input checked="" type="checkbox"/> surhauteur cinématique <input checked="" type="checkbox"/> source linéique <input checked="" type="checkbox"/> source variable <input checked="" type="checkbox"/> surhauteur thermique <input checked="" type="checkbox"/> source surfacique <input checked="" type="checkbox"/> source multiple <input type="checkbox"/> downwash/flagging	
• <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion	<input type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion <input type="checkbox"/> réflexion <input type="checkbox"/> pénétration <input type="checkbox"/> fumigation
• <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i>	<input type="checkbox"/> meandering	
• <i>Fluctuations :</i>	<input type="checkbox"/> écart-type de concentration	<input type="checkbox"/> pdf de concentration
• <i>Chimie</i>	<input checked="" type="checkbox"/> chimie simplifiée	<input type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe
• <i>Déposition :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> particules <input checked="" type="checkbox"/> sédimentation	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec <input checked="" type="checkbox"/> dépôt humide
• <i>Radioactivité :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> déc. radioactive	<input type="checkbox"/> filiation radioactive <input type="checkbox"/> débit de dose

**Informations sur les données d'entrée :**

• <i>Données géographiques :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input checked="" type="checkbox"/> catégories de sol
• <i>Données météorologiques :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> mesures	<input type="checkbox"/> préprocesseur	<input checked="" type="checkbox"/> champ 3D
• <i>Données d'émission</i>	<input type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées	<input checked="" type="checkbox"/> modèle d'émission	

**Informations sur les données de sortie :**

• <i>Format des données :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> fichiers ASCII	<input type="checkbox"/> cartographies	<input checked="" type="checkbox"/> tracés 3D	<input type="checkbox"/> Web
• <i>Grandeurs calculées :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> concentration moyenne	<input type="checkbox"/> percentiles		
	<input type="checkbox"/> dépôt sec	<input type="checkbox"/> dépôt humide	<input type="checkbox"/> écart-type	
• <i>Répartition temporelle</i>	<input type="checkbox"/> moyenne par pas de temps	<input type="checkbox"/> moyenne annuelle	<input type="checkbox"/> fluctuations	



ACRONYME :

HYPACT-RAMS

**Modèle météorologique :****Prognostique**• *Aucun modèle météorologique :*

- résultats de simulation  
 mesures météorologiques

• *Modèle diagnostique :*

- linéarisation des équations  
 conservation de la masse  
 modèle ID vertical

• *Modèle prognostique :*

- hydrostatique  
 incompressible

 maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :*

- terrain plat et homogène  
 vallée isolée de profondeur modérée  
 collines et vallées de pentes modérées

- terrain plat et non homogène  
 colline isolée de pente modérée  
 relief de montagne

• *Prise en compte des obstacles :*

- rugosité       obstacle isolé       groupe d'obstacles

• *Stratification atmosphérique :*

- atmosphère neutre       brise de mer  
 atmosphère stable       brise de vallée  
 atmosphère convective       îlot de chaleur urbain

• *Modèle de sol :*

- sol hétérogène       échange de chaleur       échange d'humidité

• *Humidité atmosphérique :*

- atmosphère humide       microphysique des nuages       précipitations

**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :* PC       Mac Intosh       station Unix       calcul //• *Système d'exploitation :* DOS       Windows       Linux       Unix• *Langage utilisé :* Fortran       C       Autre langage• *Interface utilisateur :* aucun (ASCII)       intégré*logiciels de post traitement :*• *Temps de calcul par scénario :* < une seconde       < une minute       < une heure       > une heure• *Modèles liés*

ACRONYME :

HYPACT-RAMS

- Références :

ACRONYME :

IBJodor

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	Aucun			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input type="checkbox"/> Gaussien	<input type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input type="checkbox"/> ponctuelle	<input type="checkbox"/> linéique	<input type="checkbox"/> surfacique	<input type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input type="checkbox"/> rejet continu	<input type="checkbox"/> rejet variable	<input type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> locale	<input type="checkbox"/> urbaine	<input type="checkbox"/> régionale	<input type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input type="checkbox"/> horaire	<input type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input type="checkbox"/> fluctuations
<input type="checkbox"/> visibilité de panache	<input type="checkbox"/> dépôt	<input type="checkbox"/> chimie	<input type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>				
• <i>Distributeur du logiciel :</i>	Janicke Consulting <a href="http://www.janicke.de/">http://www.janicke.de/</a>			
• <i>Contact :</i>	Tél.:		Fax :	
• <i>Type de licence :</i>	<input type="checkbox"/> accès libre	<input checked="" type="checkbox"/> accès contrôlé	<input type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input type="checkbox"/> doc technique	<input type="checkbox"/> doc utilisateur	<input type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>				

ACRONYME :

IBJodor

**Modèle de dispersion :**

<input type="checkbox"/> gaussien	<input type="checkbox"/> panache	<input type="checkbox"/> bouffées	<input type="checkbox"/> eulérien 3D	<input type="checkbox"/> lagrangien
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Modélisation des écarts-types :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> par classes</li> <li><input type="checkbox"/> continue</li> </ul> </li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>	
			<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>	

**Phénomènes de dispersion représentés :**

• <i>Effets du relief :</i>	<input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique	
• <i>Effets des obstacles :</i>	<input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique	
• <i>Effets de la source :</i>	<input type="checkbox"/> source ponctuelle	<input type="checkbox"/> source volumique	<input type="checkbox"/> surhauteur cinématique
	<input type="checkbox"/> source linéique	<input type="checkbox"/> source variable	<input type="checkbox"/> surhauteur thermique
	<input type="checkbox"/> source surfacique	<input type="checkbox"/> source multiple	<input type="checkbox"/> downwash/flagging
• <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>	<input type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion		<input type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion
			<input type="checkbox"/> réflexion
			<input type="checkbox"/> pénétration
			<input type="checkbox"/> fumigation
• <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i>	<input type="checkbox"/> meandering		
• <i>Fluctuations :</i>	<input type="checkbox"/> écart-type de concentration	<input type="checkbox"/> pdf de concentration	
• <i>Chimie</i>	<input type="checkbox"/> chimie simplifiée	<input type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe	
• <i>Déposition :</i>	<input type="checkbox"/> particules	<input type="checkbox"/> dépôt sec	
	<input type="checkbox"/> sédimentation	<input type="checkbox"/> dépôt humide	
• <i>Radioactivité :</i>	<input type="checkbox"/> déc. radioactive	<input type="checkbox"/> filiation radioactive	<input type="checkbox"/> débit de dose

**Informations sur les données d'entrée :**

• <i>Données géographiques :</i>	<input type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input type="checkbox"/> catégories de sol
• <i>Données météorologiques :</i>	<input type="checkbox"/> mesures	<input type="checkbox"/> préprocesseur	<input type="checkbox"/> champ 3D
• <i>Données d'émission</i>	<input type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées	<input type="checkbox"/> modèle d'émission	

**Informations sur les données de sortie :**

• <i>Format des données :</i>	<input type="checkbox"/> fichiers ASCII	<input type="checkbox"/> cartographies	<input type="checkbox"/> tracés 3D	<input type="checkbox"/> Web
• <i>Grandeurs calculées :</i>	<input type="checkbox"/> concentration moyenne		<input type="checkbox"/> percentiles	
	<input type="checkbox"/> dépôt sec	<input type="checkbox"/> dépôt humide	<input type="checkbox"/> écart-type	
• <i>Répartition temporelle</i>	<input type="checkbox"/> moyenne par pas de temps	<input type="checkbox"/> moyenne annuelle	<input type="checkbox"/> fluctuations	

ACRONYME :

IBJodor

**Modèle météorologique :**

Aucun

• *Aucun modèle météorologique :* résultats de simulation mesures météorologiques• *Modèle diagnostique :* linéarisation des équations conservation de la masse modèle ID vertical• *Modèle prognostique :* hydrostatique incompressible maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :* terrain plat et homogène vallée isolée de profondeur modérée collines et vallées de pentes modérées terrain plat et non homogène colline isolée de pente modérée relief de montagne• *Prise en compte des obstacles :* rugosité obstacle isolé groupe d'obstacles• *Stratification atmosphérique :* atmosphère neutre atmosphère stable atmosphère convective brise de mer brise de vallée îlot de chaleur urbain• *Modèle de sol :* sol hétérogène échange de chaleur échange d'humidité• *Humidité atmosphérique :* atmosphère humide microphysique des nuages précipitations**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :* PC Mac Intosh station Unix calcul //• *Système d'exploitation :* DOS Windows Linux Unix• *Langage utilisé :* Fortran C Autre langage• *Interface utilisateur :* aucun (ASCII) intégré*logiciels de post traitement :*• *Temps de calcul par scénario :* < une seconde < une minute < une heure > une heure• *Modèles liés*

MEPOD

ACRONYME :

IBJodor

- Références :

ACRONYME :

IBJparticle

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	Aucun			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input type="checkbox"/> Gaussien	<input type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input checked="" type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> ponctuelle	<input type="checkbox"/> linéique	<input type="checkbox"/> surfacique	<input type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input type="checkbox"/> rejet continu	<input type="checkbox"/> rejet variable	<input type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> locale	<input checked="" type="checkbox"/> urbaine	<input type="checkbox"/> régionale	<input type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input checked="" type="checkbox"/> horaire	<input type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input type="checkbox"/> fluctuations
<input type="checkbox"/> visibilité de panache	<input type="checkbox"/> dépôt	<input type="checkbox"/> chimie	<input type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>				
• <i>Distributeur du logiciel :</i>	Janicke Consulting <a href="http://www.janicke.de/">http://www.janicke.de/</a>			
• <i>Contact :</i>	Tél.:		Fax :	
• <i>Type de licence :</i>	<input type="checkbox"/> accès libre	<input checked="" type="checkbox"/> accès contrôlé	<input type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input type="checkbox"/> doc technique	<input type="checkbox"/> doc utilisateur	<input type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>				

ACRONYME :

IBJparticle

**Modèle de dispersion :**

<input type="checkbox"/> gaussien	<input type="checkbox"/> panache	<input type="checkbox"/> bouffées	<input type="checkbox"/> eulérien 3D	<input checked="" type="checkbox"/> lagrangien
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Modélisation des écarts-types :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> par classes</li> <li><input type="checkbox"/> continue</li> </ul> </li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>

**Phénomènes de dispersion représentés :**

• <i>Effets du relief :</i>	<input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets des obstacles :</i>	<input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> source ponctuelle <input type="checkbox"/> source volumique <input type="checkbox"/> surhauteur cinématique <input type="checkbox"/> source linéique <input type="checkbox"/> source variable <input type="checkbox"/> surhauteur thermique <input type="checkbox"/> source surfacique <input type="checkbox"/> source multiple <input type="checkbox"/> downwash/flagging	
• <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>	<input type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion	<input type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion <input type="checkbox"/> réflexion <input type="checkbox"/> pénétration <input type="checkbox"/> fumigation
• <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i>	<input type="checkbox"/> meandering	
• <i>Fluctuations :</i>	<input type="checkbox"/> écart-type de concentration	<input type="checkbox"/> pdf de concentration
• <i>Chimie</i>	<input type="checkbox"/> chimie simplifiée	<input type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe
• <i>Déposition :</i>	<input type="checkbox"/> particules	<input type="checkbox"/> dépôt sec
	<input type="checkbox"/> sédimentation	<input type="checkbox"/> dépôt humide
• <i>Radioactivité :</i>	<input type="checkbox"/> déc. radioactive	<input type="checkbox"/> filiation radioactive <input type="checkbox"/> débit de dose

**Informations sur les données d'entrée :**

• <i>Données géographiques :</i>	<input type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input type="checkbox"/> catégories de sol
• <i>Données météorologiques :</i>	<input type="checkbox"/> mesures	<input type="checkbox"/> préprocesseur	<input type="checkbox"/> champ 3D
• <i>Données d'émission</i>	<input type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées	<input type="checkbox"/> modèle d'émission	

**Informations sur les données de sortie :**

• <i>Format des données :</i>	<input type="checkbox"/> fichiers ASCII	<input type="checkbox"/> cartographies	<input type="checkbox"/> tracés 3D	<input type="checkbox"/> Web
• <i>Grandeurs calculées :</i>	<input type="checkbox"/> concentration moyenne	<input type="checkbox"/> percentiles		
	<input type="checkbox"/> dépôt sec	<input type="checkbox"/> dépôt humide	<input type="checkbox"/> écart-type	
• <i>Répartition temporelle</i>	<input type="checkbox"/> moyenne par pas de temps	<input type="checkbox"/> moyenne annuelle	<input type="checkbox"/> fluctuations	



ACRONYME :

IBJparticle

**Modèle météorologique :**

Aucun

• *Aucun modèle météorologique :* résultats de simulation mesures météorologiques• *Modèle diagnostique :* linéarisation des équations conservation de la masse modèle ID vertical• *Modèle prognostique :* hydrostatique incompressible maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :* terrain plat et homogène vallée isolée de profondeur modérée collines et vallées de pentes modérées terrain plat et non homogène colline isolée de pente modérée relief de montagne• *Prise en compte des obstacles :* rugosité obstacle isolé groupe d'obstacles• *Stratification atmosphérique :* atmosphère neutre atmosphère stable atmosphère convective brise de mer brise de vallée îlot de chaleur urbain• *Modèle de sol :* sol hétérogène échange de chaleur échange d'humidité• *Humidité atmosphérique :* atmosphère humide microphysique des nuages précipitations**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :* PC Mac Intosh station Unix calcul //• *Système d'exploitation :* DOS Windows Linux Unix• *Langage utilisé :* Fortran C Autre langage• *Interface utilisateur :* aucun (ASCII) intégré*logiciels de post traitement :*• *Temps de calcul par scénario :* < une seconde < une minute < une heure > une heure• *Modèles liés*

ACRONYME :

IBJparticle

- Références :

ACRONYME :

IBJplume

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	Aucun			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> Gaussien	<input type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input type="checkbox"/> ponctuelle	<input type="checkbox"/> linéique	<input type="checkbox"/> surfacique	<input type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input type="checkbox"/> rejet continu	<input type="checkbox"/> rejet variable	<input type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> locale	<input checked="" type="checkbox"/> urbaine	<input type="checkbox"/> régionale	<input type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input type="checkbox"/> horaire	<input type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input type="checkbox"/> fluctuations
<input type="checkbox"/> visibilité de panache	<input type="checkbox"/> dépôt	<input type="checkbox"/> chimie	<input type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>				
• <i>Distributeur du logiciel :</i>	Janicke Consulting <a href="http://www.janicke.de/">http://www.janicke.de/</a>			
• <i>Contact :</i>	Tél.:		Fax :	
• <i>Type de licence :</i>	<input type="checkbox"/> accès libre	<input checked="" type="checkbox"/> accès contrôlé	<input type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input type="checkbox"/> doc technique	<input type="checkbox"/> doc utilisateur	<input type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>				

ACRONYME :

IBJplume

**Modèle de dispersion :**

<input checked="" type="checkbox"/> gaussien <input checked="" type="checkbox"/> panache <input type="checkbox"/> bouffées <ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Modélisation des écarts-types :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> par classes</li> <li><input type="checkbox"/> continue</li> </ul> </li> </ul>	<input type="checkbox"/> eulérien 3D <ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>	<input type="checkbox"/> lagrangien <ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>
--	--	---

**Phénomènes de dispersion représentés :**

• <i>Effets du relief :</i>	<input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets des obstacles :</i>	<input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets de la source :</i>	<input type="checkbox"/> source ponctuelle <input type="checkbox"/> source volumique <input type="checkbox"/> surhauteur cinématique <input type="checkbox"/> source linéique <input type="checkbox"/> source variable <input type="checkbox"/> surhauteur thermique <input type="checkbox"/> source surfacique <input type="checkbox"/> source multiple <input type="checkbox"/> downwash/flagging	
• <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>	<input type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion	<input type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion <input type="checkbox"/> réflexion <input type="checkbox"/> pénétration <input type="checkbox"/> fumigation
• <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i>	<input type="checkbox"/> meandering	
• <i>Fluctuations :</i>	<input type="checkbox"/> écart-type de concentration	<input type="checkbox"/> pdf de concentration
• <i>Chimie</i>	<input type="checkbox"/> chimie simplifiée	<input type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe
• <i>Déposition :</i>	<input type="checkbox"/> particules <input type="checkbox"/> sédimentation	<input type="checkbox"/> dépôt sec <input type="checkbox"/> dépôt humide
• <i>Radioactivité :</i>	<input type="checkbox"/> déc. radioactive	<input type="checkbox"/> filiation radioactive <input type="checkbox"/> débit de dose

**Informations sur les données d'entrée :**

• <i>Données géographiques :</i>	<input type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input type="checkbox"/> catégories de sol
• <i>Données météorologiques :</i>	<input type="checkbox"/> mesures	<input type="checkbox"/> préprocesseur	<input type="checkbox"/> champ 3D
• <i>Données d'émission</i>	<input type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées	<input type="checkbox"/> modèle d'émission	

**Informations sur les données de sortie :**

• <i>Format des données :</i>	<input type="checkbox"/> fichiers ASCII	<input type="checkbox"/> cartographies	<input type="checkbox"/> tracés 3D	<input type="checkbox"/> Web
• <i>Grandeurs calculées :</i>	<input type="checkbox"/> concentration moyenne	<input type="checkbox"/> percentiles		
	<input type="checkbox"/> dépôt sec	<input type="checkbox"/> dépôt humide	<input type="checkbox"/> écart-type	
• <i>Répartition temporelle</i>	<input type="checkbox"/> moyenne par pas de temps	<input type="checkbox"/> moyenne annuelle	<input type="checkbox"/> fluctuations	

ACRONYME :

IBJplume

**Modèle météorologique :**

Aucun

• *Aucun modèle météorologique :* résultats de simulation mesures météorologiques• *Modèle diagnostique :* linéarisation des équations conservation de la masse modèle ID vertical• *Modèle prognostique :* hydrostatique incompressible maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :* terrain plat et homogène vallée isolée de profondeur modérée collines et vallées de pentes modérées terrain plat et non homogène colline isolée de pente modérée relief de montagne• *Prise en compte des obstacles :* rugosité obstacle isolé groupe d'obstacles• *Stratification atmosphérique :* atmosphère neutre atmosphère stable atmosphère convective brise de mer brise de vallée îlot de chaleur urbain• *Modèle de sol :* sol hétérogène échange de chaleur échange d'humidité• *Humidité atmosphérique :* atmosphère humide microphysique des nuages précipitations**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :* PC Mac Intosh station Unix calcul //• *Système d'exploitation :* DOS Windows Linux Unix• *Langage utilisé :* Fortran C Autre langage• *Interface utilisateur :* aucun (ASCII) intégré*logiciels de post traitement :*• *Temps de calcul par scénario :* < une seconde < une minute < une heure > une heure• *Modèles liés*

ACRONYME :

IBJplume

- Références :

ACRONYME :

IBJpluris

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	Aucun			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input type="checkbox"/> Gaussien	<input type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input type="checkbox"/> ponctuelle	<input type="checkbox"/> linéique	<input type="checkbox"/> surfacique	<input type="checkbox"/> volumique
	<input checked="" type="checkbox"/> modèle de jet	<input type="checkbox"/> rejet continu	<input type="checkbox"/> rejet variable	<input type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> locale	<input type="checkbox"/> urbaine	<input type="checkbox"/> régionale	<input type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input type="checkbox"/> horaire	<input type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input type="checkbox"/> fluctuations
<input checked="" type="checkbox"/> visibilité de panache	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt	<input type="checkbox"/> chimie	<input type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>				
• <i>Distributeur du logiciel :</i>	Janicke Consulting <a href="http://www.janicke.de/">http://www.janicke.de/</a>			
• <i>Contact :</i>	Tél.:		Fax :	
• <i>Type de licence :</i>	<input type="checkbox"/> accès libre	<input checked="" type="checkbox"/> accès contrôlé	<input type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input type="checkbox"/> doc technique	<input type="checkbox"/> doc utilisateur	<input type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input checked="" type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>				

ACRONYME :

IBJpluris

**Modèle de dispersion :**

<input type="checkbox"/> gaussien	<input type="checkbox"/> panache	<input type="checkbox"/> bouffées	<input type="checkbox"/> eulérien 3D	<input type="checkbox"/> lagrangien
<ul style="list-style-type: none"> <li><u>Modélisation des écarts-types :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> par classes</li> <li><input type="checkbox"/> continue</li> </ul> </li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li><u>Paramétrisation de la turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li><u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>				

**Phénomènes de dispersion représentés :**

• <i>Effets du relief :</i>	<input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique	
• <i>Effets des obstacles :</i>	<input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique	
• <i>Effets de la source :</i>	<input type="checkbox"/> source ponctuelle	<input type="checkbox"/> source volumique	<input type="checkbox"/> surhauteur cinématique
	<input type="checkbox"/> source linéique	<input type="checkbox"/> source variable	<input type="checkbox"/> surhauteur thermique
	<input type="checkbox"/> source surfacique	<input type="checkbox"/> source multiple	<input type="checkbox"/> downwash/flagging
• <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>	<input type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion		<input type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion
			<input type="checkbox"/> réflexion
			<input type="checkbox"/> pénétration
			<input type="checkbox"/> fumigation
• <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i>	<input type="checkbox"/> meandering		
• <i>Fluctuations :</i>	<input type="checkbox"/> écart-type de concentration	<input type="checkbox"/> pdf de concentration	
• <i>Chimie</i>	<input type="checkbox"/> chimie simplifiée	<input type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe	
• <i>Déposition :</i>	<input type="checkbox"/> particules	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec	
	<input type="checkbox"/> sédimentation	<input type="checkbox"/> dépôt humide	
• <i>Radioactivité :</i>	<input type="checkbox"/> déc. radioactive	<input type="checkbox"/> filiation radioactive	<input type="checkbox"/> débit de dose

**Informations sur les données d'entrée :**

• <i>Données géographiques :</i>	<input type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input type="checkbox"/> catégories de sol
• <i>Données météorologiques :</i>	<input type="checkbox"/> mesures	<input type="checkbox"/> préprocesseur	<input type="checkbox"/> champ 3D
• <i>Données d'émission</i>	<input type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées	<input type="checkbox"/> modèle d'émission	

**Informations sur les données de sortie :**

• <i>Format des données :</i>	<input type="checkbox"/> fichiers ASCII	<input type="checkbox"/> cartographies	<input type="checkbox"/> tracés 3D	<input type="checkbox"/> Web
• <i>Grandeurs calculées :</i>	<input type="checkbox"/> concentration moyenne		<input type="checkbox"/> percentiles	
	<input type="checkbox"/> dépôt sec	<input type="checkbox"/> dépôt humide	<input type="checkbox"/> écart-type	
• <i>Répartition temporelle</i>	<input type="checkbox"/> moyenne par pas de temps	<input type="checkbox"/> moyenne annuelle	<input type="checkbox"/> fluctuations	



ACRONYME :

IBJpluris

**Modèle météorologique :**

Aucun

• *Aucun modèle météorologique :* résultats de simulation mesures météorologiques• *Modèle diagnostique :* linéarisation des équations conservation de la masse modèle ID vertical• *Modèle prognostique :* hydrostatique incompressible maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :* terrain plat et homogène vallée isolée de profondeur modérée collines et vallées de pentes modérées terrain plat et non homogène colline isolée de pente modérée relief de montagne• *Prise en compte des obstacles :* rugosité obstacle isolé groupe d'obstacles• *Stratification atmosphérique :* atmosphère neutre atmosphère stable atmosphère convective brise de mer brise de vallée îlot de chaleur urbain• *Modèle de sol :* sol hétérogène échange de chaleur échange d'humidité• *Humidité atmosphérique :* atmosphère humide microphysique des nuages précipitations**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :* PC Mac Intosh station Unix calcul //• *Système d'exploitation :* DOS Windows Linux Unix• *Langage utilisé :* Fortran C Autre langage• *Interface utilisateur :* aucun (ASCII) intégré*logiciels de post traitement :*• *Temps de calcul par scénario :* < une seconde < une minute < une heure > une heure• *Modèles liés*

ACRONYME :

IBJpluris

- Références :

ACRONYME :

IFDM

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	Aucun			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> Gaussien	<input type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> ponctuelle	<input type="checkbox"/> linéique	<input checked="" type="checkbox"/> surfacique	<input type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input checked="" type="checkbox"/> rejet continu	<input checked="" type="checkbox"/> rejet variable	<input checked="" type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> locale	<input checked="" type="checkbox"/> urbaine	<input type="checkbox"/> régionale	<input type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input type="checkbox"/> horaire	<input type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input type="checkbox"/> fluctuations
<input type="checkbox"/> visibilité de panache	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt	<input type="checkbox"/> chimie	<input type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>	VITO <a href="http://www.vito.be/english/">http://www.vito.be/english/</a>			
• <i>Distributeur du logiciel :</i>	VITO <a href="http://www.vito.be/english/">http://www.vito.be/english/</a>			
• <i>Contact :</i>	Clemens Mensink		Tél.:3214336841	Fax :3214319472
	<a href="http://clemens.mensik@vito.be">http://clemens.mensik@vito.be</a>			
• <i>Type de licence :</i>	<input type="checkbox"/> accès libre	<input type="checkbox"/> accès contrôlé	<input checked="" type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input type="checkbox"/> doc technique	<input type="checkbox"/> doc utilisateur	<input type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>	Modèle de référence pour les études réglementaires dans les Flandres.			

ACRONYME :

IFDM

**Modèle de dispersion :**

<input checked="" type="checkbox"/> gaussien	<input checked="" type="checkbox"/> panache	<input type="checkbox"/> bouffées	<input type="checkbox"/> eulérien 3D	<input type="checkbox"/> lagrangien
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Modélisation des écarts-types :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> par classes</li> <li><input type="checkbox"/> continue</li> </ul> </li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>				

**Phénomènes de dispersion représentés :**

• <i>Effets du relief :</i>	<input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets des obstacles :</i>	<input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> source ponctuelle <input type="checkbox"/> source volumique <input type="checkbox"/> surhauteur cinématique <input type="checkbox"/> source linéique <input checked="" type="checkbox"/> source variable <input type="checkbox"/> surhauteur thermique <input checked="" type="checkbox"/> source surfacique <input checked="" type="checkbox"/> source multiple <input type="checkbox"/> downwash/flagging	
• <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion	<input type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion <input type="checkbox"/> réflexion <input type="checkbox"/> pénétration <input type="checkbox"/> fumigation
• <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i>	<input type="checkbox"/> meandering	
• <i>Fluctuations :</i>	<input type="checkbox"/> écart-type de concentration	<input type="checkbox"/> pdf de concentration
• <i>Chimie</i>	<input type="checkbox"/> chimie simplifiée	<input type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe
• <i>Déposition :</i>	<input type="checkbox"/> particules <input type="checkbox"/> sédimentation	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec <input checked="" type="checkbox"/> dépôt humide
• <i>Radioactivité :</i>	<input type="checkbox"/> déc. radioactive	<input type="checkbox"/> filiation radioactive <input type="checkbox"/> débit de dose

**Informations sur les données d'entrée :**

• <i>Données géographiques :</i>	<input type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input type="checkbox"/> catégories de sol
• <i>Données météorologiques :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> mesures	<input type="checkbox"/> préprocesseur	<input type="checkbox"/> champ 3D
• <i>Données d'émission</i>	<input checked="" type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées	<input type="checkbox"/> modèle d'émission	

**Informations sur les données de sortie :**

• <i>Format des données :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> fichiers ASCII	<input checked="" type="checkbox"/> cartographies	<input type="checkbox"/> tracés 3D	<input type="checkbox"/> Web
• <i>Grandeurs calculées :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> concentration moyenne	<input checked="" type="checkbox"/> percentiles		
	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt humide	<input type="checkbox"/> écart-type	
• <i>Répartition temporelle</i>	<input checked="" type="checkbox"/> moyenne par pas de temps	<input checked="" type="checkbox"/> moyenne annuelle	<input type="checkbox"/> fluctuations	

ACRONYME :

IFDM

**Modèle météorologique :**

Aucun

• *Aucun modèle météorologique :*

- résultats de simulation  
 mesures météorologiques

• *Modèle diagnostique :*

- linéarisation des équations  
 conservation de la masse  
 modèle ID vertical

• *Modèle prognostique :*

- hydrostatique  
 incompressible

 maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :*

- terrain plat et homogène  
 terrain plat et non homogène  
 vallée isolée de profondeur modérée  
 colline isolée de pente modérée  
 collines et vallées de pentes modérées  
 relief de montagne

• *Prise en compte des obstacles :*

- rugosité  
 obstacle isolé  
 groupe d'obstacles

• *Stratification atmosphérique :*

- atmosphère neutre  
 atmosphère stable  
 atmosphère convective  
 brise de mer  
 brise de vallée  
 îlot de chaleur urbain

• *Modèle de sol :*

- sol hétérogène  
 échange de chaleur  
 échange d'humidité

• *Humidité atmosphérique :*

- atmosphère humide  
 microphysique des nuages  
 précipitations

**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :*

- PC  
 Mac Intosh  
 station Unix  
 calcul //

• *Système d'exploitation :*

- DOS  
 Windows  
 Linux  
 Unix

• *Langage utilisé :*

- Fortran  
 C  
 Autre langage

• *Interface utilisateur :*

- aucun (ASCII)  
 intégré

*logiciels de post traitement :*• *Temps de calcul par scénario :*

- < une seconde  
 < une minute  
 < une heure  
 > une heure

• *Modèles liés*

ACRONYME :

IFDM

- Références :

- 1/ Olesen H.R. (1995) 'The model validation exercise at Mol: overview of results', Workshop on Operational Short-range Atmospheric Dispersion Models for Environmental Impact Assessment in Europe, Mol, Nov. 1994, published in *Int. J. Environment and Pollution*, Vol. 5, Nos. 4-6, pp. 761-784.
- 2/ Kretzschmar J.G. and Mertens I. (1980). Influence of the turbulence typing schemes upon the yearly average ground-level concentrations calculated by means of a mean wind direction model. *Atm. Env.* 14, 947-951.
- 3/ Kretzschmar J.G., Mertens I., De Baere G. and Vandervee J. (1982): Final report Task 1. Influence of the turbulence typing scheme upon the cumulative frequency distributions of the calculated relative concentrations for different averaging times EUR 8478 EN.
- 4/ Maes G., Cosemans G., Kretzschmar J., Janssen L. and Van Tongerloo, J. (1995) 'Comparison of six Gaussian dispersion models used for regulatory purposes in different countries of the EU', Workshop on Operational Short-range Atmospheric Dispersion Models for Environmental Impact Assessment in Europe, Mol, Nov. 1994, published in *Int. J. Environment and Pollution*, Vol. 5, Nos. 4-6, pp. 734-747.
- 5/ Cosemans G., Kretzschmar J., Janssen L. and Maes G. (1995) 'The Third Workshop's environmental impact assessment model intercomparison exercise', Workshop on Operational Short-range Atmospheric Dispersion Models for Environmental Impact Assessment in Europe, Mol, Nov. 1994, published in *Int. J. Environment and Pollution*, Vol. 5, Nos. 4-6, pp. 785-798.
- 6/ Olesen H.R. (1995) 'The model validation exercise at Mol: overview of results', Workshop on Operational Short-range Atmospheric Dispersion Models for Environmental Impact Assessment in Europe, Mol, Nov. 1994, published in *Int. J. Environment and Pollution*, Vol. 5, Nos. 4-6, pp. 761-784.
- 7/ Mensink C. and Maes G. (1997) 'Comparative sensitivity study for operational short-range atmospheric dispersion models', *Int. J. Environment and Pollution*, Vol. 8, Nos. 3-6, pp. 356-366.
- 8/ Cosemans, G., Kretzschmar, J.G. and Maes, G. (1992), The Belgian immission frequency distribution model IFDM in Olesen, H. and Mikkelsen, T. (Editors) *Proceedings of the DCAR Workshop on Objectives for Next Generation of Practical Short-Range Atmospheric Dispersion Models*, NERI, Roskilde, Denmark.
- 9/ Cosemans G and Kretzschmar J. (1989), IFDM-Superfast in Van Dop H. (Editor), *Air Pollution Modeling and Its Application VII*, Plenum Press; pp. 765-766.
- 10/ Bultynck, H. and Malet, L. (1972), Evaluation of atmospheric dilution factors for effluents diffused from an elevated continuous point source, *Tellus*, Vol. 24, pp. 445-472.
- 11/ Cosemans, G., Kretzschmar, J.G., De Baere G. and Vandervee J. (1982), Large Scale Validation of a bi-Gaussian Dispersion Model in a Multiple Source Urban and Industrial Area, in De Wispelaere C. (Editor) , *Air Pollution Modeling and Its Application II*, Plenum Press; pp. 709-728.
- 12/ Olesen H (1995), *International Journal of Environment and Pollution*, Vol.5, Nos.4-6, pp.702-714, 734-747, 761-784, 785-798.
- 13/ Mensink, C. and Maes, G., (1996), Comparative sensitivity study for operational short-range atmospheric dispersion models', refineries, in Kretzschmar, J.G. and Cosemans, G. (Editors), *Preprints of the proceedings of the 4th Workshop on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes*, 6-9 May 1996, Oostende, Belgium, VITO-report E&M.RA9603, pp. 543-550.
- 14/ Cosemans G., Maes G. and Kretzschmar J. (1992), Environmental impact assessment by means of two different (national) models: IFDM in Belgium and PLUIMPLUS in the Netherlands, in Van Dop H. and Kallos G. (Editors), *Air Pollution Modeling and Its Application IX*, Plenum Press; pp. 765-766.
- 15/ Cosemans, G., Kretzschmar, J., Dumont, G. and Roekens, E. (1996), IFDM modelling for optimal siting of air quality monitoring stations around five oil refineries, in Kretzschmar, J.G. and Cosemans, G. (Editors), *Preprints of the proceedings of the 4th Workshop on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes*, 6-9 May 1996, Oostende, Belgium, VITO-report E&M.RA9603, pp.83-90
- 16/ Maes, G., Cosemans, G., Geuzens, P. and Kretzschmar J. (1994), Using dioxin and furan deposition fields to validate some aspects of a bi-Gaussian model for a continuous release from a 60 m high stack, in Cuvelier, C. (Editor) *Intercomparison of advanced practical short-range atmospheric dispersion models*, EUR 15603 EN, pp.73-84.

ACRONYME :

IMSM

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	<b>Aucun</b>			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input type="checkbox"/> Gaussien	<input checked="" type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input type="checkbox"/> ponctuelle	<input type="checkbox"/> linéique	<input type="checkbox"/> surfacique	<input type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input type="checkbox"/> rejet continu	<input type="checkbox"/> rejet variable	<input type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input type="checkbox"/> locale	<input type="checkbox"/> urbaine	<input checked="" type="checkbox"/> régionale	<input checked="" type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input checked="" type="checkbox"/> horaire	<input type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input checked="" type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input type="checkbox"/> fluctuations
<input type="checkbox"/> visibilité de panache	<input type="checkbox"/> dépôt	<input type="checkbox"/> chimie	<input type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>	Bulgarian Academy of Sciences, Institute of Geophysics			
• <i>Distributeur du logiciel :</i>				
• <i>Contact :</i>	Tél.:		Fax :	
• <i>Type de licence :</i>	<input type="checkbox"/> accès libre	<input type="checkbox"/> accès contrôlé	<input type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input type="checkbox"/> doc technique	<input type="checkbox"/> doc utilisateur	<input type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>				

ACRONYME :

IMSM

**Modèle de dispersion :**

<input type="checkbox"/> gaussien	<input type="checkbox"/> panache	<input type="checkbox"/> bouffées	<input checked="" type="checkbox"/> eulérien 3D	<input type="checkbox"/> lagrangien
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Modélisation des écarts-types :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> par classes</li> <li><input type="checkbox"/> continue</li> </ul> </li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>				

**Phénomènes de dispersion représentés :**

• <i>Effets du relief :</i>	<input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets des obstacles :</i>	<input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets de la source :</i>	<input type="checkbox"/> source ponctuelle <input type="checkbox"/> source volumique <input type="checkbox"/> surhauteur cinématique <input type="checkbox"/> source linéique <input type="checkbox"/> source variable <input type="checkbox"/> surhauteur thermique <input type="checkbox"/> source surfacique <input type="checkbox"/> source multiple <input type="checkbox"/> downwash/flagging	
• <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>	<input type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion	<input type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion <input type="checkbox"/> réflexion <input type="checkbox"/> pénétration <input type="checkbox"/> fumigation
• <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i>	<input type="checkbox"/> meandering	
• <i>Fluctuations :</i>	<input type="checkbox"/> écart-type de concentration	<input type="checkbox"/> pdf de concentration
• <i>Chimie</i>	<input type="checkbox"/> chimie simplifiée	<input type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe
• <i>Déposition :</i>	<input type="checkbox"/> particules	<input type="checkbox"/> dépôt sec
	<input type="checkbox"/> sédimentation	<input type="checkbox"/> dépôt humide
• <i>Radioactivité :</i>	<input type="checkbox"/> déc. radioactive	<input type="checkbox"/> filiation radioactive <input type="checkbox"/> débit de dose

**Informations sur les données d'entrée :**

• <i>Données géographiques :</i>	<input type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input type="checkbox"/> catégories de sol
• <i>Données météorologiques :</i>	<input type="checkbox"/> mesures	<input type="checkbox"/> préprocesseur	<input type="checkbox"/> champ 3D
• <i>Données d'émission</i>	<input type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées	<input type="checkbox"/> modèle d'émission	

**Informations sur les données de sortie :**

• <i>Format des données :</i>	<input type="checkbox"/> fichiers ASCII	<input type="checkbox"/> cartographies	<input type="checkbox"/> tracés 3D	<input type="checkbox"/> Web
• <i>Grandeurs calculées :</i>	<input type="checkbox"/> concentration moyenne	<input type="checkbox"/> percentiles		
	<input type="checkbox"/> dépôt sec	<input type="checkbox"/> dépôt humide	<input type="checkbox"/> écart-type	
• <i>Répartition temporelle</i>	<input type="checkbox"/> moyenne par pas de temps	<input type="checkbox"/> moyenne annuelle	<input type="checkbox"/> fluctuations	



ACRONYME :

IMSM

**Modèle météorologique :**

Aucun

• *Aucun modèle météorologique :* résultats de simulation mesures météorologiques• *Modèle diagnostique :* linéarisation des équations conservation de la masse modèle ID vertical• *Modèle prognostique :* hydrostatique incompressible maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :* terrain plat et homogène vallée isolée de profondeur modérée collines et vallées de pentes modérées terrain plat et non homogène colline isolée de pente modérée relief de montagne• *Prise en compte des obstacles :* rugosité obstacle isolé groupe d'obstacles• *Stratification atmosphérique :* atmosphère neutre atmosphère stable atmosphère convective brise de mer brise de vallée îlot de chaleur urbain• *Modèle de sol :* sol hétérogène échange de chaleur échange d'humidité• *Humidité atmosphérique :* atmosphère humide microphysique des nuages précipitations**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :* PC Mac Intosh station Unix calcul //• *Système d'exploitation :* DOS Windows Linux Unix• *Langage utilisé :* Fortran C Autre langage• *Interface utilisateur :* aucun (ASCII) intégré*logiciels de post traitement :*• *Temps de calcul par scénario :* < une seconde < une minute < une heure > une heure• *Modèles liés*

ACRONYME :

IMSM

- Références :

ACRONYME :

INPUFF-U

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	<b>Aucun</b>			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> Gaussien	<input type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> ponctuelle	<input type="checkbox"/> linéique	<input type="checkbox"/> surfacique	<input type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input type="checkbox"/> rejet continu	<input type="checkbox"/> rejet variable	<input type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> locale	<input type="checkbox"/> urbaine	<input type="checkbox"/> régionale	<input type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input checked="" type="checkbox"/> horaire	<input type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input type="checkbox"/> fluctuations
<input type="checkbox"/> visibilité de panache	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt	<input type="checkbox"/> chimie	<input type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>	National Institute of Meteorology and Hydrology de Bucarest			
• <i>Distributeur du logiciel :</i>				
• <i>Contact :</i>	Tél.:		Fax :	
• <i>Type de licence :</i>	<input type="checkbox"/> accès libre	<input checked="" type="checkbox"/> accès contrôlé	<input type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input type="checkbox"/> doc technique	<input type="checkbox"/> doc utilisateur	<input type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>				

ACRONYME :

INPUFF-U

**Modèle de dispersion :**

- |   |  |   |
|---|--|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> gaussien <input type="checkbox"/> panache <input checked="" type="checkbox"/> bouffées<br>• <u>Modélisation des écarts-types :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input checked="" type="checkbox"/> par classes<br><input type="checkbox"/> continue | <input type="checkbox"/> eulérien 3D<br>• <u>Paramétrisation de la turbulence :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne | <input type="checkbox"/> lagrangien<br>• <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne |
|---|--|---|

**Phénomènes de dispersion représentés :**

- |   |   |   |
|---|---|---|
| • <i>Effets du relief :</i>                           | <input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo  | <input type="checkbox"/> modèle interne spécifique  |
| • <i>Effets des obstacles :</i>                       | <input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo  | <input type="checkbox"/> modèle interne spécifique  |
| • <i>Effets de la source :</i>                        | <input checked="" type="checkbox"/> source ponctuelle <input type="checkbox"/> source volumique<br><input type="checkbox"/> source linéique <input type="checkbox"/> source variable<br><input type="checkbox"/> source surfacique <input type="checkbox"/> source multiple | <input checked="" type="checkbox"/> surhauteur cinématique<br><input checked="" type="checkbox"/> surhauteur thermique<br><input checked="" type="checkbox"/> downwash/flagging |
| • <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>  | <input checked="" type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion<br><input type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion<br><input type="checkbox"/> réflexion<br><input type="checkbox"/> pénétration<br><input type="checkbox"/> fumigation            |   |
| • <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i> | <input type="checkbox"/> meandering   |   |
| • <i>Fluctuations :</i>                               | <input type="checkbox"/> écart-type de concentration  | <input type="checkbox"/> pdf de concentration   |
| • <i>Chimie</i>                                       | <input type="checkbox"/> chimie simplifiée  | <input type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe  |
| • <i>Déposition :</i>                                 | <input type="checkbox"/> particules<br><input type="checkbox"/> sédimentation   | <input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec<br><input checked="" type="checkbox"/> dépôt humide   |
| • <i>Radioactivité :</i>                              | <input checked="" type="checkbox"/> déc. radioactive <input type="checkbox"/> filiation radioactive<br><input type="checkbox"/> débit de dose   |   |

**Informations sur les données d'entrée :**

- |                                    |   |   |  |
|------------------------------------|---|---|--|
| • <i>Données géographiques :</i>   | <input type="checkbox"/> relief                                     | <input type="checkbox"/> obstacles                    | <input type="checkbox"/> catégories de sol |
| • <i>Données météorologiques :</i> | <input checked="" type="checkbox"/> mesures                         | <input type="checkbox"/> préprocesseur                | <input type="checkbox"/> champ 3D          |
| • <i>Données d'émission</i>        | <input checked="" type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées | <input checked="" type="checkbox"/> modèle d'émission |  |

**Informations sur les données de sortie :**

- |                                 |  |
|---------------------------------|--|
| • <i>Format des données :</i>   | <input type="checkbox"/> fichiers ASCII <input type="checkbox"/> cartographies <input type="checkbox"/> tracés 3D <input type="checkbox"/> Web   |
| • <i>Grandeurs calculées :</i>  | <input checked="" type="checkbox"/> concentration moyenne <input type="checkbox"/> percentiles<br><input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec <input checked="" type="checkbox"/> dépôt humide <input type="checkbox"/> écart-type |
| • <i>Répartition temporelle</i> | <input checked="" type="checkbox"/> moyenne par pas de temps <input type="checkbox"/> moyenne annuelle <input type="checkbox"/> fluctuations   |

ACRONYME :

INPUFF-U

**Modèle météorologique :**

Aucun

• *Aucun modèle météorologique :*

- résultats de simulation  
 mesures météorologiques

• *Modèle diagnostique :*

- linéarisation des équations  
 conservation de la masse  
 modèle ID vertical

• *Modèle prognostique :*

- hydrostatique  
 incompressible

 maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :*

- terrain plat et homogène  
 terrain plat et non homogène  
 vallée isolée de profondeur modérée  
 colline isolée de pente modérée  
 collines et vallées de pentes modérées  
 relief de montagne

• *Prise en compte des obstacles :*

- rugosité  
 obstacle isolé  
 groupe d'obstacles

• *Stratification atmosphérique :*

- atmosphère neutre  
 atmosphère stable  
 atmosphère convective  
 brise de mer  
 brise de vallée  
 îlot de chaleur urbain

• *Modèle de sol :*

- sol hétérogène  
 échange de chaleur  
 échange d'humidité

• *Humidité atmosphérique :*

- atmosphère humide  
 microphysique des nuages  
 précipitations

**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :*

- PC  
 Mac Intosh  
 station Unix  
 calcul //

• *Système d'exploitation :*

- DOS  
 Windows  
 Linux  
 Unix

• *Langage utilisé :*

- Fortran  
 C  
 Autre langage

• *Interface utilisateur :*

- aucun (ASCII)  
 intégré

*logiciels de post traitement :*• *Temps de calcul par scénario :*

- < une seconde  
 < une minute  
 < une heure  
 > une heure

• *Modèles liés*

ACRONYME :

INPUFF-U

- Références :

Sandu, I., *Evaluation of the Gaussian puff model based on measurements*, *Int. J. Environ. Pollution*, 4-6, 375-381 (1994)

Sandu, I., Cuculeanu, V., Romanof, N., *Statistical performance of few dispersion schemes for tracer experiment data at a nuclear power plant*, *In Proceeding of 5th International Conference on Harmonization within Atmosphere Dispersion Model for Regulatory Purposes*, 18-21 May, 1998, Rhodes Greece.

ACRONYME :

ISC3

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	<b>Aucun</b>			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> Gaussien	<input type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> ponctuelle	<input checked="" type="checkbox"/> linéique	<input checked="" type="checkbox"/> surfacique	<input checked="" type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input checked="" type="checkbox"/> rejet continu	<input type="checkbox"/> rejet variable	<input type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> locale	<input checked="" type="checkbox"/> urbaine	<input type="checkbox"/> régionale	<input type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input checked="" type="checkbox"/> horaire	<input type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input type="checkbox"/> relief	<input checked="" type="checkbox"/> obstacles	<input checked="" type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input type="checkbox"/> fluctuations
<input type="checkbox"/> visibilité de panache	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt	<input checked="" type="checkbox"/> chimie	<input checked="" type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>	Environmental Protection Agency <a href="http://www.epa.gov/scram001/">http://www.epa.gov/scram001/</a>			
• <i>Distributeur du logiciel :</i>				
• <i>Contact :</i>	Tél.:		Fax :	
• <i>Type de licence :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> accès libre	<input type="checkbox"/> accès contrôlé	<input type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input checked="" type="checkbox"/> doc technique	<input checked="" type="checkbox"/> doc utilisateur	<input checked="" type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> aucun	<input type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>	Modèle recommandé par l'Environmental Protection Agency			

ACRONYME :

ISC3

**Modèle de dispersion :**

- |   |  |   |
|---|--|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> gaussien <input checked="" type="checkbox"/> panache <input type="checkbox"/> bouffées<br>• <u>Modélisation des écarts-types :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input checked="" type="checkbox"/> par classes<br><input type="checkbox"/> continue | <input type="checkbox"/> eulérien 3D<br>• <u>Paramétrisation de la turbulence :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne | <input type="checkbox"/> lagrangien<br>• <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne |
|---|--|---|

**Phénomènes de dispersion représentés :**

- |   |  |   |
|---|--|---|
| • <i>Effets du relief :</i>                           | <input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo   | <input type="checkbox"/> modèle interne spécifique  |
| • <i>Effets des obstacles :</i>                       | <input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo   | <input checked="" type="checkbox"/> modèle interne spécifique   |
| • <i>Effets de la source :</i>                        | <input checked="" type="checkbox"/> source ponctuelle <input checked="" type="checkbox"/> source volumique <input checked="" type="checkbox"/> surhauteur cinématique<br><input checked="" type="checkbox"/> source linéique <input type="checkbox"/> source variable <input checked="" type="checkbox"/> surhauteur thermique<br><input checked="" type="checkbox"/> source surfacique <input type="checkbox"/> source multiple <input checked="" type="checkbox"/> downwash/flagging |   |
| • <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>  | <input checked="" type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion  | <input checked="" type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion<br><input checked="" type="checkbox"/> réflexion<br><input type="checkbox"/> pénétration<br><input type="checkbox"/> fumigation |
| • <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i> | <input type="checkbox"/> meandering  |   |
| • <i>Fluctuations :</i>                               | <input type="checkbox"/> écart-type de concentration   | <input type="checkbox"/> pdf de concentration   |
| • <i>Chimie</i>                                       | <input checked="" type="checkbox"/> chimie simplifiée  | <input type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe  |
| • <i>Déposition :</i>                                 | <input checked="" type="checkbox"/> particules<br><input checked="" type="checkbox"/> sédimentation  | <input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec<br><input type="checkbox"/> dépôt humide  |
| • <i>Radioactivité :</i>                              | <input type="checkbox"/> déc. radioactive  | <input type="checkbox"/> filiation radioactive <input type="checkbox"/> débit de dose   |

**Informations sur les données d'entrée :**

- |                                    |   |   |  |
|------------------------------------|---|---|--|
| • <i>Données géographiques :</i>   | <input checked="" type="checkbox"/> relief                          | <input checked="" type="checkbox"/> obstacles     | <input type="checkbox"/> catégories de sol |
| • <i>Données météorologiques :</i> | <input checked="" type="checkbox"/> mesures                         | <input checked="" type="checkbox"/> préprocesseur | <input type="checkbox"/> champ 3D          |
| • <i>Données d'émission</i>        | <input checked="" type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées | <input type="checkbox"/> modèle d'émission        |  |

**Informations sur les données de sortie :**

- |                                 |  |  |                                       |                              |
|---------------------------------|--|--|---------------------------------------|------------------------------|
| • <i>Format des données :</i>   | <input checked="" type="checkbox"/> fichiers ASCII           | <input type="checkbox"/> cartographies               | <input type="checkbox"/> tracés 3D    | <input type="checkbox"/> Web |
| • <i>Grandeurs calculées :</i>  | <input checked="" type="checkbox"/> concentration moyenne    | <input type="checkbox"/> percentiles                 |                                       |                              |
|                                 | <input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec                | <input type="checkbox"/> dépôt humide                | <input type="checkbox"/> écart-type   |                              |
| • <i>Répartition temporelle</i> | <input checked="" type="checkbox"/> moyenne par pas de temps | <input checked="" type="checkbox"/> moyenne annuelle | <input type="checkbox"/> fluctuations |                              |



ACRONYME :

ISC3

**Modèle météorologique :**

Aucun

• *Aucun modèle météorologique :*

- résultats de simulation  
 mesures météorologiques

• *Modèle diagnostique :*

- linéarisation des équations  
 conservation de la masse  
 modèle ID vertical

• *Modèle prognostique :*

- hydrostatique  
 incompressible

 maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :*

- terrain plat et homogène  
 terrain plat et non homogène  
 vallée isolée de profondeur modérée  
 colline isolée de pente modérée  
 collines et vallées de pentes modérées  
 relief de montagne

• *Prise en compte des obstacles :*

- rugosité  
 obstacle isolé  
 groupe d'obstacles

• *Stratification atmosphérique :*

- atmosphère neutre  
 atmosphère stable  
 atmosphère convective  
 brise de mer  
 brise de vallée  
 îlot de chaleur urbain

• *Modèle de sol :*

- sol hétérogène  
 échange de chaleur  
 échange d'humidité

• *Humidité atmosphérique :*

- atmosphère humide  
 microphysique des nuages  
 précipitations

**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :*

PC  
 Mac Intosh  
 station Unix  
 calcul //

• *Système d'exploitation :*

DOS  
 Windows  
 Linux  
 Unix

• *Langage utilisé :*

Fortran  
 C  
 Autre langage

• *Interface utilisateur :*

aucun (ASCII)  
 intégré

*logiciels de post traitement :*• *Temps de calcul par scénario :*

< une seconde  
 < une minute  
 < une heure  
 > une heure

• *Modèles liés*

RAMMET : préprocesseur météo (interprétation des données météorologiques mesurées : horaires au sol, radiosondages)

ACRONYME :

ISC3

- Références :

*Bowers, J.F. and A.J. Anderson, 1981. An Evaluation Study for the Industrial Source Complex (ISC) Dispersion Model, EPA Publication No. EPA-450/4-81-002. U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC.*

*Bowers, J.F., A.J. Anderson and W.R. Hargraves, 1982. Tests of the Industrial Source Complex (ISC) Dispersion Model at the Armco Middletown, Ohio Steel Mill. EPA Publication No. EPA-450/4-82-006. U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC.*

*Environmental Protection Agency, 1992. Comparison of a Revised Area Source Algorithm for the Industrial Source Complex Short Term Model and Wind Tunnel Data. EPA Publication No. EPA-454/R-92-014. U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC. (NTIS No. PB 93-226751)*

*Environmental Protection Agency, 1992. Sensitivity Analysis of a Revised Area Source Algorithm for the Industrial Source Complex Short Term Model. EPA Publication No. EPA-454/R-92-015. U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC. (NTIS No. PB 93-226769)*

*Environmental Protection Agency, 1992. Development and Evaluation of a Revised Area Source Algorithm for the Industrial source complex Long Term Model. EPA Publication No. EPA-454/R-92-016. U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC. (NTIS No. PB 93-226777)*

*Environmental Protection Agency, 1994. Development and Testing of a Dry Deposition Algorithm (Revised). EPA Publication No. EPA-454/R-94-015. U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC. (NTIS No. PB 94-183100)*

*Scire, J.S. and L.L. Schulman, 1981. Evaluation of the BLP and ISC Models with SF6 Tracer Data and SO2 Measurements at Aluminum Reduction Plants. Air Pollution Control Association Specialty Conference on Dispersion Modeling for Complex Sources, St. Louis, MO.*

*Schulman, L.L. and S.R. Hanna, 1986. Evaluation of Downwash Modification to the Industrial Source Complex Model. Journal of the Air Pollution Control Association, 36: 258-264.*

ACRONYME :

ISC-PRIME

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	<b>Aucun</b>			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> Gaussien	<input type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> ponctuelle	<input checked="" type="checkbox"/> linéique	<input checked="" type="checkbox"/> surfacique	<input checked="" type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input checked="" type="checkbox"/> rejet continu	<input type="checkbox"/> rejet variable	<input type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> locale	<input checked="" type="checkbox"/> urbaine	<input type="checkbox"/> régionale	<input type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input checked="" type="checkbox"/> horaire	<input type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input checked="" type="checkbox"/> relief	<input checked="" type="checkbox"/> obstacles	<input checked="" type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input type="checkbox"/> fluctuations
<input type="checkbox"/> visibilité de panache	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt	<input checked="" type="checkbox"/> chimie	<input checked="" type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>	Environmental Protection Agency <a href="http://www.epa.gov/scram001/">http://www.epa.gov/scram001/</a>			
• <i>Distributeur du logiciel :</i>				
• <i>Contact :</i>	Tél.:		Fax :	
• <i>Type de licence :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> accès libre	<input type="checkbox"/> accès contrôlé	<input type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input checked="" type="checkbox"/> doc technique	<input checked="" type="checkbox"/> doc utilisateur	<input checked="" type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> aucun	<input type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>	Modèle recommandé par l'Environmental Protection Agency (remplace en partie le modèle ISC3)			

ACRONYME :

ISC-PRIME

**Modèle de dispersion :**

<input checked="" type="checkbox"/> gaussien	<input checked="" type="checkbox"/> panache	<input type="checkbox"/> bouffées	<input type="checkbox"/> eulérien 3D	<input type="checkbox"/> lagrangien
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Modélisation des écarts-types :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> par classes</li> <li><input type="checkbox"/> continue</li> </ul> </li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>

**Phénomènes de dispersion représentés :**

• <i>Effets du relief :</i>	<input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input checked="" type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets des obstacles :</i>	<input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input checked="" type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> source ponctuelle <input checked="" type="checkbox"/> source linéique <input checked="" type="checkbox"/> source surfacique	<input checked="" type="checkbox"/> source volumique <input type="checkbox"/> source variable <input type="checkbox"/> source multiple <input checked="" type="checkbox"/> surhauteur cinématique <input checked="" type="checkbox"/> surhauteur thermique <input checked="" type="checkbox"/> downwash/flagging
• <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion	<input checked="" type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion <input checked="" type="checkbox"/> réflexion <input type="checkbox"/> pénétration <input type="checkbox"/> fumigation
• <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i>	<input type="checkbox"/> meandering	
• <i>Fluctuations :</i>	<input type="checkbox"/> écart-type de concentration	<input type="checkbox"/> pdf de concentration
• <i>Chimie</i>	<input checked="" type="checkbox"/> chimie simplifiée	<input type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe
• <i>Déposition :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> particules <input checked="" type="checkbox"/> sédimentation	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec <input type="checkbox"/> dépôt humide
• <i>Radioactivité :</i>	<input type="checkbox"/> déc. radioactive	<input type="checkbox"/> filiation radioactive
		<input type="checkbox"/> débit de dose

**Informations sur les données d'entrée :**

• <i>Données géographiques :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> relief	<input checked="" type="checkbox"/> obstacles	<input type="checkbox"/> catégories de sol
• <i>Données météorologiques :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> mesures	<input checked="" type="checkbox"/> préprocesseur	<input type="checkbox"/> champ 3D
• <i>Données d'émission</i>	<input checked="" type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées	<input type="checkbox"/> modèle d'émission	

**Informations sur les données de sortie :**

• <i>Format des données :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> fichiers ASCII	<input type="checkbox"/> cartographies	<input type="checkbox"/> tracés 3D	<input type="checkbox"/> Web
• <i>Grandeurs calculées :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> concentration moyenne	<input type="checkbox"/> percentiles		
	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec	<input type="checkbox"/> dépôt humide	<input type="checkbox"/> écart-type	
• <i>Répartition temporelle</i>	<input checked="" type="checkbox"/> moyenne par pas de temps	<input checked="" type="checkbox"/> moyenne annuelle	<input type="checkbox"/> fluctuations	

ACRONYME :

ISC-PRIME

**Modèle météorologique :****Aucun**• *Aucun modèle météorologique :*

- résultats de simulation  
 mesures météorologiques

• *Modèle diagnostique :*

- linéarisation des équations  
 conservation de la masse  
 modèle ID vertical

• *Modèle prognostique :*

- hydrostatique  
 incompressible

 maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :*

- terrain plat et homogène  
 terrain plat et non homogène  
 vallée isolée de profondeur modérée  
 colline isolée de pente modérée  
 collines et vallées de pentes modérées  
 relief de montagne

• *Prise en compte des obstacles :*

- rugosité  
 obstacle isolé  
 groupe d'obstacles

• *Stratification atmosphérique :*

- atmosphère neutre  
 atmosphère stable  
 atmosphère convective  
 brise de mer  
 brise de vallée  
 îlot de chaleur urbain

• *Modèle de sol :*

- sol hétérogène  
 échange de chaleur  
 échange d'humidité

• *Humidité atmosphérique :*

- atmosphère humide  
 microphysique des nuages  
 précipitations

**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :*

PC       Mac Intosh       station Unix       calcul //

• *Système d'exploitation :*

DOS       Windows       Linux       Unix

• *Langage utilisé :*

Fortran       C       Autre langage

• *Interface utilisateur :*

aucun (ASCII)       intégré

*logiciels de post traitement :*• *Temps de calcul par scénario :*

< une seconde       < une minute       < une heure       > une heure

• *Modèles liés*

PCRAMMET : préprocesseur météo (interprétation des données météorologiques mesurées : horaires au sol, radiosondages)

ACRONYME :

ISC-PRIME

• Références :

*Bowers, J.F. and A.J. Anderson, 1981. An Evaluation Study for the Industrial Source Complex (ISC) Dispersion Model, EPA Publication No. EPA-450/4-81-002. U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC.*

*Environmental Protection Agency, 1992. Comparison of a Revised Area Source Algorithm for the Industrial Source Complex Short Term Model and Wind Tunnel Data. EPA Publication No. EPA-454/R-92-014. U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC. (NTIS No. PB 93-226751)*

*Environmental Protection Agency, 1992. Sensitivity Analysis of a Revised Area Source Algorithm for the Industrial Source Complex Short Term Model. EPA Publication No. EPA-454/R-92-015. U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC. (NTIS No. PB 93-226769)*

*Environmental Protection Agency, 1992. Development and Evaluation of a Revised Area Source Algorithm for the Industrial Source Complex Long Term Model. EPA Publication No. EPA-454/R-92-016. U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC. (NTIS No. PB 93-226777)*

*Environmental Protection Agency, 1994. Development and Testing of a Dry Deposition Algorithm (Revised). EPA Publication No. EPA-454/R-94-015. U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC. (NTIS No. PB 94-183100)*

*Paine, R.J. and F. Lew, 1997. Results of the Independent Evaluation of ISCST3 and ISC-PRIME. Prepared for the Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA. ENSR Document Number 2460-026-440. (NTIS No. PB 98-156524)*

*Paine, R.J. and F. Lew, 1997. Consequence Analysis for ISC-PRIME. Prepared for the Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA. ENSR Document Number 2460-026-450. (NTIS No. PB 98-156516)*

*Schulman, L.L., D.G. Strimaitis, and J.S. Scire, 1998. Development and Evaluation of the PRIME Plume Rise and Building Downwash Model. {submitted to Journal of the Air & Waste Management Association} 34pp. + figures (A-99-05, II-A-13)*

*Scire, J.S. and L.L. Schulman, 1981. Evaluation of the BLP and ISC Models with SF6 Tracer Data and SO2 Measurements at Aluminum Reduction Plants. Air Pollution Control Association Specialty Conference on Dispersion Modeling for Complex Sources, St. Louis, MO.*

*Scire, J.S., L.L. Schulman and D.G. Strimaitis, 1995. Observations of Plume Descent Downwind of Buildings. 88th Annual Meeting of the Air & Waste Management Association, Paper 95-WP75B.01, AWMA, Pittsburgh, PA.*

ACRONYME :

LADM

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	<b>Prognostique</b>			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input type="checkbox"/> Gaussien	<input type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input checked="" type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> ponctuelle	<input type="checkbox"/> linéique	<input checked="" type="checkbox"/> surfacique	<input type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input checked="" type="checkbox"/> rejet continu	<input checked="" type="checkbox"/> rejet variable	<input checked="" type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> locale	<input checked="" type="checkbox"/> urbaine	<input checked="" type="checkbox"/> régionale	<input type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input checked="" type="checkbox"/> horaire	<input type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input checked="" type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input checked="" type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input type="checkbox"/> fluctuations
<input checked="" type="checkbox"/> visibilité de panache	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt	<input checked="" type="checkbox"/> chimie	<input type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>	CSIRO - Division of Atmospheric Research <a href="http://www.dar.csiro.au/">http://www.dar.csiro.au/</a>			
• <i>Distributeur du logiciel :</i>				
• <i>Contact :</i>	Tél.:		Fax :	
• <i>Type de licence :</i>	<input type="checkbox"/> accès libre	<input checked="" type="checkbox"/> accès contrôlé	<input type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input type="checkbox"/> doc technique	<input type="checkbox"/> doc utilisateur	<input type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>				

ACRONYME :

LADM

**Modèle de dispersion :**

- |  |  |   |
|--|--|---|
| <input type="checkbox"/> gaussien <input type="checkbox"/> panache <input type="checkbox"/> bouffées<br>• <u>Modélisation des écarts-types :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input type="checkbox"/> par classes<br><input type="checkbox"/> continue | <input type="checkbox"/> eulérien 3D<br>• <u>Paramétrisation de la turbulence :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne | <input checked="" type="checkbox"/> lagrangien<br>• <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input checked="" type="checkbox"/> modèle spécifique interne |
|--|--|---|

**Phénomènes de dispersion représentés :**

- |   |   |   |
|---|---|---|
| • <i>Effets du relief :</i>                           | <input checked="" type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo   | <input type="checkbox"/> modèle interne spécifique  |
| • <i>Effets des obstacles :</i>                       | <input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo  | <input type="checkbox"/> modèle interne spécifique  |
| • <i>Effets de la source :</i>                        | <input checked="" type="checkbox"/> source ponctuelle <input type="checkbox"/> source volumique <input type="checkbox"/> surhauteur cinématique<br><input type="checkbox"/> source linéique <input checked="" type="checkbox"/> source variable <input type="checkbox"/> surhauteur thermique<br><input checked="" type="checkbox"/> source surfacique <input checked="" type="checkbox"/> source multiple <input type="checkbox"/> downwash/flagging |   |
| • <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>  | <input type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion  | <input checked="" type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion<br><input type="checkbox"/> réflexion<br><input type="checkbox"/> pénétration<br><input checked="" type="checkbox"/> fumigation |
| • <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i> | <input type="checkbox"/> meandering   |   |
| • <i>Fluctuations :</i>                               | <input type="checkbox"/> écart-type de concentration  | <input type="checkbox"/> pdf de concentration   |
| • <i>Chimie</i>                                       | <input checked="" type="checkbox"/> chimie simplifiée   | <input checked="" type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe   |
| • <i>Déposition :</i>                                 | <input type="checkbox"/> particules<br><input type="checkbox"/> sédimentation   | <input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec<br><input type="checkbox"/> dépôt humide  |
| • <i>Radioactivité :</i>                              | <input type="checkbox"/> déc. radioactive   | <input type="checkbox"/> filiation radioactive <input type="checkbox"/> débit de dose   |

**Informations sur les données d'entrée :**

- |                                    |   |  |   |
|------------------------------------|---|--|---|
| • <i>Données géographiques :</i>   | <input checked="" type="checkbox"/> relief                          | <input type="checkbox"/> obstacles         | <input checked="" type="checkbox"/> catégories de sol |
| • <i>Données météorologiques :</i> | <input checked="" type="checkbox"/> mesures                         | <input type="checkbox"/> préprocesseur     | <input checked="" type="checkbox"/> champ 3D          |
| • <i>Données d'émission</i>        | <input checked="" type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées | <input type="checkbox"/> modèle d'émission |   |

**Informations sur les données de sortie :**

- |                                 |  |   |   |                              |
|---------------------------------|--|---|---|------------------------------|
| • <i>Format des données :</i>   | <input checked="" type="checkbox"/> fichiers ASCII           | <input type="checkbox"/> cartographies    | <input checked="" type="checkbox"/> tracés 3D | <input type="checkbox"/> Web |
| • <i>Grandeurs calculées :</i>  | <input checked="" type="checkbox"/> concentration moyenne    | <input type="checkbox"/> percentiles      |   |                              |
|                                 | <input type="checkbox"/> dépôt sec                           | <input type="checkbox"/> dépôt humide     | <input type="checkbox"/> écart-type           |                              |
| • <i>Répartition temporelle</i> | <input checked="" type="checkbox"/> moyenne par pas de temps | <input type="checkbox"/> moyenne annuelle | <input type="checkbox"/> fluctuations         |                              |



ACRONYME :

LADM

**Modèle météorologique :****Prognostique**• *Aucun modèle météorologique :*

- résultats de simulation
- mesures météorologiques

• *Modèle diagnostique :*

- linéarisation des équations
- conservation de la masse
- modèle ID vertical

• *Modèle prognostique :*

- hydrostatique
- incompressible

 maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :*

- terrain plat et homogène
- vallée isolée de profondeur modérée
- collines et vallées de pentes modérées

- terrain plat et non homogène
- colline isolée de pente modérée
- relief de montagne

• *Prise en compte des obstacles :*

- rugosité
- obstacle isolé
- groupe d'obstacles

• *Stratification atmosphérique :*

- atmosphère neutre
- atmosphère stable
- atmosphère convective

- brise de mer
- brise de vallée
- îlot de chaleur urbain

• *Modèle de sol :*

- sol hétérogène
- échange de chaleur
- échange d'humidité

• *Humidité atmosphérique :*

- atmosphère humide
- microphysique des nuages
- précipitations

**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :*

- PC
- Mac Intosh
- station Unix
- calcul //

• *Système d'exploitation :*

- DOS
- Windows
- Linux
- Unix

• *Langage utilisé :*

- Fortran
- C
- Autre langage

• *Interface utilisateur :*

- aucun (ASCII)
- intégré

*logiciels de post traitement :*• *Temps de calcul par scénario :*

- < une seconde
- < une minute
- < une heure
- > une heure

• *Modèles liés*

ACRONYME :

LADM

- Références :

Johnson, G.M. (1984): *A simple model for predicting the ozone concentration of ambient air. Proceedings of 8th International Conference of the Clean Air Society of Australia and New Zealand, H.F. Hartmann, J.N. O'Heare, J. Chiodo and R. Gillis (Eds.), Vol.2, 715-731.*

Johnson, G.M. and S.M. Quigley (1989): *A universal monitor for photochemical smog. Proceedings of the 82nd Annual Meeting, Air and Waste Management Association, Anaheim, U.S.A.*

Hurley, P. and W.L. Physick (1991): *A Lagrangian particle model of fumigation by breakdown of the nocturnal inversion. Atmos. Environ., 25A, 1313-1325.*

Physick, W.L., Noonan, J.A., Manins, P.C., Hurley, P.J. and H. Malfroy (1992): *Application of coupled prognostic windfield and Lagrangian dispersion models for air quality purposes in a region of coastal terrain, pp725-729. Air Pollution Modelling and its Application IX, edited by H. van Dop and G. Kallos, Plenum Press, New York.*

Hurley, P.J. and W.L. Physick (1993): *A skewed, homogeneous Lagrangian particle model for convective conditions. Atmos. Environ., 27A, 619-624.*

Physick, W.L. (1993): *LADM (Lagrangian Atmospheric Dispersion Model). Clean Air (Aust.), 27, 172-175.*

Noonan, J.A., Physick, W.L., Carras, J. and D. Williams (1994): *Dispersion modelling and observations from elevated sources in coastal terrain, pp 533-540. Air Pollution Modelling and its Application X, edited by S-V. Gryning and M.M. Millan, Plenum Press, New York.*

Physick, W.L., Noonan, J.A., McGregor, J.L., Hurley, P.J., Abbs, D.J. and P.C. Manins (1994): *LADM: A Lagrangian Atmospheric Dispersion Model. CSIRO Division of Atmospheric Research Technical Report No. 24, 146pp.*

ACRONYME :

LASAT

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	<b>Diagnostique</b>			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input type="checkbox"/> Gaussien	<input type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input checked="" type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> ponctuelle	<input checked="" type="checkbox"/> linéique	<input checked="" type="checkbox"/> surfacique	<input checked="" type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input checked="" type="checkbox"/> rejet continu	<input checked="" type="checkbox"/> rejet variable	<input checked="" type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> locale	<input checked="" type="checkbox"/> urbaine	<input checked="" type="checkbox"/> régionale	<input type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input checked="" type="checkbox"/> horaire	<input type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input checked="" type="checkbox"/> relief	<input checked="" type="checkbox"/> obstacles	<input checked="" type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input type="checkbox"/> fluctuations
<input type="checkbox"/> visibilité de panache	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt	<input checked="" type="checkbox"/> chimie	<input type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>	Janicke Consulting <a href="http://www.janicke.de">http://www.janicke.de</a>			
• <i>Distributeur du logiciel :</i>	Janicke Consulting <a href="http://www.janicke.de/">http://www.janicke.de/</a>			
• <i>Contact :</i>	Tél.:		Fax :	
• <i>Type de licence :</i>	<input type="checkbox"/> accès libre	<input type="checkbox"/> accès contrôlé	<input checked="" type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input checked="" type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input checked="" type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input checked="" type="checkbox"/> doc technique	<input checked="" type="checkbox"/> doc utilisateur	<input type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input checked="" type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>				

ACRONYME :

LASAT

**Modèle de dispersion :**

<input type="checkbox"/> gaussien	<input type="checkbox"/> panache	<input type="checkbox"/> bouffées	<input type="checkbox"/> eulérien 3D	<input checked="" type="checkbox"/> lagrangien
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Modélisation des écarts-types :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> par classes</li> <li><input type="checkbox"/> continue</li> </ul> </li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>	
			<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>	

**Phénomènes de dispersion représentés :**

• <i>Effets du relief :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique	
• <i>Effets des obstacles :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique	
• <i>Effets de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> source ponctuelle	<input checked="" type="checkbox"/> source volumique	<input checked="" type="checkbox"/> surhauteur cinématique
	<input checked="" type="checkbox"/> source linéique	<input checked="" type="checkbox"/> source variable	<input checked="" type="checkbox"/> surhauteur thermique
	<input checked="" type="checkbox"/> source surfacique	<input checked="" type="checkbox"/> source multiple	<input type="checkbox"/> downwash/flagging
• <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>	<input type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion		<input type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion
			<input type="checkbox"/> réflexion
			<input type="checkbox"/> pénétration
			<input type="checkbox"/> fumigation
• <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i>	<input type="checkbox"/> meandering		
• <i>Fluctuations :</i>	<input type="checkbox"/> écart-type de concentration	<input type="checkbox"/> pdf de concentration	
• <i>Chimie</i>	<input checked="" type="checkbox"/> chimie simplifiée	<input type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe	
• <i>Déposition :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> particules	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec	
	<input checked="" type="checkbox"/> sédimentation	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt humide	
• <i>Radioactivité :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> déc. radioactive	<input type="checkbox"/> filiation radioactive	<input checked="" type="checkbox"/> débit de dose

**Informations sur les données d'entrée :**

• <i>Données géographiques :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> relief	<input checked="" type="checkbox"/> obstacles	<input checked="" type="checkbox"/> catégories de sol
• <i>Données météorologiques :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> mesures	<input checked="" type="checkbox"/> préprocesseur	<input type="checkbox"/> champ 3D
• <i>Données d'émission</i>	<input checked="" type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées	<input checked="" type="checkbox"/> modèle d'émission	

**Informations sur les données de sortie :**

• <i>Format des données :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> fichiers ASCII	<input type="checkbox"/> cartographies	<input type="checkbox"/> tracés 3D	<input type="checkbox"/> Web
• <i>Grandeurs calculées :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> concentration moyenne	<input type="checkbox"/> percentiles		
	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt humide	<input type="checkbox"/> écart-type	
• <i>Répartition temporelle</i>	<input checked="" type="checkbox"/> moyenne par pas de temps	<input type="checkbox"/> moyenne annuelle	<input type="checkbox"/> fluctuations	

ACRONYME :

LASAT

**Modèle météorologique :****Diagnostic**• *Aucun modèle météorologique :* résultats de simulation mesures météorologiques• *Modèle diagnostique :* linéarisation des équations conservation de la masse modèle ID vertical• *Modèle prognostique :* hydrostatique incompressible maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :* terrain plat et homogène vallée isolée de profondeur modérée collines et vallées de pentes modérées terrain plat et non homogène colline isolée de pente modérée relief de montagne• *Prise en compte des obstacles :* rugosité obstacle isolé groupe d'obstacles• *Stratification atmosphérique :* atmosphère neutre atmosphère stable atmosphère convective brise de mer brise de vallée îlot de chaleur urbain• *Modèle de sol :* sol hétérogène échange de chaleur échange d'humidité• *Humidité atmosphérique :* atmosphère humide microphysique des nuages précipitations**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :* PC Mac Intosh station Unix calcul //• *Système d'exploitation :* DOS Windows Linux Unix• *Langage utilisé :* Fortran C Autre langage• *Interface utilisateur :* aucun (ASCII) intégré*logiciels de post traitement :*• *Temps de calcul par scénario :* < une seconde < une minute < une heure > une heure• *Modèles liés**Lprprf : module météo 1D vertical - Lprwnd : modèle météo diagnostique*

ACRONYME :

LASAT

- *Références :*

ACRONYME :

LED

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	<b>Aucun</b>			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> Gaussien	<input type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input type="checkbox"/> ponctuelle	<input type="checkbox"/> linéique	<input type="checkbox"/> surfacique	<input checked="" type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input checked="" type="checkbox"/> rejet continu	<input checked="" type="checkbox"/> rejet variable	<input type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input type="checkbox"/> locale	<input type="checkbox"/> urbaine	<input checked="" type="checkbox"/> régionale	<input checked="" type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input checked="" type="checkbox"/> horaire	<input type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input checked="" type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input type="checkbox"/> fluctuations
<input type="checkbox"/> visibilité de panache	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt	<input checked="" type="checkbox"/> chimie	<input type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>	National Institute of Meteorology and Hydrology de Bulgarie			
• <i>Distributeur du logiciel :</i>				
• <i>Contact :</i>	Tél.:		Fax :	
• <i>Type de licence :</i>	<input type="checkbox"/> accès libre	<input checked="" type="checkbox"/> accès contrôlé	<input type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input type="checkbox"/> doc technique	<input type="checkbox"/> doc utilisateur	<input type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>				

ACRONYME :

LED

**Modèle de dispersion :**

<input checked="" type="checkbox"/> gaussien	<input type="checkbox"/> panache	<input checked="" type="checkbox"/> bouffées	<input type="checkbox"/> eulérien 3D	<input type="checkbox"/> lagrangien
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Modélisation des écarts-types :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> par classes</li> <li><input type="checkbox"/> continue</li> </ul> </li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>

**Phénomènes de dispersion représentés :**

• <i>Effets du relief :</i>	<input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets des obstacles :</i>	<input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets de la source :</i>	<input type="checkbox"/> source ponctuelle <input checked="" type="checkbox"/> source volumique <input type="checkbox"/> surhauteur cinématique <input type="checkbox"/> source linéique <input checked="" type="checkbox"/> source variable <input type="checkbox"/> surhauteur thermique <input type="checkbox"/> source surfacique <input type="checkbox"/> source multiple <input type="checkbox"/> downwash/flagging	
• <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion	<input type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion <input type="checkbox"/> réflexion <input type="checkbox"/> pénétration <input type="checkbox"/> fumigation
• <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i>	<input type="checkbox"/> meandering	
• <i>Fluctuations :</i>	<input type="checkbox"/> écart-type de concentration	<input type="checkbox"/> pdf de concentration
• <i>Chimie</i>	<input type="checkbox"/> chimie simplifiée	<input type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe
• <i>Déposition :</i>	<input type="checkbox"/> particules	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec
	<input type="checkbox"/> sédimentation	<input type="checkbox"/> dépôt humide
• <i>Radioactivité :</i>	<input type="checkbox"/> déc. radioactive	<input type="checkbox"/> filiation radioactive <input type="checkbox"/> débit de dose

**Informations sur les données d'entrée :**

• <i>Données géographiques :</i>	<input type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input checked="" type="checkbox"/> catégories de sol
• <i>Données météorologiques :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> mesures	<input type="checkbox"/> préprocesseur	<input type="checkbox"/> champ 3D
• <i>Données d'émission</i>	<input type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées	<input checked="" type="checkbox"/> modèle d'émission	

**Informations sur les données de sortie :**

• <i>Format des données :</i>	<input type="checkbox"/> fichiers ASCII	<input type="checkbox"/> cartographies	<input type="checkbox"/> tracés 3D	<input type="checkbox"/> Web
• <i>Grandeurs calculées :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> concentration moyenne	<input type="checkbox"/> percentiles		
	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt humide	<input type="checkbox"/> écart-type	
• <i>Répartition temporelle</i>	<input checked="" type="checkbox"/> moyenne par pas de temps	<input type="checkbox"/> moyenne annuelle	<input type="checkbox"/> fluctuations	



ACRONYME :

LED

**Modèle météorologique :**

Aucun

• *Aucun modèle météorologique :*

- résultats de simulation  
 mesures météorologiques

• *Modèle diagnostique :*

- linéarisation des équations  
 conservation de la masse  
 modèle ID vertical

• *Modèle prognostique :*

- hydrostatique  
 incompressible

 maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :*

- terrain plat et homogène  
 terrain plat et non homogène  
 vallée isolée de profondeur modérée  
 colline isolée de pente modérée  
 collines et vallées de pentes modérées  
 relief de montagne

• *Prise en compte des obstacles :*

- rugosité  
 obstacle isolé  
 groupe d'obstacles

• *Stratification atmosphérique :*

- atmosphère neutre  
 atmosphère stable  
 atmosphère convective  
 brise de mer  
 brise de vallée  
 îlot de chaleur urbain

• *Modèle de sol :*

- sol hétérogène  
 échange de chaleur  
 échange d'humidité

• *Humidité atmosphérique :*

- atmosphère humide  
 microphysique des nuages  
 précipitations

**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :*

- PC  
 Mac Intosh  
 station Unix  
 calcul //

• *Système d'exploitation :*

- DOS  
 Windows  
 Linux  
 Unix

• *Langage utilisé :*

- Fortran  
 C  
 Autre langage

• *Interface utilisateur :*

- aucun (ASCII)  
 intégré

*logiciels de post traitement :*• *Temps de calcul par scénario :*

- < une seconde  
 < une minute  
 < une heure  
 > une heure

• *Modèles liés*

ACRONYME :

LED

- Références :

ACRONYME :

LONGZ

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	<b>Aucun</b>			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> Gaussien	<input type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> ponctuelle	<input type="checkbox"/> linéique	<input checked="" type="checkbox"/> surfacique	<input checked="" type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input checked="" type="checkbox"/> rejet continu	<input type="checkbox"/> rejet variable	<input checked="" type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> locale	<input checked="" type="checkbox"/> urbaine	<input type="checkbox"/> régionale	<input type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input type="checkbox"/> horaire	<input type="checkbox"/> journalière	<input checked="" type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input checked="" type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input checked="" type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input type="checkbox"/> fluctuations
<input type="checkbox"/> visibilité de panache	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt	<input checked="" type="checkbox"/> chimie	<input type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>	Environmental Protection Agency <a href="http://www.epa.gov/scram001/">http://www.epa.gov/scram001/</a>			
• <i>Distributeur du logiciel :</i>	Environmental Protection Agency <a href="http://www.epa.gov/scram001/">http://www.epa.gov/scram001/</a>			
• <i>Contact :</i>	Tél.:		Fax :	
• <i>Type de licence :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> accès libre	<input type="checkbox"/> accès contrôlé	<input type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input checked="" type="checkbox"/> doc technique	<input type="checkbox"/> doc utilisateur	<input type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>				

ACRONYME :

LONGZ

**Modèle de dispersion :**

<input checked="" type="checkbox"/> gaussien	<input checked="" type="checkbox"/> panache	<input type="checkbox"/> bouffées	<input type="checkbox"/> eulérien 3D	<input type="checkbox"/> lagrangien
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Modélisation des écarts-types :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> par classes</li> <li><input type="checkbox"/> continue</li> </ul> </li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>				

**Phénomènes de dispersion représentés :**

• <i>Effets du relief :</i>	<input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input checked="" type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets des obstacles :</i>	<input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> source ponctuelle <input type="checkbox"/> source linéique <input checked="" type="checkbox"/> source surfacique	<input checked="" type="checkbox"/> source volumique <input type="checkbox"/> source variable <input checked="" type="checkbox"/> source multiple <input checked="" type="checkbox"/> surhauteur cinématique <input checked="" type="checkbox"/> surhauteur thermique <input checked="" type="checkbox"/> downwash/flagging
• <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion	<input checked="" type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion <input checked="" type="checkbox"/> réflexion <input type="checkbox"/> pénétration <input type="checkbox"/> fumigation
• <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i>	<input type="checkbox"/> meandering	
• <i>Fluctuations :</i>	<input type="checkbox"/> écart-type de concentration	<input type="checkbox"/> pdf de concentration
• <i>Chimie</i>	<input checked="" type="checkbox"/> chimie simplifiée	<input type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe
• <i>Déposition :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> particules <input checked="" type="checkbox"/> sédimentation	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec <input type="checkbox"/> dépôt humide
• <i>Radioactivité :</i>	<input type="checkbox"/> déc. radioactive	<input type="checkbox"/> filiation radioactive
		<input type="checkbox"/> débit de dose

**Informations sur les données d'entrée :**

• <i>Données géographiques :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input type="checkbox"/> catégories de sol
• <i>Données météorologiques :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> mesures	<input type="checkbox"/> préprocesseur	<input type="checkbox"/> champ 3D
• <i>Données d'émission</i>	<input checked="" type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées	<input type="checkbox"/> modèle d'émission	

**Informations sur les données de sortie :**

• <i>Format des données :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> fichiers ASCII	<input type="checkbox"/> cartographies	<input type="checkbox"/> tracés 3D	<input type="checkbox"/> Web
• <i>Grandeurs calculées :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> concentration moyenne	<input type="checkbox"/> percentiles	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec	<input type="checkbox"/> dépôt humide
	<input type="checkbox"/> moyenne par pas de temps	<input checked="" type="checkbox"/> moyenne annuelle	<input type="checkbox"/> écart-type	<input type="checkbox"/> fluctuations

ACRONYME :

LONGZ

**Modèle météorologique :**

Aucun

• *Aucun modèle météorologique :*

- résultats de simulation
- mesures météorologiques

• *Modèle diagnostique :*

- linéarisation des équations
- conservation de la masse
- modèle ID vertical

• *Modèle prognostique :*

- hydrostatique
- incompressible

 maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :*

- terrain plat et homogène
- terrain plat et non homogène
- vallée isolée de profondeur modérée
- colline isolée de pente modérée
- collines et vallées de pentes modérées
- relief de montagne

• *Prise en compte des obstacles :*

- rugosité
- obstacle isolé
- groupe d'obstacles

• *Stratification atmosphérique :*

- atmosphère neutre
- atmosphère stable
- atmosphère convective
- brise de mer
- brise de vallée
- îlot de chaleur urbain

• *Modèle de sol :*

- sol hétérogène
- échange de chaleur
- échange d'humidité

• *Humidité atmosphérique :*

- atmosphère humide
- microphysique des nuages
- précipitations

**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :*

- PC
- Mac Intosh
- station Unix
- calcul //

• *Système d'exploitation :*

- DOS
- Windows
- Linux
- Unix

• *Langage utilisé :*

- Fortran
- C
- Autre langage

• *Interface utilisateur :*

- aucun (ASCII)
- intégré

*logiciels de post traitement :*• *Temps de calcul par scénario :*

- < une seconde
- < une minute
- < une heure
- > une heure

• *Modèles liés*

ACRONYME :

LONGZ

- Références :

*Bjorklund, J.R. and J.F. Bowers, 1982. User's Instructions for the SHORTZ and LONGZ Computer Programs, Volume I and II. EPA Publication No. EPA-903/9-82-004a & b. U.S. Environmental Protection Agency, Region III, Philadelphia, PA.*

ACRONYME :

MAP

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	<b>Prognostique</b>			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input type="checkbox"/> Gaussien	<input checked="" type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input checked="" type="checkbox"/> Lagrangien	<input checked="" type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input type="checkbox"/> ponctuelle	<input type="checkbox"/> linéique	<input type="checkbox"/> surfacique	<input type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input checked="" type="checkbox"/> rejet continu	<input checked="" type="checkbox"/> rejet variable	<input checked="" type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> locale	<input checked="" type="checkbox"/> urbaine	<input checked="" type="checkbox"/> régionale	<input type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input checked="" type="checkbox"/> horaire	<input type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input checked="" type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input checked="" type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input type="checkbox"/> fluctuations
<input type="checkbox"/> visibilité de panache	<input type="checkbox"/> dépôt	<input checked="" type="checkbox"/> chimie	<input type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>	Laboratory of Aerodynamics - Department of Mechanical Engineering - National Technical University of Athens <a href="http://www.fluid.mech.ntua.gr">http://www.fluid.mech.ntua.gr</a>			
• <i>Distributeur du logiciel :</i>				
• <i>Contact :</i>	Tél.:		Fax :	
• <i>Type de licence :</i>	<input type="checkbox"/> accès libre	<input checked="" type="checkbox"/> accès contrôlé	<input type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input type="checkbox"/> doc technique	<input type="checkbox"/> doc utilisateur	<input type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>				

ACRONYME :

MAP

**Modèle de dispersion :**

<input type="checkbox"/> gaussien <input type="checkbox"/> panache <input type="checkbox"/> bouffées	<input checked="" type="checkbox"/> eulérien 3D	<input checked="" type="checkbox"/> lagrangien
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Modélisation des écarts-types :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> par classes</li> <li><input type="checkbox"/> continue</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>

**Phénomènes de dispersion représentés :**

• <i>Effets du relief :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo <input type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets des obstacles :</i>	<input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo <input type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets de la source :</i>	<input type="checkbox"/> source ponctuelle <input type="checkbox"/> source volumique <input type="checkbox"/> surhauteur cinématique <input type="checkbox"/> source linéique <input checked="" type="checkbox"/> source variable <input type="checkbox"/> surhauteur thermique <input type="checkbox"/> source surfacique <input checked="" type="checkbox"/> source multiple <input type="checkbox"/> downwash/flagging
• <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>	<input type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion <input type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion <input type="checkbox"/> réflexion <input type="checkbox"/> pénétration <input checked="" type="checkbox"/> fumigation
• <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i>	<input type="checkbox"/> meandering
• <i>Fluctuations :</i>	<input type="checkbox"/> écart-type de concentration <input type="checkbox"/> pdf de concentration
• <i>Chimie</i>	<input type="checkbox"/> chimie simplifiée <input checked="" type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe
• <i>Déposition :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> particules <input type="checkbox"/> dépôt sec <input type="checkbox"/> sédimentation <input type="checkbox"/> dépôt humide
• <i>Radioactivité :</i>	<input type="checkbox"/> déc. radioactive <input type="checkbox"/> filiation radioactive <input type="checkbox"/> débit de dose

**Informations sur les données d'entrée :**

• <i>Données géographiques :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> relief <input type="checkbox"/> obstacles <input type="checkbox"/> catégories de sol
• <i>Données météorologiques :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> mesures <input type="checkbox"/> préprocesseur <input checked="" type="checkbox"/> champ 3D
• <i>Données d'émission</i>	<input checked="" type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées <input type="checkbox"/> modèle d'émission

**Informations sur les données de sortie :**

• <i>Format des données :</i>	<input type="checkbox"/> fichiers ASCII <input type="checkbox"/> cartographies <input type="checkbox"/> tracés 3D <input type="checkbox"/> Web
• <i>Grandeurs calculées :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> concentration moyenne <input type="checkbox"/> percentiles <input type="checkbox"/> dépôt sec <input type="checkbox"/> dépôt humide <input type="checkbox"/> écart-type
• <i>Répartition temporelle</i>	<input checked="" type="checkbox"/> moyenne par pas de temps <input type="checkbox"/> moyenne annuelle <input type="checkbox"/> fluctuations



ACRONYME :

MAP

**Modèle météorologique :****Prognostique**• *Aucun modèle météorologique :* résultats de simulation mesures météorologiques• *Modèle diagnostique :* linéarisation des équations conservation de la masse modèle ID vertical• *Modèle prognostique :* hydrostatique incompressible maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :* terrain plat et homogène vallée isolée de profondeur modérée collines et vallées de pentes modérées terrain plat et non homogène colline isolée de pente modérée relief de montagne• *Prise en compte des obstacles :* rugosité obstacle isolé groupe d'obstacles• *Stratification atmosphérique :* atmosphère neutre atmosphère stable atmosphère convective brise de mer brise de vallée îlot de chaleur urbain• *Modèle de sol :* sol hétérogène échange de chaleur échange d'humidité• *Humidité atmosphérique :* atmosphère humide microphysique des nuages précipitations**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :* PC Mac Intosh station Unix calcul //• *Système d'exploitation :* DOS Windows Linux Unix• *Langage utilisé :* Fortran C Autre langage• *Interface utilisateur :* aucun (ASCII) intégré*logiciels de post traitement :*• *Temps de calcul par scénario :* < une seconde < une minute < une heure > une heure• *Modèles liés*

CB-IV : modèle de photochimie

ACRONYME :

MAP

- *Références :*

ACRONYME :

MARS

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	Aucun			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input type="checkbox"/> Gaussien	<input checked="" type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input type="checkbox"/> ponctuelle	<input type="checkbox"/> linéique	<input checked="" type="checkbox"/> surfacique	<input type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input checked="" type="checkbox"/> rejet continu	<input checked="" type="checkbox"/> rejet variable	<input checked="" type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> locale	<input checked="" type="checkbox"/> urbaine	<input checked="" type="checkbox"/> régionale	<input type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input checked="" type="checkbox"/> horaire	<input type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input checked="" type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input checked="" type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input type="checkbox"/> fluctuations
<input type="checkbox"/> visibilité de panache	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt	<input checked="" type="checkbox"/> chimie	<input type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>	LHTTE - Université de Thessalonique - Grèce <a href="http://aix.meng.auth.gr/lhtee/projects/">http://aix.meng.auth.gr/lhtee/projects/</a>			
• <i>Distributeur du logiciel :</i>				
• <i>Contact :</i>	Tél.:		Fax :	
• <i>Type de licence :</i>	<input type="checkbox"/> accès libre	<input checked="" type="checkbox"/> accès contrôlé	<input type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input type="checkbox"/> doc technique	<input type="checkbox"/> doc utilisateur	<input type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>				

ACRONYME :

MARS

**Modèle de dispersion :**

<input type="checkbox"/> gaussien	<input type="checkbox"/> panache	<input type="checkbox"/> bouffées	<input checked="" type="checkbox"/> eulérien 3D	<input type="checkbox"/> lagrangien
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Modélisation des écarts-types :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> par classes</li> <li><input type="checkbox"/> continue</li> </ul> </li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>				

**Phénomènes de dispersion représentés :**

• <i>Effets du relief :</i>	<input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input checked="" type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets des obstacles :</i>	<input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets de la source :</i>	<input type="checkbox"/> source ponctuelle <input type="checkbox"/> source volumique <input type="checkbox"/> surhauteur cinématique <input type="checkbox"/> source linéique <input checked="" type="checkbox"/> source variable <input type="checkbox"/> surhauteur thermique <input checked="" type="checkbox"/> source surfacique <input checked="" type="checkbox"/> source multiple <input type="checkbox"/> downwash/flagging	
• <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion	<input type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion <input type="checkbox"/> réflexion <input type="checkbox"/> pénétration <input type="checkbox"/> fumigation
• <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i>	<input type="checkbox"/> meandering	
• <i>Fluctuations :</i>	<input type="checkbox"/> écart-type de concentration	<input type="checkbox"/> pdf de concentration
• <i>Chimie</i>	<input type="checkbox"/> chimie simplifiée	<input checked="" type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe
• <i>Déposition :</i>	<input type="checkbox"/> particules	<input type="checkbox"/> dépôt sec
	<input type="checkbox"/> sédimentation	<input type="checkbox"/> dépôt humide
• <i>Radioactivité :</i>	<input type="checkbox"/> déc. radioactive	<input type="checkbox"/> filiation radioactive <input type="checkbox"/> débit de dose

**Informations sur les données d'entrée :**

• <i>Données géographiques :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input checked="" type="checkbox"/> catégories de sol
• <i>Données météorologiques :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> mesures	<input type="checkbox"/> préprocesseur	<input type="checkbox"/> champ 3D
• <i>Données d'émission</i>	<input checked="" type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées	<input type="checkbox"/> modèle d'émission	

**Informations sur les données de sortie :**

• <i>Format des données :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> fichiers ASCII	<input checked="" type="checkbox"/> cartographies	<input type="checkbox"/> tracés 3D	<input type="checkbox"/> Web
• <i>Grandeurs calculées :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> concentration moyenne	<input type="checkbox"/> percentiles		
	<input type="checkbox"/> dépôt sec	<input type="checkbox"/> dépôt humide	<input type="checkbox"/> écart-type	
• <i>Répartition temporelle</i>	<input checked="" type="checkbox"/> moyenne par pas de temps	<input type="checkbox"/> moyenne annuelle	<input type="checkbox"/> fluctuations	

ACRONYME :

MARS

**Modèle météorologique :**

Aucun

• *Aucun modèle météorologique :* résultats de simulation mesures météorologiques• *Modèle diagnostique :* linéarisation des équations conservation de la masse modèle ID vertical• *Modèle prognostique :* hydrostatique incompressible maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :* terrain plat et homogène vallée isolée de profondeur modérée collines et vallées de pentes modérées terrain plat et non homogène colline isolée de pente modérée relief de montagne• *Prise en compte des obstacles :* rugosité obstacle isolé groupe d'obstacles• *Stratification atmosphérique :* atmosphère neutre atmosphère stable atmosphère convective brise de mer brise de vallée îlot de chaleur urbain• *Modèle de sol :* sol hétérogène échange de chaleur échange d'humidité• *Humidité atmosphérique :* atmosphère humide microphysique des nuages précipitations**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :* PC Mac Intosh station Unix calcul //• *Système d'exploitation :* DOS Windows Linux Unix• *Langage utilisé :* Fortran C Autre langage• *Interface utilisateur :* aucun (ASCII) intégré*logiciels de post traitement :*• *Temps de calcul par scénario :* < une seconde < une minute < une heure > une heure• *Modèles liés**modèles de chimie : KOREM - EMEP - RADM3 - RACM*

ACRONYME :

MARS

- Références :

*Graf J. and Moussiopoulos N. (1991), Intercomparison of two models for the dispersion of chemically reacting pollutants, Contr. Phys. Atmos. 64, 13-25.*

*Kessler Ch. (1995), Entwicklung eines effizienten Lösungsverfahrens zur modellmaessigen Beschreibung der Ausbreitung und chemischen Umwandlung reaktiver Luftschadstoffe, Verlag Shaker, Aachen, PhD Thesis.*

*Moussiopoulos N. (1989), Mathematische Modellierung mesoskaliger Ausbreitung in der Atmosphaere, Fortschr.-Ber. VDI, Reihe 15, Nr. 64, 307 pp.*

*Moussiopoulos N. and Papagrighoriou S., eds. (1997), Athens 2004 Air Quality, Proceedings of the International Scientific Workshop "Athens 2004 Air Quality Study", Athens, 18-19 February 1997, 183 pp. Available also as a CD-ROM from <http://www.envirocomp.org/>*

*Moussiopoulos N., Sahm P. and Kessler Ch. (1995), Numerical simulation of photochemical smog formation in Athens, Greece-a case study, Atmos. Environ. 29, 3619-3632.*

*Moussiopoulos N., Sahm P., Karatzas K., Papalexidou S. and Karagiannidis A. (1997), Assessing the impact of the new Athens airport to urban air quality with air pollution models, Atmos. Environ. 31, 1497-1511.*

*Moussiopoulos N., Sahm P., Kunz R., Vögele T., Schneider Ch. and Kessler Ch. (1997), High resolution simulations of the wind flow and the ozone formation during the Heilbronn ozone Experiment, Atmos. Environ. 31, 3177-3186.*

*Moussiopoulos N., Sahm P., Vögele T. and Kunz R. (1997), Numerical simulation of the wind flow and ozone formation during the Heilbronn ozone experiment, Int. J. Environment and Pollution 7, Nos. 3-6, 654-665.*

ACRONYME :

MEMO

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	<b>Prognostique</b>			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input type="checkbox"/> Gaussien	<input checked="" type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input type="checkbox"/> ponctuelle	<input type="checkbox"/> linéique	<input checked="" type="checkbox"/> surfacique	<input type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input checked="" type="checkbox"/> rejet continu	<input checked="" type="checkbox"/> rejet variable	<input checked="" type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> locale	<input checked="" type="checkbox"/> urbaine	<input checked="" type="checkbox"/> régionale	<input type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input checked="" type="checkbox"/> horaire	<input type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input checked="" type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input checked="" type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input type="checkbox"/> fluctuations
<input type="checkbox"/> visibilité de panache	<input type="checkbox"/> dépôt	<input type="checkbox"/> chimie	<input type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>	LHTTE - Université de Thessalonique - Grèce <a href="http://aix.meng.auth.gr/lhtee/projects/">http://aix.meng.auth.gr/lhtee/projects/</a>			
• <i>Distributeur du logiciel :</i>				
• <i>Contact :</i>	Tél.:		Fax :	
• <i>Type de licence :</i>	<input type="checkbox"/> accès libre	<input checked="" type="checkbox"/> accès contrôlé	<input type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input type="checkbox"/> doc technique	<input type="checkbox"/> doc utilisateur	<input type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>				

ACRONYME :

MEMO

**Modèle de dispersion :**

<input type="checkbox"/> gaussien	<input type="checkbox"/> panache	<input type="checkbox"/> bouffées	<input checked="" type="checkbox"/> eulérien 3D	<input type="checkbox"/> lagrangien
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Modélisation des écarts-types :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> par classes</li> <li><input type="checkbox"/> continue</li> </ul> </li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>				

**Phénomènes de dispersion représentés :**

• <i>Effets du relief :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets des obstacles :</i>	<input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets de la source :</i>	<input type="checkbox"/> source ponctuelle <input type="checkbox"/> source volumique <input type="checkbox"/> surhauteur cinématique <input type="checkbox"/> source linéique <input checked="" type="checkbox"/> source variable <input type="checkbox"/> surhauteur thermique <input checked="" type="checkbox"/> source surfacique <input checked="" type="checkbox"/> source multiple <input type="checkbox"/> downwash/flagging	
• <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>	<input type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion	<input type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion <input type="checkbox"/> réflexion <input type="checkbox"/> pénétration <input type="checkbox"/> fumigation
• <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i>	<input type="checkbox"/> meandering	
• <i>Fluctuations :</i>	<input type="checkbox"/> écart-type de concentration	<input type="checkbox"/> pdf de concentration
• <i>Chimie</i>	<input type="checkbox"/> chimie simplifiée	<input type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe
• <i>Déposition :</i>	<input type="checkbox"/> particules	<input type="checkbox"/> dépôt sec
	<input type="checkbox"/> sédimentation	<input type="checkbox"/> dépôt humide
• <i>Radioactivité :</i>	<input type="checkbox"/> déc. radioactive	<input type="checkbox"/> filiation radioactive <input type="checkbox"/> débit de dose

**Informations sur les données d'entrée :**

• <i>Données géographiques :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input checked="" type="checkbox"/> catégories de sol
• <i>Données météorologiques :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> mesures	<input type="checkbox"/> préprocesseur	<input type="checkbox"/> champ 3D
• <i>Données d'émission</i>	<input checked="" type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées	<input type="checkbox"/> modèle d'émission	

**Informations sur les données de sortie :**

• <i>Format des données :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> fichiers ASCII	<input type="checkbox"/> cartographies	<input checked="" type="checkbox"/> tracés 3D	<input type="checkbox"/> Web
• <i>Grandeurs calculées :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> concentration moyenne	<input type="checkbox"/> percentiles		
	<input type="checkbox"/> dépôt sec	<input type="checkbox"/> dépôt humide	<input type="checkbox"/> écart-type	
• <i>Répartition temporelle</i>	<input checked="" type="checkbox"/> moyenne par pas de temps	<input type="checkbox"/> moyenne annuelle	<input type="checkbox"/> fluctuations	



ACRONYME :

MEMO

**Modèle météorologique :****Prognostique**• *Aucun modèle météorologique :*

- résultats de simulation
- mesures météorologiques

• *Modèle diagnostique :*

- linéarisation des équations
- conservation de la masse
- modèle ID vertical

• *Modèle prognostique :*

- hydrostatique
- incompressible

 maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :*

- terrain plat et homogène
- vallée isolée de profondeur modérée
- collines et vallées de pentes modérées

- terrain plat et non homogène
- colline isolée de pente modérée
- relief de montagne

• *Prise en compte des obstacles :*

- rugosité  obstacle isolé  groupe d'obstacles

• *Stratification atmosphérique :*

- atmosphère neutre  brise de mer
- atmosphère stable  brise de vallée
- atmosphère convective  îlot de chaleur urbain

• *Modèle de sol :*

- sol hétérogène  échange de chaleur  échange d'humidité

• *Humidité atmosphérique :*

- atmosphère humide  microphysique des nuages  précipitations

**Validation du modèle :**

aucune validation  validation en soufflerie  campagne de terrain  intercomparaison de modèle

**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :*

- PC  Mac Intosh  station Unix  calcul //

• *Système d'exploitation :*

- DOS  Windows  Linux  Unix

• *Langage utilisé :*

- Fortran  C  Autre langage

• *Interface utilisateur :*

- aucun (ASCII)  intégré

*logiciels de post traitement :*• *Temps de calcul par scénario :*

- < une seconde  < une minute  < une heure  > une heure

• *Modèles liés*

ACRONYME :

MEMO

• Références :

Moussiopoulos, N. (1987) *An efficient scheme to calculate radiative transfer in mesoscale models. Environmental software* 2/4, 172-191.

Moussiopoulos, N. (1989) *Mathematische Modellierung mesoskaliger Ausbreitung in der Atmosphäre, Fortschr.-Ber, VDI, Reihe 15, Nr. 64, pp. 307.*

Moussiopoulos, N. and Flassak, Th. (1989) *A fully vectorized fast direct solver of the Helmholtz equation, in: Applications of supercomputers in engineering: Algorithms, computer systems and user experience (Brebbia, C.A. and Peters A., eds.), Elsevier, Amsterdam 67-77.*

Moussiopoulos N., Flassak Th., Sahm P. and Berlowitz D. (1993), *Simulations of the wind field in Athens with the nonhydrostatic mesoscale model MEMO, Environmental Software* 8, 29-42.

Kunz R. and Moussiopoulos N. (1995) *Simulation of the wind field in Athens using refined boundary conditions, Atmos. Environ.* 29, 3575-3591.

Wortmann-Vierthaler M. and Moussiopoulos N. (1995), *Numerical tests of a refined flux corrected transport advection scheme, Environmental Software* 10, 157-175.

Moussiopoulos N., Sahm P., Karatzas K., Papalexou S. and Karagiannidis A. (1997), *Assessing the impact of the new Athens airport to urban air quality with air pollution models, Atmos. Environ.* 31, 1497-1511.

Moussiopoulos N., Ernst G., Flassak Th., Kessler Ch., Sahm P., Kunz R., Schneider Ch., Voegele T., Karatzas K., Megariti V. and Papalexou S. (1997), *The EUMAC Zooming Model, a tool supporting environmental policy decisions in the local to regional scale, in Tropospheric Modelling and Emission Estimation (Ebel A., Friedrich R. and Rodhe H., eds), Transport and Chemical Transformation of Pollutants in the Troposphere, Vol. 7, Springer, Heidelberg, 81-96.*

Moussiopoulos N., Sahm P., Kunz R., Voegele T., Schneider Ch. and Kessler Ch. (1997), *High resolution simulations of the wind flow and the ozone formation during the Heilbronn ozone Experiment, Atmos. Environ.* 31, 3177-3186.

Schneider Ch., Kessler Ch. and Moussiopoulos N. (1997), *Influence of emission input data on ozone level predictions for the upper Rhine valley, Atmos. Environ.* 31, 3187-3205.

KK`Kunz R. and Moussiopoulos N. (1997), *Implementation and assessment of an one-way nesting technique for high resolution wind flow simulations, Atmos. Environ.* 31, 3167-3176.

ACRONYME :

MERCURE

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	<b>Prognostique</b>			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input type="checkbox"/> Gaussien	<input checked="" type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> ponctuelle	<input checked="" type="checkbox"/> linéique	<input checked="" type="checkbox"/> surfacique	<input checked="" type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input checked="" type="checkbox"/> rejet continu	<input checked="" type="checkbox"/> rejet variable	<input checked="" type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> locale	<input checked="" type="checkbox"/> urbaine	<input checked="" type="checkbox"/> régionale	<input type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input checked="" type="checkbox"/> horaire	<input type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input checked="" type="checkbox"/> relief	<input checked="" type="checkbox"/> obstacles	<input checked="" type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input checked="" type="checkbox"/> fluctuations
<input type="checkbox"/> visibilité de panache	<input type="checkbox"/> dépôt	<input type="checkbox"/> chimie	<input type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>	ARIA Technologie <a href="http://www.aria.fr/french/home/index.html">http://www.aria.fr/french/home/index.html</a>			
• <i>Distributeur du logiciel :</i>	ARIA Technologie <a href="http://www.aria.fr/french/home/index.html">http://www.aria.fr/french/home/index.html</a>			
• <i>Contact :</i>	Florence Jasmin      Tél.:33 1 55 19 99 76      Fax :33 1 55 19 99 62 <a href="http://info@aria.fr">http://info@aria.fr</a>			
• <i>Type de licence :</i>	<input type="checkbox"/> accès libre	<input type="checkbox"/> accès contrôlé	<input checked="" type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input checked="" type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input checked="" type="checkbox"/> doc technique	<input checked="" type="checkbox"/> doc utilisateur	<input type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input checked="" type="checkbox"/> à distance	<input checked="" type="checkbox"/> sur site	<input checked="" type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>				

ACRONYME :

MERCURE

**Modèle de dispersion :**

- |  |  |   |
|--|--|---|
| <input type="checkbox"/> gaussien <input type="checkbox"/> panache <input type="checkbox"/> bouffées<br>• <u>Modélisation des écarts-types :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input type="checkbox"/> par classes<br><input type="checkbox"/> continue | <input checked="" type="checkbox"/> eulérien 3D<br>• <u>Paramétrisation de la turbulence :</u><br><input checked="" type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne | <input type="checkbox"/> lagrangien<br>• <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne |
|--|--|---|

**Phénomènes de dispersion représentés :**

- |   |   |   |
|---|---|---|
| • <i>Effets du relief :</i>                           | <input checked="" type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo   | <input type="checkbox"/> modèle interne spécifique  |
| • <i>Effets des obstacles :</i>                       | <input checked="" type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo   | <input type="checkbox"/> modèle interne spécifique  |
| • <i>Effets de la source :</i>                        | <input checked="" type="checkbox"/> source ponctuelle <input checked="" type="checkbox"/> source volumique <input type="checkbox"/> surhauteur cinématique<br><input checked="" type="checkbox"/> source linéique <input checked="" type="checkbox"/> source variable <input type="checkbox"/> surhauteur thermique<br><input checked="" type="checkbox"/> source surfacique <input checked="" type="checkbox"/> source multiple <input type="checkbox"/> downwash/flagging |   |
| • <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>  | <input type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion  | <input checked="" type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion<br><input checked="" type="checkbox"/> réflexion<br><input checked="" type="checkbox"/> pénétration<br><input checked="" type="checkbox"/> fumigation |
| • <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i> | <input type="checkbox"/> meandering   |   |
| • <i>Fluctuations :</i>                               | <input checked="" type="checkbox"/> écart-type de concentration   | <input type="checkbox"/> pdf de concentration   |
| • <i>Chimie</i>                                       | <input type="checkbox"/> chimie simplifiée  | <input type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe  |
| • <i>Déposition :</i>                                 | <input type="checkbox"/> particules   | <input type="checkbox"/> dépôt sec  |
|   | <input type="checkbox"/> sédimentation  | <input type="checkbox"/> dépôt humide   |
| • <i>Radioactivité :</i>                              | <input type="checkbox"/> déc. radioactive   | <input type="checkbox"/> filiation radioactive <input type="checkbox"/> débit de dose   |

**Informations sur les données d'entrée :**

- |                                    |   |   |   |
|------------------------------------|---|---|---|
| • <i>Données géographiques :</i>   | <input checked="" type="checkbox"/> relief                          | <input checked="" type="checkbox"/> obstacles | <input checked="" type="checkbox"/> catégories de sol |
| • <i>Données météorologiques :</i> | <input checked="" type="checkbox"/> mesures                         | <input type="checkbox"/> préprocesseur        | <input checked="" type="checkbox"/> champ 3D          |
| • <i>Données d'émission</i>        | <input checked="" type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées | <input type="checkbox"/> modèle d'émission    |   |

**Informations sur les données de sortie :**

- |                                 |  |   |   |                                     |
|---------------------------------|--|---|---|-------------------------------------|
| • <i>Format des données :</i>   | <input checked="" type="checkbox"/> fichiers ASCII           | <input type="checkbox"/> cartographies    | <input checked="" type="checkbox"/> tracés 3D | <input type="checkbox"/> Web        |
| • <i>Grandeurs calculées :</i>  | <input checked="" type="checkbox"/> concentration moyenne    | <input type="checkbox"/> dépôt sec        | <input type="checkbox"/> dépôt humide         | <input type="checkbox"/> écart-type |
| • <i>Répartition temporelle</i> | <input checked="" type="checkbox"/> moyenne par pas de temps | <input type="checkbox"/> moyenne annuelle | <input type="checkbox"/> fluctuations         |                                     |

ACRONYME :

MERCURE

**Modèle météorologique :****Prognostique**• *Aucun modèle météorologique :* résultats de simulation mesures météorologiques• *Modèle diagnostique :* linéarisation des équations conservation de la masse modèle ID vertical• *Modèle prognostique :* hydrostatique incompressible maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :* terrain plat et homogène vallée isolée de profondeur modérée collines et vallées de pentes modérées terrain plat et non homogène colline isolée de pente modérée relief de montagne• *Prise en compte des obstacles :* rugosité obstacle isolé groupe d'obstacles• *Stratification atmosphérique :* atmosphère neutre atmosphère stable atmosphère convective brise de mer brise de vallée îlot de chaleur urbain• *Modèle de sol :* sol hétérogène échange de chaleur échange d'humidité• *Humidité atmosphérique :* atmosphère humide microphysique des nuages précipitations**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :* PC Mac Intosh station Unix calcul //• *Système d'exploitation :* DOS Windows Linux Unix• *Langage utilisé :* Fortran C Autre langage• *Interface utilisateur :* aucun (ASCII) intégré*logiciels de post traitement :*• *Temps de calcul par scénario :* < une seconde < une minute < une heure > une heure• *Modèles liés*

MERCURE est employé dans ARIA Local et ARIA Régional.

ACRONYME :

MERCURE

- Références :

ACRONYME :

METPHOMOD

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	<b>Prognostique</b>			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input type="checkbox"/> Gaussien	<input checked="" type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input type="checkbox"/> ponctuelle	<input type="checkbox"/> linéique	<input checked="" type="checkbox"/> surfacique	<input type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input checked="" type="checkbox"/> rejet continu	<input checked="" type="checkbox"/> rejet variable	<input checked="" type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input type="checkbox"/> locale	<input checked="" type="checkbox"/> urbaine	<input checked="" type="checkbox"/> régionale	<input type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input checked="" type="checkbox"/> horaire	<input type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input checked="" type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input checked="" type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input type="checkbox"/> fluctuations
<input type="checkbox"/> visibilité de panache	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt	<input checked="" type="checkbox"/> chimie	<input type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>	Ecole Polytechnique de Lausanne (EPFL) - Suisse <a href="http://www.giub.unibe.ch/klimet/metphomod/">http://www.giub.unibe.ch/klimet/metphomod/</a>			
• <i>Distributeur du logiciel :</i>				
• <i>Contact :</i>	Tél.:		Fax :	
• <i>Type de licence :</i>	<input type="checkbox"/> accès libre	<input checked="" type="checkbox"/> accès contrôlé	<input type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input checked="" type="checkbox"/> doc technique	<input checked="" type="checkbox"/> doc utilisateur	<input checked="" type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>				

ACRONYME :

METPHOMOD

**Modèle de dispersion :**

<input type="checkbox"/> gaussien <input type="checkbox"/> panache <input type="checkbox"/> bouffées • <u>Modélisation des écarts-types :</u> <input type="checkbox"/> sortie du modèle météo <input type="checkbox"/> par classes <input type="checkbox"/> continue	<input checked="" type="checkbox"/> eulérien 3D • <u>Paramétrisation de la turbulence :</u> <input checked="" type="checkbox"/> sortie du modèle météo <input type="checkbox"/> modèle spécifique interne	<input type="checkbox"/> lagrangien • <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u> <input type="checkbox"/> sortie du modèle météo <input type="checkbox"/> modèle spécifique interne
--	--	---

**Phénomènes de dispersion représentés :**

• <i>Effets du relief :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets des obstacles :</i>	<input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets de la source :</i>	<input type="checkbox"/> source ponctuelle <input type="checkbox"/> source volumique <input type="checkbox"/> source linéique <input checked="" type="checkbox"/> source variable <input checked="" type="checkbox"/> source surfacique <input checked="" type="checkbox"/> source multiple	<input type="checkbox"/> surhauteur cinématique <input type="checkbox"/> surhauteur thermique <input type="checkbox"/> downwash/flagging
• <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>	<input type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion	<input type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion <input type="checkbox"/> réflexion <input type="checkbox"/> pénétration <input type="checkbox"/> fumigation
• <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i>	<input type="checkbox"/> meandering	
• <i>Fluctuations :</i>	<input type="checkbox"/> écart-type de concentration	<input type="checkbox"/> pdf de concentration
• <i>Chimie</i>	<input type="checkbox"/> chimie simplifiée	<input checked="" type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe
• <i>Déposition :</i>	<input type="checkbox"/> particules <input type="checkbox"/> sédimentation	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec <input type="checkbox"/> dépôt humide
• <i>Radioactivité :</i>	<input type="checkbox"/> déc. radioactive	<input type="checkbox"/> filiation radioactive <input type="checkbox"/> débit de dose

**Informations sur les données d'entrée :**

• <i>Données géographiques :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input type="checkbox"/> catégories de sol
• <i>Données météorologiques :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> mesures	<input type="checkbox"/> préprocesseur	<input type="checkbox"/> champ 3D
• <i>Données d'émission</i>	<input checked="" type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées	<input type="checkbox"/> modèle d'émission	

**Informations sur les données de sortie :**

• <i>Format des données :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> fichiers ASCII	<input type="checkbox"/> cartographies	<input type="checkbox"/> tracés 3D	<input type="checkbox"/> Web
• <i>Grandeurs calculées :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> concentration moyenne	<input type="checkbox"/> percentiles		
	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec	<input type="checkbox"/> dépôt humide	<input type="checkbox"/> écart-type	
• <i>Répartition temporelle</i>	<input checked="" type="checkbox"/> moyenne par pas de temps	<input type="checkbox"/> moyenne annuelle	<input type="checkbox"/> fluctuations	



ACRONYME :

METPHOMOD

**Modèle météorologique :****Prognostique**• *Aucun modèle météorologique :*

- résultats de simulation
- mesures météorologiques

• *Modèle diagnostique :*

- linéarisation des équations
- conservation de la masse
- modèle ID vertical

• *Modèle prognostique :*

- hydrostatique
- incompressible

 maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :*

- terrain plat et homogène
- vallée isolée de profondeur modérée
- collines et vallées de pentes modérées

- terrain plat et non homogène
- colline isolée de pente modérée
- relief de montagne

• *Prise en compte des obstacles :*

- rugosité  obstacle isolé  groupe d'obstacles

• *Stratification atmosphérique :*

- atmosphère neutre  atmosphère stable  atmosphère convective
- brise de mer  brise de vallée  îlot de chaleur urbain

• *Modèle de sol :*

- sol hétérogène  échange de chaleur  échange d'humidité

• *Humidité atmosphérique :*

- atmosphère humide  microphysique des nuages  précipitations

**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :*

- PC  Mac Intosh  station Unix  calcul //

• *Système d'exploitation :*

- DOS  Windows  Linux  Unix

• *Langage utilisé :*

- Fortran  C  Autre langage

• *Interface utilisateur :*

- aucun (ASCII)  intégré

*logiciels de post traitement :*• *Temps de calcul par scénario :*

- < une seconde  < une minute  < une heure  > une heure

• *Modèles liés*

ACRONYME :

METPHOMOD

- Références :

*Perego S. (1996), Ein numerisches Modell zur Simulation des Sommersmogs, Geographica Bernensia G47, Bern. ISBN 3-906151-05-0.*

*Silvan Perego: Metphomod - A numerical Mesoscale Model for the Simulation of Regional Photosmog in complex terrain: Model description and Application during Pollumet 1993 (Switzerland); Meterol. Atmos.Phys. 70, 43-69 (1999)*

ACRONYME :

METRAS

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	<b>Prognostique</b>			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input type="checkbox"/> Gaussien	<input checked="" type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> ponctuelle	<input type="checkbox"/> linéique	<input checked="" type="checkbox"/> surfacique	<input type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input checked="" type="checkbox"/> rejet continu	<input checked="" type="checkbox"/> rejet variable	<input checked="" type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input type="checkbox"/> locale	<input checked="" type="checkbox"/> urbaine	<input checked="" type="checkbox"/> régionale	<input type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input checked="" type="checkbox"/> horaire	<input type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input checked="" type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input checked="" type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input type="checkbox"/> fluctuations
<input type="checkbox"/> visibilité de panache	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt	<input checked="" type="checkbox"/> chimie	<input type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>	University of Hamburg - Meteorological Institute <a href="http://www.mi.uni-hamburg.de/index.e.html">http://www.mi.uni-hamburg.de/index.e.html</a>			
• <i>Distributeur du logiciel :</i>				
• <i>Contact :</i>	K.H. Schluenzen	Tél.:	Fax :	
	<a href="mailto:schluenzen@dkrz.de">http://schluenzen@dkrz.de</a>			
• <i>Type de licence :</i>	<input type="checkbox"/> accès libre	<input checked="" type="checkbox"/> accès contrôlé	<input type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input type="checkbox"/> doc technique	<input type="checkbox"/> doc utilisateur	<input type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>				

ACRONYME :

METRAS

**Modèle de dispersion :**

<input type="checkbox"/> gaussien	<input type="checkbox"/> panache	<input type="checkbox"/> bouffées	<input checked="" type="checkbox"/> eulérien 3D	<input type="checkbox"/> lagrangien
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Modélisation des écarts-types :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> par classes</li> <li><input type="checkbox"/> continue</li> </ul> </li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>				

**Phénomènes de dispersion représentés :**

• <i>Effets du relief :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets des obstacles :</i>	<input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> source ponctuelle <input type="checkbox"/> source volumique <input type="checkbox"/> surhauteur cinématique <input type="checkbox"/> source linéique <input checked="" type="checkbox"/> source variable <input type="checkbox"/> surhauteur thermique <input checked="" type="checkbox"/> source surfacique <input checked="" type="checkbox"/> source multiple <input type="checkbox"/> downwash/flagging	
• <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>	<input type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion	<input type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion <input type="checkbox"/> réflexion <input type="checkbox"/> pénétration <input type="checkbox"/> fumigation
• <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i>	<input type="checkbox"/> meandering	
• <i>Fluctuations :</i>	<input type="checkbox"/> écart-type de concentration	<input type="checkbox"/> pdf de concentration
• <i>Chimie</i>	<input type="checkbox"/> chimie simplifiée	<input checked="" type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe
• <i>Déposition :</i>	<input type="checkbox"/> particules	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec
	<input type="checkbox"/> sédimentation	<input type="checkbox"/> dépôt humide
• <i>Radioactivité :</i>	<input type="checkbox"/> déc. radioactive	<input type="checkbox"/> filiation radioactive <input type="checkbox"/> débit de dose

**Informations sur les données d'entrée :**

• <i>Données géographiques :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input checked="" type="checkbox"/> catégories de sol
• <i>Données météorologiques :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> mesures	<input type="checkbox"/> préprocesseur	<input checked="" type="checkbox"/> champ 3D
• <i>Données d'émission</i>	<input checked="" type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées	<input type="checkbox"/> modèle d'émission	

**Informations sur les données de sortie :**

• <i>Format des données :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> fichiers ASCII	<input type="checkbox"/> cartographies	<input checked="" type="checkbox"/> tracés 3D	<input type="checkbox"/> Web
• <i>Grandeurs calculées :</i>	<input type="checkbox"/> concentration moyenne	<input type="checkbox"/> percentiles		
	<input type="checkbox"/> dépôt sec	<input type="checkbox"/> dépôt humide	<input type="checkbox"/> écart-type	
• <i>Répartition temporelle</i>	<input checked="" type="checkbox"/> moyenne par pas de temps	<input type="checkbox"/> moyenne annuelle	<input type="checkbox"/> fluctuations	

ACRONYME :

METRAS

**Modèle météorologique :****Prognostique**• *Aucun modèle météorologique :*

- résultats de simulation
- mesures météorologiques

• *Modèle diagnostique :*

- linéarisation des équations
- conservation de la masse
- modèle ID vertical

• *Modèle prognostique :*

- hydrostatique
- incompressible

 maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :*

- terrain plat et homogène
- vallée isolée de profondeur modérée
- collines et vallées de pentes modérées

- terrain plat et non homogène
- colline isolée de pente modérée
- relief de montagne

• *Prise en compte des obstacles :*

- rugosité       obstacle isolé       groupe d'obstacles

• *Stratification atmosphérique :*

- atmosphère neutre       brise de mer
- atmosphère stable       brise de vallée
- atmosphère convective       îlot de chaleur urbain

• *Modèle de sol :*

- sol hétérogène       échange de chaleur       échange d'humidité

• *Humidité atmosphérique :*

- atmosphère humide       microphysique des nuages       précipitations

**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :*

- PC       Mac Intosh       station Unix       calcul //

• *Système d'exploitation :*

- DOS       Windows       Linux       Unix

• *Langage utilisé :*

- Fortran       C       Autre langage

• *Interface utilisateur :*

- aucun (ASCII)       intégré

*logiciels de post traitement :*• *Temps de calcul par scénario :*

- < une seconde       < une minute       < une heure       > une heure

• *Modèles liés**Modèles de chimie : EMEP - CHEMSAN - EURO-RADM*

ACRONYME :

METRAS

- Références :

*C. Luepkes and K.H. Schluenzen (1996), Modelling the arctic convective boundary-layer with different turbulence parameterizations, Boundary-Layer Meteorology 79, 107-130.*

*U. Niemeier and K.H. Schluenzen (1993), Modelling steep terrain influences on flow pattern at the Isle of Helgoland. Beitr. Phys. Atmosph., 66, 45-62.*

*K.H. Schluenzen (1990), Numerical Studies on the Inland Penetration of Sea Breeze Fronts at a Coastline with Tidally Flooded Mudflats, Beitr. Phys. Atmosph., 243-256.*

*K.H. Schluenzen and S. Pahl (1992), Modification of dry deposition in a developing sea-breeze circulation - a numerical case study. Atmos. Environ., 26 A, 51-61.*

*K.H. Schluenzen (1996), On the validation of high-resolution atmospheric mesoscale models. Submitted to J. Wind Engineering and Industrial Aerodynamics.*

ACRONYME :

MILORD

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	<b>Aucun</b>			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input type="checkbox"/> Gaussien	<input type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input checked="" type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> ponctuelle	<input checked="" type="checkbox"/> linéique	<input checked="" type="checkbox"/> surfacique	<input type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input checked="" type="checkbox"/> rejet continu	<input checked="" type="checkbox"/> rejet variable	<input checked="" type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input type="checkbox"/> locale	<input type="checkbox"/> urbaine	<input type="checkbox"/> régionale	<input checked="" type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input checked="" type="checkbox"/> horaire	<input type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input checked="" type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input checked="" type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input type="checkbox"/> fluctuations
<input type="checkbox"/> visibilité de panache	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt	<input checked="" type="checkbox"/> chimie	<input type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>	Istituto di Cosmogeofisica - Torino - Italie			
• <i>Distributeur du logiciel :</i>				
• <i>Contact :</i>	Anfossi D.	Tél.:	Fax :	
	<a href="http://anfossi@to.infn.it">http://anfossi@to.infn.it</a>			
• <i>Type de licence :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> accès libre	<input type="checkbox"/> accès contrôlé	<input type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input type="checkbox"/> doc technique	<input type="checkbox"/> doc utilisateur	<input type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>				

ACRONYME :

MILORD

**Modèle de dispersion :**

<input type="checkbox"/> gaussien	<input type="checkbox"/> panache	<input type="checkbox"/> bouffées	<input type="checkbox"/> eulérien 3D	<input checked="" type="checkbox"/> lagrangien
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Modélisation des écarts-types :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> par classes</li> <li><input type="checkbox"/> continue</li> </ul> </li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>				

**Phénomènes de dispersion représentés :**

• <i>Effets du relief :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets des obstacles :</i>	<input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> source ponctuelle <input type="checkbox"/> source volumique <input type="checkbox"/> surhauteur cinématique <input checked="" type="checkbox"/> source linéique <input checked="" type="checkbox"/> source variable <input type="checkbox"/> surhauteur thermique <input checked="" type="checkbox"/> source surfacique <input checked="" type="checkbox"/> source multiple <input type="checkbox"/> downwash/flagging	
• <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>	<input type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion	<input type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion <input type="checkbox"/> réflexion <input type="checkbox"/> pénétration <input type="checkbox"/> fumigation
• <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i>	<input type="checkbox"/> meandering	
• <i>Fluctuations :</i>	<input type="checkbox"/> écart-type de concentration	<input type="checkbox"/> pdf de concentration
• <i>Chimie</i>	<input checked="" type="checkbox"/> chimie simplifiée	<input type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe
• <i>Déposition :</i>	<input type="checkbox"/> particules <input type="checkbox"/> sédimentation	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec <input checked="" type="checkbox"/> dépôt humide
• <i>Radioactivité :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> déc. radioactive	<input type="checkbox"/> filiation radioactive <input type="checkbox"/> débit de dose

**Informations sur les données d'entrée :**

• <i>Données géographiques :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input type="checkbox"/> catégories de sol
• <i>Données météorologiques :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> mesures	<input type="checkbox"/> préprocesseur	<input checked="" type="checkbox"/> champ 3D
• <i>Données d'émission</i>	<input checked="" type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées	<input checked="" type="checkbox"/> modèle d'émission	

**Informations sur les données de sortie :**

• <i>Format des données :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> fichiers ASCII	<input type="checkbox"/> cartographies	<input type="checkbox"/> tracés 3D	<input type="checkbox"/> Web
• <i>Grandeurs calculées :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> concentration moyenne	<input type="checkbox"/> percentiles		
	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt humide	<input type="checkbox"/> écart-type	
• <i>Répartition temporelle</i>	<input type="checkbox"/> moyenne par pas de temps	<input type="checkbox"/> moyenne annuelle	<input type="checkbox"/> fluctuations	



ACRONYME :

MILORD

**Modèle météorologique :**

Aucun

• *Aucun modèle météorologique :* résultats de simulation mesures météorologiques• *Modèle diagnostique :* linéarisation des équations conservation de la masse modèle ID vertical• *Modèle prognostique :* hydrostatique incompressible maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :* terrain plat et homogène vallée isolée de profondeur modérée collines et vallées de pentes modérées terrain plat et non homogène colline isolée de pente modérée relief de montagne• *Prise en compte des obstacles :* rugosité obstacle isolé groupe d'obstacles• *Stratification atmosphérique :* atmosphère neutre atmosphère stable atmosphère convective brise de mer brise de vallée îlot de chaleur urbain• *Modèle de sol :* sol hétérogène échange de chaleur échange d'humidité• *Humidité atmosphérique :* atmosphère humide microphysique des nuages précipitations**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :* PC Mac Intosh station Unix calcul //• *Système d'exploitation :* DOS Windows Linux Unix• *Langage utilisé :* Fortran C Autre langage• *Interface utilisateur :* aucun (ASCII) intégré*logiciels de post traitement :*• *Temps de calcul par scénario :* < une seconde < une minute < une heure > une heure• *Modèles liés*

ACRONYME :

MILORD

- Références :

Anfossi D., Sacchetti D., Trini Castelli S., "Development and Sensitivity Analysis of a Lagrangian Particle Model for Long Range Dispersion", *Environmental Software*, Vol. 10, No. 4, pages 263-287, 1996

Anfossi D., Desiato F., Trini Castelli S., Ferrero E., Tinarelli G., "The role of horizontal diffusion and mixing height parameterization in the ETEX long-range dispersion modelling", *Proceeding of "ETEX Symposium on Long-Range Atmospheric Transport, Model Verification and Emergency Response"*, Wien, 13-16 Maggio, 1997, Ed. K. Nodop, pp. 187-190

Desiato F., Anfossi D., Trini Castelli S., Ferrero E., Tinarelli G., "Intercomparison of two Lagrangian particle models with ETEX tracer data", *Air Pollution Modelling and its Applications XI*, Gryning S.E. and Chaumerliac N. eds., Plenum Press, New York, 22, pages 267-273, 1998

Desiato F., Anfossi D., Trini Castelli S., Ferrero E., Tinarelli G., "The role of wind field, mixing height and horizontal diffusivity investigated through two long-range Lagrangian particle models", *Atmospheric Environment*, 32, pages 4157-4165, 1998

Anfossi D., Trini Castelli S., Ferrero E., Tinarelli G., "Results of MILORD simulations of ETEX-I", *ATMES II: Evaluation of Long Range Atmospheric Transport Models using ETEX I Data* - Klug W. e Graziani G. eds., Elsevier, (in press)

ACRONYME :

MIMO

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	<b>Prognostique</b>			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input type="checkbox"/> Gaussien	<input checked="" type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input type="checkbox"/> ponctuelle	<input type="checkbox"/> linéique	<input checked="" type="checkbox"/> surfacique	<input type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input checked="" type="checkbox"/> rejet continu	<input checked="" type="checkbox"/> rejet variable	<input checked="" type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> locale	<input checked="" type="checkbox"/> urbaine	<input type="checkbox"/> régionale	<input type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input checked="" type="checkbox"/> horaire	<input type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input checked="" type="checkbox"/> relief	<input checked="" type="checkbox"/> obstacles	<input type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input type="checkbox"/> fluctuations
<input type="checkbox"/> visibilité de panache	<input type="checkbox"/> dépôt	<input type="checkbox"/> chimie	<input type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>	Département de Technique Thermodynamique - Université de Karlsruhe - Allemagne <a href="http://www-itt.mach.uni-karlsruhe.de/en/arb_en.html">http://www-itt.mach.uni-karlsruhe.de/en/arb_en.html</a>			
• <i>Distributeur du logiciel :</i>				
• <i>Contact :</i>	Tél.:		Fax :	
• <i>Type de licence :</i>	<input type="checkbox"/> accès libre	<input checked="" type="checkbox"/> accès contrôlé	<input type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input type="checkbox"/> doc technique	<input type="checkbox"/> doc utilisateur	<input type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>				

ACRONYME :

MIMO

**Modèle de dispersion :**

- |  |  |   |
|--|--|---|
| <input type="checkbox"/> gaussien <input type="checkbox"/> panache <input type="checkbox"/> bouffées<br>• <u>Modélisation des écarts-types :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input type="checkbox"/> par classes<br><input type="checkbox"/> continue | <input checked="" type="checkbox"/> eulérien 3D<br>• <u>Paramétrisation de la turbulence :</u><br><input checked="" type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne | <input type="checkbox"/> lagrangien<br>• <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne |
|--|--|---|

**Phénomènes de dispersion représentés :**

- |   |  |   |
|---|--|---|
| • <i>Effets du relief :</i>                           | <input checked="" type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo  | <input type="checkbox"/> modèle interne spécifique  |
| • <i>Effets des obstacles :</i>                       | <input checked="" type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo  | <input type="checkbox"/> modèle interne spécifique  |
| • <i>Effets de la source :</i>                        | <input type="checkbox"/> source ponctuelle <input type="checkbox"/> source volumique <input type="checkbox"/> surhauteur cinématique<br><input type="checkbox"/> source linéique <input checked="" type="checkbox"/> source variable <input type="checkbox"/> surhauteur thermique<br><input checked="" type="checkbox"/> source surfacique <input checked="" type="checkbox"/> source multiple <input type="checkbox"/> downwash/flagging |   |
| • <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>  | <input type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion   | <input type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion<br><input type="checkbox"/> réflexion<br><input type="checkbox"/> pénétration<br><input type="checkbox"/> fumigation |
| • <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i> | <input type="checkbox"/> meandering  |   |
| • <i>Fluctuations :</i>                               | <input type="checkbox"/> écart-type de concentration   | <input type="checkbox"/> pdf de concentration   |
| • <i>Chimie</i>                                       | <input type="checkbox"/> chimie simplifiée   | <input type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe  |
| • <i>Déposition :</i>                                 | <input type="checkbox"/> particules  | <input type="checkbox"/> dépôt sec  |
|   | <input type="checkbox"/> sédimentation   | <input type="checkbox"/> dépôt humide   |
| • <i>Radioactivité :</i>                              | <input type="checkbox"/> déc. radioactive  | <input type="checkbox"/> filiation radioactive <input type="checkbox"/> débit de dose   |

**Informations sur les données d'entrée :**

- |                                    |  |   |  |
|------------------------------------|--|---|--|
| • <i>Données géographiques :</i>   | <input type="checkbox"/> relief                          | <input checked="" type="checkbox"/> obstacles | <input type="checkbox"/> catégories de sol |
| • <i>Données météorologiques :</i> | <input checked="" type="checkbox"/> mesures              | <input type="checkbox"/> préprocesseur        | <input type="checkbox"/> champ 3D          |
| • <i>Données d'émission</i>        | <input type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées | <input type="checkbox"/> modèle d'émission    |  |

**Informations sur les données de sortie :**

- |                                 |  |   |                                       |                              |
|---------------------------------|--|---|---------------------------------------|------------------------------|
| • <i>Format des données :</i>   | <input type="checkbox"/> fichiers ASCII                      | <input type="checkbox"/> cartographies    | <input type="checkbox"/> tracés 3D    | <input type="checkbox"/> Web |
| • <i>Grandeurs calculées :</i>  | <input checked="" type="checkbox"/> concentration moyenne    | <input type="checkbox"/> percentiles      |                                       |                              |
|                                 | <input type="checkbox"/> dépôt sec                           | <input type="checkbox"/> dépôt humide     | <input type="checkbox"/> écart-type   |                              |
| • <i>Répartition temporelle</i> | <input checked="" type="checkbox"/> moyenne par pas de temps | <input type="checkbox"/> moyenne annuelle | <input type="checkbox"/> fluctuations |                              |

ACRONYME :

MIMO

**Modèle météorologique :****Prognostique**• *Aucun modèle météorologique :* résultats de simulation mesures météorologiques• *Modèle diagnostique :* linéarisation des équations conservation de la masse modèle ID vertical• *Modèle prognostique :* hydrostatique incompressible maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :* terrain plat et homogène vallée isolée de profondeur modérée collines et vallées de pentes modérées terrain plat et non homogène colline isolée de pente modérée relief de montagne• *Prise en compte des obstacles :* rugosité obstacle isolé groupe d'obstacles• *Stratification atmosphérique :* atmosphère neutre atmosphère stable atmosphère convective brise de mer brise de vallée îlot de chaleur urbain• *Modèle de sol :* sol hétérogène échange de chaleur échange d'humidité• *Humidité atmosphérique :* atmosphère humide microphysique des nuages précipitations**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :* PC Mac Intosh station Unix calcul //• *Système d'exploitation :* DOS Windows Linux Unix• *Langage utilisé :* Fortran C Autre langage• *Interface utilisateur :* aucun (ASCII) intégré*logiciels de post traitement :*• *Temps de calcul par scénario :* < une seconde < une minute < une heure > une heure• *Modèles liés*

ACRONYME :

MIMO

- Références :

*Martinuzzi, R. (1992) Experimentelle Untersuchung der Umströmung wandgebundener, rechteckiger, prismatischer Hindernisse, Dissertation Universität Erlangen-Nürnberg.*

*Klein, P., Rau, M., Wang, Z. and Plate, E. (1995) Concentrations and flow field in the neighbourhood of buildings and building complexes (wind tunnel experiments), Research Programme for Air Pollution Prevention Measures, Annual Report, Forschungszentrum Karlsruhe.*

*Winkler, Ch. (1995) Mathematische Modellierung der quellnahen Ausbreitung von Emissionen, Fortschr.-Ber, VDI, Reihe 7, Nr. 268, pp. 142.*

*Wortmann-Vierthaler, M. and Moussiopoulos, N. (1995) Numerical test of a refined flux corrected transport (FCT) advection scheme, Environmental Software, 10, 157-175.*

*Goetting, J., Winkler, Ch., Rau, M., Moussiopoulos, N. and Ernst, G. (1995) Plume dispersion over built-up areas: a comparison of numerical results and wind tunnel studies, in: Air Pollution III, 1, (Eds.: Power, h., Moussiopoulos, N. and Brebbia, C.), Computational Mechanics Publications, 413-420.*

*Goetting, J., Winkler, Ch., Rau, M., Moussiopoulos, N. and Ernst, G. (1997) Dispersion of a passive pollutant in the vicinity of a U-shaped building, Int. J. Env. Poll., 8, No. 3-6, 718-726.*

ACRONYME :

MM5

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	<b>Prognostique</b>			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input type="checkbox"/> Gaussien	<input type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input type="checkbox"/> ponctuelle	<input type="checkbox"/> linéique	<input type="checkbox"/> surfacique	<input type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input type="checkbox"/> rejet continu	<input type="checkbox"/> rejet variable	<input type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input type="checkbox"/> locale	<input type="checkbox"/> urbaine	<input checked="" type="checkbox"/> régionale	<input checked="" type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input checked="" type="checkbox"/> horaire	<input type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input checked="" type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input checked="" type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input type="checkbox"/> fluctuations
<input type="checkbox"/> visibilité de panache	<input type="checkbox"/> dépôt	<input type="checkbox"/> chimie	<input type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>	Pennsylvania State University (Penn State) - University Corporation for Atmospheric Research (UCAR) <a href="http://www.mmm.ucar.edu/mm5/mm5-home.html">http://www.mmm.ucar.edu/mm5/mm5-home.html</a>			
• <i>Distributeur du logiciel :</i>	Pennsylvania State University (Penn State) - University Corporation for Atmospheric Research (UCAR) <a href="http://www.mmm.ucar.edu/mm5/mm5-home.html">http://www.mmm.ucar.edu/mm5/mm5-home.html</a>			
• <i>Contact :</i>	Tél.:		Fax :	
	<a href="http://mesouser@ucar.edu">http://mesouser@ucar.edu</a>			
• <i>Type de licence :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> accès libre	<input type="checkbox"/> accès contrôlé	<input type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input checked="" type="checkbox"/> doc technique	<input checked="" type="checkbox"/> doc utilisateur	<input checked="" type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input checked="" type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input checked="" type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>				

ACRONYME :

MM5

**Modèle de dispersion :**

<input type="checkbox"/> gaussien	<input checked="" type="checkbox"/> panache	<input checked="" type="checkbox"/> bouffées	<input type="checkbox"/> eulérien 3D	<input type="checkbox"/> lagrangien
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Modélisation des écarts-types :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> par classes</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> continue</li> </ul> </li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>				

**Phénomènes de dispersion représentés :**

• <i>Effets du relief :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input checked="" type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets des obstacles :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input checked="" type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> source ponctuelle <input checked="" type="checkbox"/> source volumique <input checked="" type="checkbox"/> surhauteur cinématique <input checked="" type="checkbox"/> source linéique <input checked="" type="checkbox"/> source variable <input checked="" type="checkbox"/> surhauteur thermique <input checked="" type="checkbox"/> source surfacique <input checked="" type="checkbox"/> source multiple <input checked="" type="checkbox"/> downwash/flagging	
• <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion	<input checked="" type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion <input checked="" type="checkbox"/> réflexion <input checked="" type="checkbox"/> pénétration <input checked="" type="checkbox"/> fumigation
• <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> meandering	
• <i>Fluctuations :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> écart-type de concentration	<input checked="" type="checkbox"/> pdf de concentration
• <i>Chimie</i>	<input checked="" type="checkbox"/> chimie simplifiée	<input checked="" type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe
• <i>Déposition :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> particules <input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec <input checked="" type="checkbox"/> sédimentation <input checked="" type="checkbox"/> dépôt humide	
• <i>Radioactivité :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> déc. radioactive	<input checked="" type="checkbox"/> filiation radioactive <input checked="" type="checkbox"/> débit de dose

**Informations sur les données d'entrée :**

• <i>Données géographiques :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> relief	<input checked="" type="checkbox"/> obstacles	<input checked="" type="checkbox"/> catégories de sol
• <i>Données météorologiques :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> mesures	<input type="checkbox"/> préprocesseur	<input checked="" type="checkbox"/> champ 3D
• <i>Données d'émission</i>	<input checked="" type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées	<input type="checkbox"/> modèle d'émission	

**Informations sur les données de sortie :**

• <i>Format des données :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> fichiers ASCII	<input checked="" type="checkbox"/> cartographies	<input checked="" type="checkbox"/> tracés 3D	<input checked="" type="checkbox"/> Web
• <i>Grandeurs calculées :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> concentration moyenne	<input checked="" type="checkbox"/> percentiles		
	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt humide	<input checked="" type="checkbox"/> écart-type	
• <i>Répartition temporelle</i>	<input checked="" type="checkbox"/> moyenne par pas de temps	<input checked="" type="checkbox"/> moyenne annuelle	<input checked="" type="checkbox"/> fluctuations	



ACRONYME :

MM5

**Modèle météorologique :****Prognostique**• *Aucun modèle météorologique :*

- résultats de simulation
- mesures météorologiques

• *Modèle diagnostique :*

- linéarisation des équations
- conservation de la masse
- modèle ID vertical

• *Modèle prognostique :*

- hydrostatique
- incompressible

 maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :*

- terrain plat et homogène
- terrain plat et non homogène
- vallée isolée de profondeur modérée
- colline isolée de pente modérée
- collines et vallées de pentes modérées
- relief de montagne

• *Prise en compte des obstacles :*

- rugosité
- obstacle isolé
- groupe d'obstacles

• *Stratification atmosphérique :*

- atmosphère neutre
- atmosphère stable
- atmosphère convective
- brise de mer
- brise de vallée
- îlot de chaleur urbain

• *Modèle de sol :*

- sol hétérogène
- échange de chaleur
- échange d'humidité

• *Humidité atmosphérique :*

- atmosphère humide
- microphysique des nuages
- précipitations

**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :*

- PC
- Mac Intosh
- station Unix
- calcul //

• *Système d'exploitation :*

- DOS
- Windows
- Linux
- Unix

• *Langage utilisé :*

- Fortran
- C
- Autre langage

• *Interface utilisateur :*

- aucun (ASCII)
- intégré

logiciels de post traitement :  
oui• *Temps de calcul par scénario :*

- < une seconde
- < une minute
- < une heure
- > une heure

• *Modèles liés*

ACRONYME :

MM5

- Références :

ACRONYME :

MODIM

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	<b>Aucun</b>			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> Gaussien	<input checked="" type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> ponctuelle	<input checked="" type="checkbox"/> linéique	<input checked="" type="checkbox"/> surfacique	<input type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input checked="" type="checkbox"/> rejet continu	<input type="checkbox"/> rejet variable	<input checked="" type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> locale	<input checked="" type="checkbox"/> urbaine	<input type="checkbox"/> régionale	<input type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input checked="" type="checkbox"/> horaire	<input type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input type="checkbox"/> fluctuations
<input type="checkbox"/> visibilité de panache	<input type="checkbox"/> dépôt	<input type="checkbox"/> chimie	<input type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>	Slovak Hydrometeorological Institute			
• <i>Distributeur du logiciel :</i>	Envitech Ltd. <a href="http://www.envitech.co.il/">http://www.envitech.co.il/</a>			
• <i>Contact :</i>	Tél.:		Fax :	
• <i>Type de licence :</i>	<input type="checkbox"/> accès libre	<input type="checkbox"/> accès contrôlé	<input checked="" type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input type="checkbox"/> doc technique	<input type="checkbox"/> doc utilisateur	<input type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>	Modèle recommandé par le ministère de l'environnement slovaque			

ACRONYME :

MODIM

**Modèle de dispersion :**

<input checked="" type="checkbox"/> gaussien <input checked="" type="checkbox"/> panache <input type="checkbox"/> bouffées • <u>Modélisation des écarts-types :</u> <input type="checkbox"/> sortie du modèle météo <input checked="" type="checkbox"/> par classes <input type="checkbox"/> continue	<input checked="" type="checkbox"/> eulérien 3D • <u>Paramétrisation de la turbulence :</u> <input type="checkbox"/> sortie du modèle météo <input checked="" type="checkbox"/> modèle spécifique interne	<input type="checkbox"/> lagrangien • <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u> <input type="checkbox"/> sortie du modèle météo <input type="checkbox"/> modèle spécifique interne
---	--	---

**Phénomènes de dispersion représentés :**

• <i>Effets du relief :</i>	<input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets des obstacles :</i>	<input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> source ponctuelle <input type="checkbox"/> source volumique <input checked="" type="checkbox"/> source linéique <input type="checkbox"/> source variable <input checked="" type="checkbox"/> source surfacique <input checked="" type="checkbox"/> source multiple	<input checked="" type="checkbox"/> surhauteur cinématique <input checked="" type="checkbox"/> surhauteur thermique <input type="checkbox"/> downwash/flagging
• <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>	<input type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion	<input type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion <input type="checkbox"/> réflexion <input type="checkbox"/> pénétration <input type="checkbox"/> fumigation
• <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i>	<input type="checkbox"/> meandering	
• <i>Fluctuations :</i>	<input type="checkbox"/> écart-type de concentration	<input type="checkbox"/> pdf de concentration
• <i>Chimie</i>	<input type="checkbox"/> chimie simplifiée	<input type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe
• <i>Déposition :</i>	<input type="checkbox"/> particules <input type="checkbox"/> sédimentation	<input type="checkbox"/> dépôt sec <input type="checkbox"/> dépôt humide
• <i>Radioactivité :</i>	<input type="checkbox"/> déc. radioactive	<input type="checkbox"/> filiation radioactive <input type="checkbox"/> débit de dose

**Informations sur les données d'entrée :**

• <i>Données géographiques :</i>	<input type="checkbox"/> relief	<input checked="" type="checkbox"/> obstacles	<input type="checkbox"/> catégories de sol
• <i>Données météorologiques :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> mesures	<input type="checkbox"/> préprocesseur	<input type="checkbox"/> champ 3D
• <i>Données d'émission</i>	<input type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées	<input type="checkbox"/> modèle d'émission	

**Informations sur les données de sortie :**

• <i>Format des données :</i>	<input type="checkbox"/> fichiers ASCII	<input type="checkbox"/> cartographies	<input type="checkbox"/> tracés 3D	<input type="checkbox"/> Web
• <i>Grandeurs calculées :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> concentration moyenne	<input type="checkbox"/> percentiles		
	<input type="checkbox"/> dépôt sec	<input type="checkbox"/> dépôt humide	<input type="checkbox"/> écart-type	
• <i>Répartition temporelle</i>	<input type="checkbox"/> moyenne par pas de temps	<input type="checkbox"/> moyenne annuelle	<input type="checkbox"/> fluctuations	

ACRONYME :

MODIM

**Modèle météorologique :**

Aucun

• *Aucun modèle météorologique :* résultats de simulation mesures météorologiques• *Modèle diagnostique :* linéarisation des équations conservation de la masse modèle ID vertical• *Modèle prognostique :* hydrostatique incompressible maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :* terrain plat et homogène vallée isolée de profondeur modérée collines et vallées de pentes modérées terrain plat et non homogène colline isolée de pente modérée relief de montagne• *Prise en compte des obstacles :* rugosité obstacle isolé groupe d'obstacles• *Stratification atmosphérique :* atmosphère neutre atmosphère stable atmosphère convective brise de mer brise de vallée îlot de chaleur urbain• *Modèle de sol :* sol hétérogène échange de chaleur échange d'humidité• *Humidité atmosphérique :* atmosphère humide microphysique des nuages précipitations**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :* PC Mac Intosh station Unix calcul //• *Système d'exploitation :* DOS Windows Linux Unix• *Langage utilisé :* Fortran C Autre langage• *Interface utilisateur :* aucun (ASCII) intégré*logiciels de post traitement :*• *Temps de calcul par scénario :* < une seconde < une minute < une heure > une heure• *Modèles liés*

ACRONYME :

MODIM

- Références :

Szabó, G.: *Mathematical modelling of air quality (in Slovak)*. Research report UOPP SHMI, Bratislava, 1995, 49 p.

Szabó, G.: *Methodology of air pollution assessment from industrial sources (in Slovak)*. Zbornik prac SHMI, Vol. 40, Bratislava, 1997, p. 55-103.

US EPA User's Guide for ISC2, Vol. I-III, Office for air quality planning, Research Triangle Park, N.C. 27711, 1992.

ENVITECH, Ltd. (distributor of MODIM 4.10 on commercial basis). Janka Krala 16, 911 01 Trencin, Tel: +421 831 520 330, Fax: +421 831 527 293, E-mail: envitech@mail.psg.sk, http: www.envitech.sk

Hesek, F.: *Mathematical modelling of air pollution from mobile sources in Bratislava and Kosice. Local studies of air quality in the cities of Bratislava and Kosice, Phare EU/93/AIR/22, Final report Air Quality Modelling, V6, Appendix A, 1998, 21 p.*

Hesek, F.: *Using of the air pollution calculation method from road traffic for highway projecting, Contributions of the Geophysical Institute of the Slovak Academy of Sciences, Ser. of Meteorology, 18, 1998, p. 76-83.*

ACRONYME :

MOGUNTIA

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	<b>Diagnostique</b>			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input type="checkbox"/> Gaussien	<input checked="" type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input type="checkbox"/> ponctuelle	<input type="checkbox"/> linéique	<input checked="" type="checkbox"/> surfacique	<input type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input type="checkbox"/> rejet continu	<input type="checkbox"/> rejet variable	<input type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input type="checkbox"/> locale	<input type="checkbox"/> urbaine	<input type="checkbox"/> régionale	<input checked="" type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input type="checkbox"/> horaire	<input checked="" type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input checked="" type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input type="checkbox"/> fluctuations
<input type="checkbox"/> visibilité de panache	<input type="checkbox"/> dépôt	<input checked="" type="checkbox"/> chimie	<input type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>	MOGUNTIA Global Modelling <a href="http://www.moguntia-global-modelling.de/mogu.htm">http://www.moguntia-global-modelling.de/mogu.htm</a>			
• <i>Distributeur du logiciel :</i>	MOGUNTIA Global Modelling <a href="http://www.moguntia-global-modelling.de/mogu.htm">http://www.moguntia-global-modelling.de/mogu.htm</a>			
• <i>Contact :</i>	Tél.:		Fax :	
• <i>Type de licence :</i>	<input type="checkbox"/> accès libre	<input checked="" type="checkbox"/> accès contrôlé	<input type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input type="checkbox"/> doc technique	<input type="checkbox"/> doc utilisateur	<input type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>				

ACRONYME :

MOGUNTIA

**Modèle de dispersion :**

<input type="checkbox"/> gaussien	<input type="checkbox"/> panache	<input type="checkbox"/> bouffées	<input checked="" type="checkbox"/> eulérien 3D	<input type="checkbox"/> lagrangien
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Modélisation des écarts-types :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> par classes</li> <li><input type="checkbox"/> continue</li> </ul> </li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>				

**Phénomènes de dispersion représentés :**

• <i>Effets du relief :</i>	<input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets des obstacles :</i>	<input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets de la source :</i>	<input type="checkbox"/> source ponctuelle <input type="checkbox"/> source volumique <input type="checkbox"/> surhauteur cinématique <input type="checkbox"/> source linéique <input type="checkbox"/> source variable <input type="checkbox"/> surhauteur thermique <input checked="" type="checkbox"/> source surfacique <input type="checkbox"/> source multiple <input type="checkbox"/> downwash/flagging	
• <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>	<input type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion	<input type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion <input type="checkbox"/> réflexion <input type="checkbox"/> pénétration <input type="checkbox"/> fumigation
• <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i>	<input type="checkbox"/> meandering	
• <i>Fluctuations :</i>	<input type="checkbox"/> écart-type de concentration	<input type="checkbox"/> pdf de concentration
• <i>Chimie</i>	<input type="checkbox"/> chimie simplifiée	<input type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe
• <i>Déposition :</i>	<input type="checkbox"/> particules	<input type="checkbox"/> dépôt sec
	<input type="checkbox"/> sédimentation	<input type="checkbox"/> dépôt humide
• <i>Radioactivité :</i>	<input type="checkbox"/> déc. radioactive	<input type="checkbox"/> filiation radioactive <input type="checkbox"/> débit de dose

**Informations sur les données d'entrée :**

• <i>Données géographiques :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input type="checkbox"/> catégories de sol
• <i>Données météorologiques :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> mesures	<input type="checkbox"/> préprocesseur	<input type="checkbox"/> champ 3D
• <i>Données d'émission</i>	<input type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées	<input type="checkbox"/> modèle d'émission	

**Informations sur les données de sortie :**

• <i>Format des données :</i>	<input type="checkbox"/> fichiers ASCII	<input type="checkbox"/> cartographies	<input type="checkbox"/> tracés 3D	<input type="checkbox"/> Web
• <i>Grandeurs calculées :</i>	<input type="checkbox"/> concentration moyenne	<input type="checkbox"/> percentiles		
	<input type="checkbox"/> dépôt sec	<input type="checkbox"/> dépôt humide	<input type="checkbox"/> écart-type	
• <i>Répartition temporelle</i>	<input type="checkbox"/> moyenne par pas de temps	<input type="checkbox"/> moyenne annuelle	<input type="checkbox"/> fluctuations	



ACRONYME :

MOGUNTIA

**Modèle météorologique :****Diagnostic**• *Aucun modèle météorologique :* résultats de simulation mesures météorologiques• *Modèle diagnostique :* linéarisation des équations conservation de la masse modèle ID vertical• *Modèle prognostique :* hydrostatique incompressible maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :* terrain plat et homogène vallée isolée de profondeur modérée collines et vallées de pentes modérées terrain plat et non homogène colline isolée de pente modérée relief de montagne• *Prise en compte des obstacles :* rugosité obstacle isolé groupe d'obstacles• *Stratification atmosphérique :* atmosphère neutre atmosphère stable atmosphère convective brise de mer brise de vallée îlot de chaleur urbain• *Modèle de sol :* sol hétérogène échange de chaleur échange d'humidité• *Humidité atmosphérique :* atmosphère humide microphysique des nuages précipitations**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :* PC Mac Intosh station Unix calcul //• *Système d'exploitation :* DOS Windows Linux Unix• *Langage utilisé :* Fortran C Autre langage• *Interface utilisateur :* aucun (ASCII) intégré*logiciels de post traitement :*• *Temps de calcul par scénario :* < une seconde < une minute < une heure > une heure• *Modèles liés*

ACRONYME :

MOGUNTIA

• Références :

1. Crutzen, P.J. and L.T. Gidel, 1983: A two-dimensional photochemical model of the atmosphere. 2. The tropospheric budgets of the anthropogenic chlorocarbons, CO, CH<sub>4</sub>, CH<sub>3</sub>Cl and the effect of various NO<sub>x</sub> sources on tropospheric ozone. *J. Geophys. Res.*, 88, 6641-6661.
2. Crutzen P.J., and P.H. Zimmermann, *The changing photochemistry of the troposphere*, *Tellus*, 43 A/B, 136-151, 1991.
3. Dentener F.J., and P.J. Crutzen, *Reaction of N<sub>2</sub>O<sub>5</sub> on tropospheric aerosols: impact on the global distributions of NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub> and OH*, *J. Geophys. Res.*, 98, (D4), 7149-7163, 1993.
4. Dentener, F.J., Carmichael G.R. and Zhang Y., *The role of mineral aerosol as a reactive surface in the global troposphere*, *J. Geophys. Res.*, 96.
5. Feichter, J., and P.J. Crutzen, *Parameterization of vertical tracer transport due to deep cumulus convection in a global transport model and its evaluation with 222Rn measurements*, *Tellus*, 42B, 100-117, 1990.
6. Jacob, D.J. et al., *Evaluation and intercomparison of global atmospheric transport models using 222Rn and other short lived tracers*, *J. Geophys. Res.*, 102, (D5), 5953-5970, 1997.
7. Langner, J., H. Rodhe, P.J. Crutzen, P. Zimmermann; *Anthropogenic influence on the distribution of tropospheric sulfate aerosol*, *Nature* 359 (1992) 712-715.
8. Zimmermann, P.H., *MOGUNTIA: a handy global tracer model*, in *Air Pollution Modeling and its Applications VI*, edited by H. van Dop, pp.593-608, NATO/CCMS, Plenum, New York, 1988.
9. Zimmermann, P.H., J. Feichter, H.K. Rath, P.J. Crutzen, and W. Weiss, *A Global three-dimensional source receptor model investigation using 85Kr*, *Atmospheric Environment*, 23, No 1, 25-35, 1989.
10. Zimmermann, P.H., *The impact of aircraft released NO<sub>x</sub> to the tropospheric ozone budget*, In Schumann and Wurzel (eds.) , *Impact of Emissions from Aircraft and Spacecraft upon the Atmosphere*, DLR Mitteilungen 94-06, Oberpfaffenhofen und Köln, ISSN 0939-298X, 174-179, 1994.

ACRONYME :

MTDDIS

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	<b>Aucun</b>			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> Gaussien	<input type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> ponctuelle	<input type="checkbox"/> linéique	<input type="checkbox"/> surfacique	<input type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input type="checkbox"/> rejet continu	<input type="checkbox"/> rejet variable	<input checked="" type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input type="checkbox"/> locale	<input checked="" type="checkbox"/> urbaine	<input checked="" type="checkbox"/> régionale	<input type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input checked="" type="checkbox"/> horaire	<input checked="" type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input checked="" type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input type="checkbox"/> fluctuations
<input type="checkbox"/> visibilité de panache	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt	<input checked="" type="checkbox"/> chimie	<input type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>				
• <i>Distributeur du logiciel :</i>	Environmental Modeling & Analysis			
• <i>Contact :</i>	Dr. I. T. Wang	Tél.:	Fax :	
• <i>Type de licence :</i>	<input type="checkbox"/> accès libre	<input checked="" type="checkbox"/> accès contrôlé	<input type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input checked="" type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input type="checkbox"/> doc technique	<input type="checkbox"/> doc utilisateur	<input type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>				

ACRONYME :

MTDDIS

**Modèle de dispersion :**

- |   |  |   |
|---|--|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> gaussien <input type="checkbox"/> panache <input checked="" type="checkbox"/> bouffées<br>• <u>Modélisation des écarts-types :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input checked="" type="checkbox"/> par classes<br><input type="checkbox"/> continue | <input type="checkbox"/> eulérien 3D<br>• <u>Paramétrisation de la turbulence :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne | <input type="checkbox"/> lagrangien<br>• <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne |
|---|--|---|

**Phénomènes de dispersion représentés :**

- |   |  |  |
|---|--|--|
| • <i>Effets du relief :</i>                           | <input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo   | <input type="checkbox"/> modèle interne spécifique   |
| • <i>Effets des obstacles :</i>                       | <input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo   | <input type="checkbox"/> modèle interne spécifique   |
| • <i>Effets de la source :</i>                        | <input checked="" type="checkbox"/> source ponctuelle <input type="checkbox"/> source volumique<br><input type="checkbox"/> source linéique <input type="nd"/> source variable<br><input type="checkbox"/> source surfacique <input checked="" type="checkbox"/> source multiple | <input checked="" type="checkbox"/> surhauteur cinématique<br><input checked="" type="checkbox"/> surhauteur thermique<br><input type="checkbox"/> downwash/flagging |
| • <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>  | <input checked="" type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion<br><input checked="" type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion   | <input type="checkbox"/> réflexion<br><input type="checkbox"/> pénétration<br><input type="checkbox"/> fumigation  |
| • <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i> | <input type="nd"/> meandering  |  |
| • <i>Fluctuations :</i>                               | <input type="checkbox"/> écart-type de concentration   | <input type="checkbox"/> pdf de concentration  |
| • <i>Chimie</i>                                       | <input checked="" type="checkbox"/> chimie simplifiée  | <input type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe   |
| • <i>Déposition :</i>                                 | <input type="checkbox"/> particules<br><input type="checkbox"/> sédimentation  | <input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec<br><input checked="" type="checkbox"/> dépôt humide  |
| • <i>Radioactivité :</i>                              | <input type="nd"/> déc. radioactive  | <input type="nd"/> filiation radioactive <input type="nd"/> débit de dose  |

**Informations sur les données d'entrée :**

- |                                    |   |  |                                      |
|------------------------------------|---|--|--------------------------------------|
| • <i>Données géographiques :</i>   | <input type="nd"/> relief   | <input type="nd"/> obstacles               | <input type="nd"/> catégories de sol |
| • <i>Données météorologiques :</i> | <input checked="" type="checkbox"/> mesures                         | <input type="checkbox"/> préprocesseur     | <input type="checkbox"/> champ 3D    |
| • <i>Données d'émission</i>        | <input checked="" type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées | <input type="checkbox"/> modèle d'émission |                                      |

**Informations sur les données de sortie :**

- |                                 |  |  |                                     |                        |
|---------------------------------|--|--|-------------------------------------|------------------------|
| • <i>Format des données :</i>   | <input checked="" type="checkbox"/> fichiers ASCII           | <input type="nd"/> cartographies                 | <input type="nd"/> tracés 3D        | <input type="nd"/> Web |
| • <i>Grandeurs calculées :</i>  | <input checked="" type="checkbox"/> concentration moyenne    | <input type="nd"/> percentiles                   |                                     |                        |
|                                 | <input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec                | <input checked="" type="checkbox"/> dépôt humide | <input type="checkbox"/> écart-type |                        |
| • <i>Répartition temporelle</i> | <input checked="" type="checkbox"/> moyenne par pas de temps | <input type="nd"/> moyenne annuelle              | <input type="nd"/> fluctuations     |                        |

ACRONYME :

MTDDIS

**Modèle météorologique :**

Aucun

• *Aucun modèle météorologique :*

- résultats de simulation  
 mesures météorologiques

• *Modèle diagnostique :*

- linéarisation des équations  
 conservation de la masse  
 modèle ID vertical

• *Modèle prognostique :*

- hydrostatique  
 incompressible

 maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :*

- terrain plat et homogène  
 terrain plat et non homogène  
 vallée isolée de profondeur modérée  
 colline isolée de pente modérée  
 collines et vallées de pentes modérées  
 relief de montagne

• *Prise en compte des obstacles :*

- rugosité  
 obstacle isolé  
 groupe d'obstacles

• *Stratification atmosphérique :*

- atmosphère neutre  
 atmosphère stable  
 atmosphère convective  
 brise de mer  
 brise de vallée  
 îlot de chaleur urbain

• *Modèle de sol :*

- sol hétérogène  
 échange de chaleur  
 échange d'humidité

• *Humidité atmosphérique :*

- atmosphère humide  
 microphysique des nuages  
 précipitations

**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :* PC  Mac Intosh  station Unix  calcul //• *Système d'exploitation :* DOS  Windows  Linux  Unix• *Langage utilisé :* Fortran  C  Autre langage• *Interface utilisateur :* aucun (ASCII)  intégré*logiciels de post traitement :*• *Temps de calcul par scénario :* < une seconde  < une minute  < une heure  > une heure• *Modèles liés*

ACRONYME :

MTDDIS

- Références :

Carhart, R.A., A.J. Policastro, M. Wastag and L. Coke, 1989. *Evaluation of Eight Short-Term Long-Range Transport Models Using Field Data. Atmos. Environ.*, 23: 85-105.

ACRONYME :

MUSE

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	<b>Aucun</b>			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input type="checkbox"/> Gaussien	<input checked="" type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input type="checkbox"/> ponctuelle	<input type="checkbox"/> linéique	<input checked="" type="checkbox"/> surfacique	<input type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input checked="" type="checkbox"/> rejet continu	<input checked="" type="checkbox"/> rejet variable	<input checked="" type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input type="checkbox"/> locale	<input type="checkbox"/> urbaine	<input checked="" type="checkbox"/> régionale	<input type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input checked="" type="checkbox"/> horaire	<input type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input checked="" type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input type="checkbox"/> fluctuations
<input type="checkbox"/> visibilité de panache	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt	<input checked="" type="checkbox"/> chimie	<input type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>	LHTEE - University of Thessaloniki - Grèce <a href="http://aix.meng.auth.gr/lhtee/projects/">http://aix.meng.auth.gr/lhtee/projects/</a>			
• <i>Distributeur du logiciel :</i>				
• <i>Contact :</i>	Tél.:		Fax :	
• <i>Type de licence :</i>	<input type="checkbox"/> accès libre	<input checked="" type="checkbox"/> accès contrôlé	<input type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input type="checkbox"/> doc technique	<input type="checkbox"/> doc utilisateur	<input type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>				

ACRONYME :

MUSE

**Modèle de dispersion :**

<input type="checkbox"/> gaussien <input type="checkbox"/> panache <input type="checkbox"/> bouffées	<input checked="" type="checkbox"/> eulérien 3D	<input type="checkbox"/> lagrangien
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Modélisation des écarts-types :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> par classes</li> <li><input type="checkbox"/> continue</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>

**Phénomènes de dispersion représentés :**

• <i>Effets du relief :</i>	<input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets des obstacles :</i>	<input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets de la source :</i>	<input type="checkbox"/> source ponctuelle <input type="checkbox"/> source volumique <input type="checkbox"/> surhauteur cinématique <input type="checkbox"/> source linéique <input checked="" type="checkbox"/> source variable <input type="checkbox"/> surhauteur thermique <input checked="" type="checkbox"/> source surfacique <input checked="" type="checkbox"/> source multiple <input type="checkbox"/> downwash/flagging	
• <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>	<input type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion	<input type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion <input type="checkbox"/> réflexion <input type="checkbox"/> pénétration <input type="checkbox"/> fumigation
• <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i>	<input type="checkbox"/> meandering	
• <i>Fluctuations :</i>	<input type="checkbox"/> écart-type de concentration	<input type="checkbox"/> pdf de concentration
• <i>Chimie</i>	<input type="checkbox"/> chimie simplifiée	<input checked="" type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe
• <i>Déposition :</i>	<input type="checkbox"/> particules <input type="checkbox"/> sédimentation	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec <input type="checkbox"/> dépôt humide
• <i>Radioactivité :</i>	<input type="checkbox"/> déc. radioactive	<input type="checkbox"/> filiation radioactive <input type="checkbox"/> débit de dose

**Informations sur les données d'entrée :**

• <i>Données géographiques :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input checked="" type="checkbox"/> catégories de sol
• <i>Données météorologiques :</i>	<input type="checkbox"/> mesures	<input type="checkbox"/> préprocesseur	<input type="checkbox"/> champ 3D
• <i>Données d'émission</i>	<input type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées	<input type="checkbox"/> modèle d'émission	

**Informations sur les données de sortie :**

• <i>Format des données :</i>	<input type="checkbox"/> fichiers ASCII	<input type="checkbox"/> cartographies	<input type="checkbox"/> tracés 3D	<input type="checkbox"/> Web
• <i>Grandeurs calculées :</i>	<input type="checkbox"/> concentration moyenne	<input type="checkbox"/> percentiles		
	<input type="checkbox"/> dépôt sec	<input type="checkbox"/> dépôt humide	<input type="checkbox"/> écart-type	
• <i>Répartition temporelle</i>	<input checked="" type="checkbox"/> moyenne par pas de temps	<input type="checkbox"/> moyenne annuelle	<input type="checkbox"/> fluctuations	



ACRONYME :

MUSE

**Modèle météorologique :**

Aucun

• *Aucun modèle météorologique :* résultats de simulation mesures météorologiques• *Modèle diagnostique :* linéarisation des équations conservation de la masse modèle ID vertical• *Modèle prognostique :* hydrostatique incompressible maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :* terrain plat et homogène vallée isolée de profondeur modérée collines et vallées de pentes modérées terrain plat et non homogène colline isolée de pente modérée relief de montagne• *Prise en compte des obstacles :* rugosité obstacle isolé groupe d'obstacles• *Stratification atmosphérique :* atmosphère neutre atmosphère stable atmosphère convective brise de mer brise de vallée îlot de chaleur urbain• *Modèle de sol :* sol hétérogène échange de chaleur échange d'humidité• *Humidité atmosphérique :* atmosphère humide microphysique des nuages précipitations**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :* PC Mac Intosh station Unix calcul //• *Système d'exploitation :* DOS Windows Linux Unix• *Langage utilisé :* Fortran C Autre langage• *Interface utilisateur :* aucun (ASCII) intégré*logiciels de post traitement :*• *Temps de calcul par scénario :* < une seconde < une minute < une heure > une heure• *Modèles liés**Modèles de chimie : EMEP - KOREM - RADM2 - RACM*

ACRONYME :

MUSE

- *Références :*

Sahm P. and Moussiopoulos N. (1995), *MUSE - a multilayer dispersion model for reactive pollutants*, in *Air Pollution III* (H. Power, N. Moussiopoulos and C.A. Brebbia, eds), Computational Mechanics Publications, Southampton, Vol. 1, 359-368.

Sahm P. (1997), *Kopplung eines nicht-hydrostatischen prognostischen Grenzschichtmodells und eines mesoskaligen Ausbreitungsmodells fuer reaktive Stoffe*, PhD Thesis.

Sahm P., Kirchner F. and Moussiopoulos N. (1997), *Development and Validation of the Multilayer Model MUSE - The Impact of the Chemical Reaction Mechanism on Air Quality Predictions*, Proceedings of the 22nd NATO/CCMS International Technical Meeting on Air Pollution Modelling and its Application, Clermont-Ferrand, France, June 2-6, 1997.

Moussiopoulos N., Sahm P., Karatzas K., Papalexioiu S. and Karagiannidis A. (1997), *Analysis of the impact of the new Athens airport to urban air quality with contemporary air pollution models*, *Int. J. Environment and Pollution* 7, Nos. 3-6, 427-435.

Moussiopoulos N. and Papagrigoriou S., eds. (1997), *Athens 2004 Air Quality, Proceedings of the International Scientific Workshop "Athens 2004 Air Quality Study"*, Athens, 18-19 February 1997, 183 pp.

Available also as a CD-ROM from <http://www.envirocomp.org/>

ACRONYME :

OCD

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	<b>Aucun</b>			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> Gaussien	<input type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> ponctuelle	<input checked="" type="checkbox"/> linéique	<input checked="" type="checkbox"/> surfacique	<input type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input checked="" type="checkbox"/> rejet continu	<input type="checkbox"/> rejet variable	<input checked="" type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> locale	<input checked="" type="checkbox"/> urbaine	<input type="checkbox"/> régionale	<input type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input checked="" type="checkbox"/> horaire	<input type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input type="checkbox"/> relief	<input checked="" type="checkbox"/> obstacles	<input checked="" type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input type="checkbox"/> fluctuations
<input type="checkbox"/> visibilité de panache	<input type="checkbox"/> dépôt	<input checked="" type="checkbox"/> chimie	<input type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>	Environmental Protection Agency <a href="http://www.epa.gov/scram001/">http://www.epa.gov/scram001/</a>			
• <i>Distributeur du logiciel :</i>				
• <i>Contact :</i>	Tél.:		Fax :	
• <i>Type de licence :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> accès libre	<input type="checkbox"/> accès contrôlé	<input type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input checked="" type="checkbox"/> doc technique	<input checked="" type="checkbox"/> doc utilisateur	<input checked="" type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>	Modèle recommandé par l'Environmental Protection Agency			

ACRONYME :

OCD

**Modèle de dispersion :**

<input checked="" type="checkbox"/> gaussien	<input checked="" type="checkbox"/> panache	<input type="checkbox"/> bouffées	<input type="checkbox"/> eulérien 3D	<input type="checkbox"/> lagrangien
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Modélisation des écarts-types :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> par classes</li> <li><input type="checkbox"/> continue</li> </ul> </li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>				

**Phénomènes de dispersion représentés :**

• <i>Effets du relief :</i>	<input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets des obstacles :</i>	<input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input checked="" type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> source ponctuelle <input type="checkbox"/> source volumique <input checked="" type="checkbox"/> surhauteur cinématique <input checked="" type="checkbox"/> source linéique <input type="checkbox"/> source variable <input checked="" type="checkbox"/> surhauteur thermique <input checked="" type="checkbox"/> source surfacique <input checked="" type="checkbox"/> source multiple <input type="checkbox"/> downwash/flagging	
• <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion	<input checked="" type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion <input checked="" type="checkbox"/> réflexion <input checked="" type="checkbox"/> pénétration <input checked="" type="checkbox"/> fumigation
• <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i>	<input type="checkbox"/> meandering	
• <i>Fluctuations :</i>	<input type="checkbox"/> écart-type de concentration	<input type="checkbox"/> pdf de concentration
• <i>Chimie</i>	<input checked="" type="checkbox"/> chimie simplifiée	<input type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe
• <i>Déposition :</i>	<input type="checkbox"/> particules	<input type="checkbox"/> dépôt sec
	<input type="checkbox"/> sédimentation	<input type="checkbox"/> dépôt humide
• <i>Radioactivité :</i>	<input type="checkbox"/> déc. radioactive	<input type="checkbox"/> filiation radioactive <input type="checkbox"/> débit de dose

**Informations sur les données d'entrée :**

• <i>Données géographiques :</i>	<input type="checkbox"/> relief	<input checked="" type="checkbox"/> obstacles	<input type="checkbox"/> catégories de sol
• <i>Données météorologiques :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> mesures	<input type="checkbox"/> préprocesseur	<input type="checkbox"/> champ 3D
• <i>Données d'émission</i>	<input checked="" type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées	<input type="checkbox"/> modèle d'émission	

**Informations sur les données de sortie :**

• <i>Format des données :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> fichiers ASCII	<input type="checkbox"/> cartographies	<input type="checkbox"/> tracés 3D	<input type="checkbox"/> Web
• <i>Grandeurs calculées :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> concentration moyenne	<input type="checkbox"/> percentiles		
	<input type="checkbox"/> dépôt sec	<input type="checkbox"/> dépôt humide	<input type="checkbox"/> écart-type	
• <i>Répartition temporelle</i>	<input checked="" type="checkbox"/> moyenne par pas de temps	<input type="checkbox"/> moyenne annuelle	<input type="checkbox"/> fluctuations	

ACRONYME :

OCD

**Modèle météorologique :**

Aucun

• *Aucun modèle météorologique :*

- résultats de simulation
- mesures météorologiques

• *Modèle diagnostique :*

- linéarisation des équations
- conservation de la masse
- modèle ID vertical

• *Modèle prognostique :*

- hydrostatique
- incompressible

 maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :*

- terrain plat et homogène
- terrain plat et non homogène
- vallée isolée de profondeur modérée
- colline isolée de pente modérée
- collines et vallées de pentes modérées
- relief de montagne

• *Prise en compte des obstacles :*

- rugosité
- obstacle isolé
- groupe d'obstacles

• *Stratification atmosphérique :*

- atmosphère neutre
- atmosphère stable
- atmosphère convective
- brise de mer
- brise de vallée
- îlot de chaleur urbain

• *Modèle de sol :*

- sol hétérogène
- échange de chaleur
- échange d'humidité

• *Humidité atmosphérique :*

- atmosphère humide
- microphysique des nuages
- précipitations

**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :* PC Mac Intosh station Unix calcul //• *Système d'exploitation :* DOS Windows Linux Unix• *Langage utilisé :* Fortran C Autre langage• *Interface utilisateur :* aucun (ASCII) intégrélogiciels de post traitement :  
ANALYSIS (?)• *Temps de calcul par scénario :* < une seconde < une minute < une heure > une heure• *Modèles liés*

ACRONYME :

OCD

- Références :

*DiCristofaro, D.C. and S.R. Hanna, 1989. OCD: The Offshore and Coastal Dispersion Model. Volume I: User's Guide. Sigma Research Corporation, Westford, MA.*

*Hanna, S.R., L.L. Schulman, R.J. Paine and J.E. Pleim, 1984. The Offshore and Coastal Dispersion (OCD) Model User's Guide, Revised. OCS Study, MMS 84-0069. Environmental Research & Technology, Inc., Concord, MA. (NTIS No. PB 86-159803)*

*Hanna, S.R., L.L. Schulman, R.J. Paine, J.E. Pleim and M. Baer, 1985. Development and Evaluation of the Offshore and Coastal Dispersion (OCD) Model. Journal of the Air Pollution Control Association, 35: 1039-1047.*

*Hanna, S.R. and D.C. DiCristofaro, 1988. Development and Evaluation of the OCD/API Model. Final Report, API Pub. 4461, American Petroleum Institute, Washington, D.C.*

ACRONYME :

ODO-FMI

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	Aucun			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input type="checkbox"/> Gaussien	<input type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> ponctuelle	<input type="checkbox"/> linéique	<input checked="" type="checkbox"/> surfacique	<input checked="" type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input type="checkbox"/> rejet continu	<input type="checkbox"/> rejet variable	<input type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input type="checkbox"/> locale	<input type="checkbox"/> urbaine	<input type="checkbox"/> régionale	<input type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input type="checkbox"/> horaire	<input type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input checked="" type="checkbox"/> fluctuations
<input type="checkbox"/> visibilité de panache	<input type="checkbox"/> dépôt	<input type="checkbox"/> chimie	<input type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>	Finnish Meteorological Institute <a href="http://www.fmi.fi/research_air/air_15.html">http://www.fmi.fi/research_air/air_15.html</a>			
• <i>Distributeur du logiciel :</i>				
• <i>Contact :</i>	Tél.:		Fax :	
• <i>Type de licence :</i>	<input type="checkbox"/> accès libre	<input type="checkbox"/> accès contrôlé	<input type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input type="checkbox"/> doc technique	<input type="checkbox"/> doc utilisateur	<input type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>				

ACRONYME :

ODO-FMI

**Modèle de dispersion :**

<input type="checkbox"/> gaussien	<input type="checkbox"/> panache	<input type="checkbox"/> bouffées	<input type="checkbox"/> eulérien 3D	<input type="checkbox"/> lagrangien
<ul style="list-style-type: none"> <li><u>Modélisation des écarts-types :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> par classes</li> <li><input type="checkbox"/> continue</li> </ul> </li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li><u>Paramétrisation de la turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li><u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>				

**Phénomènes de dispersion représentés :**

• Effets du relief :	<input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• Effets des obstacles :	<input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• Effets de la source :	<input checked="" type="checkbox"/> source ponctuelle <input type="checkbox"/> source linéique <input checked="" type="checkbox"/> source surfacique	<input checked="" type="checkbox"/> source volumique <input type="checkbox"/> source variable <input type="checkbox"/> source multiple <input type="checkbox"/> surhauteur cinématique <input type="checkbox"/> surhauteur thermique <input type="checkbox"/> downwash/flagging
• Effets de la stratification atmosphérique :	<input type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion	<input type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion <input type="checkbox"/> réflexion <input type="checkbox"/> pénétration <input type="checkbox"/> fumigation
• Variabilité des conditions météorologiques :	<input checked="" type="checkbox"/> meandering	
• Fluctuations :	<input type="checkbox"/> écart-type de concentration	<input checked="" type="checkbox"/> pdf de concentration
• Chimie	<input type="checkbox"/> chimie simplifiée	<input type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe
• Déposition :	<input type="checkbox"/> particules <input type="checkbox"/> sédimentation	<input type="checkbox"/> dépôt sec <input type="checkbox"/> dépôt humide
• Radioactivité :	<input type="checkbox"/> déc. radioactive	<input type="checkbox"/> filiation radioactive <input type="checkbox"/> débit de dose

**Informations sur les données d'entrée :**

• Données géographiques :	<input type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input type="checkbox"/> catégories de sol
• Données météorologiques :	<input type="checkbox"/> mesures	<input type="checkbox"/> préprocesseur	<input type="checkbox"/> champ 3D
• Données d'émission	<input type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées	<input type="checkbox"/> modèle d'émission	

**Informations sur les données de sortie :**

• Format des données :	<input type="checkbox"/> fichiers ASCII	<input type="checkbox"/> cartographies	<input type="checkbox"/> tracés 3D	<input type="checkbox"/> Web
• Grandeurs calculées :	<input type="checkbox"/> concentration moyenne	<input type="checkbox"/> percentiles	<input type="checkbox"/> dépôt sec	<input type="checkbox"/> dépôt humide
• Répartition temporelle	<input type="checkbox"/> moyenne par pas de temps	<input type="checkbox"/> moyenne annuelle	<input type="checkbox"/> fluctuations	



ACRONYME :

ODO-FMI

**Modèle météorologique :**

Aucun

• *Aucun modèle météorologique :* résultats de simulation mesures météorologiques• *Modèle diagnostique :* linéarisation des équations conservation de la masse modèle ID vertical• *Modèle prognostique :* hydrostatique incompressible maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :* terrain plat et homogène vallée isolée de profondeur modérée collines et vallées de pentes modérées terrain plat et non homogène colline isolée de pente modérée relief de montagne• *Prise en compte des obstacles :* rugosité obstacle isolé groupe d'obstacles• *Stratification atmosphérique :* atmosphère neutre atmosphère stable atmosphère convective brise de mer brise de vallée îlot de chaleur urbain• *Modèle de sol :* sol hétérogène échange de chaleur échange d'humidité• *Humidité atmosphérique :* atmosphère humide microphysique des nuages précipitations**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :* PC Mac Intosh station Unix calcul //• *Système d'exploitation :* DOS Windows Linux Unix• *Langage utilisé :* Fortran C Autre langage• *Interface utilisateur :* aucun (ASCII) intégré*logiciels de post traitement :*• *Temps de calcul par scénario :* < une seconde < une minute < une heure > une heure• *Modèles liés*

ACRONYME :

ODO-FMI

- Références :

Savunen, T. and Rantakrans, E., 1995. Odour dispersion model. In: Anttila, P. et al. (eds.), *Proceedings of the 10th World Clean Air Congress, Espoo, Finland, May 28 - June 2, 1995. Vol. 2. The Finnish Air Pollution Prevention Society, Helsinki, p. 267 (3 pages).*

Rantakrans, E. & Savunen, T., 1995. *Hajuyhdisteiden leviämisen arviointi (Modelling of the dispersion of odours, in Finnish). Finnish Meteorological Institute, Publications on Air Quality 21. Helsinki, 70 s.*

Hanna, S.R., 1986. *Spectra of concentration fluctuations:the two time scales of a meandering plume. Atmos. Environ.20:6, 1131-1137.*

Savunen, T. and Rantakrans, E., 1998. *The Description and Application of an Odour Dispersion Model. In: 23rd NATO/CCMS International Technical Meeting on Air Pollution Modelling and its Application. Sept. 28 - Oct. 2, 1998. Varna, Bulgaria. Pre prints, Vol. I pp. 105-112.*

ACRONYME :

OML

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	<b>Diagnostic</b>			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> Gaussien	<input type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> ponctuelle	<input type="checkbox"/> linéique	<input checked="" type="checkbox"/> surfacique	<input type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input checked="" type="checkbox"/> rejet continu	<input type="checkbox"/> rejet variable	<input checked="" type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> locale	<input checked="" type="checkbox"/> urbaine	<input type="checkbox"/> régionale	<input type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input checked="" type="checkbox"/> horaire	<input type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input type="checkbox"/> relief	<input checked="" type="checkbox"/> obstacles	<input checked="" type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input type="checkbox"/> fluctuations
<input type="checkbox"/> visibilité de panache	<input type="checkbox"/> dépôt	<input type="checkbox"/> chimie	<input type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>	National Environmental Research Institute o denmark <a href="http://www.dmu.dk/forside_en.asp">http://www.dmu.dk/forside_en.asp</a>			
• <i>Distributeur du logiciel :</i>	National Environmental Research Institute o denmark <a href="http://www.dmu.dk/1_Viden/2_Miljoe-tilstand/3_luft/4_spredningsmodeller/5_OML/OMLlong_en.asp">http://www.dmu.dk/1_Viden/2_Miljoe-tilstand/3_luft/4_spredningsmodeller/5_OML/OMLlong_en.asp</a>			
• <i>Contact :</i>	<a href="http://hro@dmu.dk">http://hro@dmu.dk</a>		Tél.:	Fax :
• <i>Type de licence :</i>	<input type="checkbox"/> accès libre	<input checked="" type="checkbox"/> accès contrôlé	<input checked="" type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input checked="" type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input checked="" type="checkbox"/> doc technique	<input checked="" type="checkbox"/> doc utilisateur	<input type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>				

ACRONYME :

OML

**Modèle de dispersion :**

- |   |  |   |
|---|--|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> gaussien <input checked="" type="checkbox"/> panache <input type="checkbox"/> bouffées<br>• <u>Modélisation des écarts-types :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input type="checkbox"/> par classes<br><input checked="" type="checkbox"/> continue | <input type="checkbox"/> eulérien 3D<br>• <u>Paramétrisation de la turbulence :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne | <input type="checkbox"/> lagrangien<br>• <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne |
|---|--|---|

**Phénomènes de dispersion représentés :**

- |   |   |  |
|---|---|--|
| • <i>Effets du relief :</i>                           | <input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo  | <input type="checkbox"/> modèle interne spécifique   |
| • <i>Effets des obstacles :</i>                       | <input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo  | <input checked="" type="checkbox"/> modèle interne spécifique  |
| • <i>Effets de la source :</i>                        | <input checked="" type="checkbox"/> source ponctuelle <input type="checkbox"/> source volumique<br><input type="checkbox"/> source linéique <input type="checkbox"/> source variable<br><input checked="" type="checkbox"/> source surfacique <input checked="" type="checkbox"/> source multiple | <input checked="" type="checkbox"/> surhauteur cinématique<br><input checked="" type="checkbox"/> surhauteur thermique<br><input type="checkbox"/> downwash/flagging   |
| • <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>  | <input checked="" type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion   | <input checked="" type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion<br><input checked="" type="checkbox"/> réflexion<br><input checked="" type="checkbox"/> pénétration<br><input type="checkbox"/> fumigation |
| • <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i> | <input type="checkbox"/> meandering   |  |
| • <i>Fluctuations :</i>                               | <input type="checkbox"/> écart-type de concentration  | <input type="checkbox"/> pdf de concentration  |
| • <i>Chimie</i>                                       | <input type="checkbox"/> chimie simplifiée  | <input type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe   |
| • <i>Déposition :</i>                                 | <input type="checkbox"/> particules<br><input type="checkbox"/> sédimentation   | <input type="checkbox"/> dépôt sec<br><input type="checkbox"/> dépôt humide  |
| • <i>Radioactivité :</i>                              | <input type="checkbox"/> déc. radioactive   | <input type="checkbox"/> filiation radioactive <input type="checkbox"/> débit de dose  |

**Informations sur les données d'entrée :**

- |                                    |   |   |  |
|------------------------------------|---|---|--|
| • <i>Données géographiques :</i>   | <input type="checkbox"/> relief                                     | <input checked="" type="checkbox"/> obstacles     | <input type="checkbox"/> catégories de sol |
| • <i>Données météorologiques :</i> | <input checked="" type="checkbox"/> mesures                         | <input checked="" type="checkbox"/> préprocesseur | <input type="checkbox"/> champ 3D          |
| • <i>Données d'émission</i>        | <input checked="" type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées | <input type="checkbox"/> modèle d'émission        |  |

**Informations sur les données de sortie :**

- |                                 |  |  |                                     |                                       |
|---------------------------------|--|--|-------------------------------------|---------------------------------------|
| • <i>Format des données :</i>   | <input checked="" type="checkbox"/> fichiers ASCII           | <input type="checkbox"/> cartographies               | <input type="checkbox"/> tracés 3D  | <input type="checkbox"/> Web          |
| • <i>Grandeurs calculées :</i>  | <input checked="" type="checkbox"/> concentration moyenne    | <input checked="" type="checkbox"/> percentiles      | <input type="checkbox"/> dépôt sec  | <input type="checkbox"/> dépôt humide |
| • <i>Répartition temporelle</i> | <input checked="" type="checkbox"/> moyenne par pas de temps | <input checked="" type="checkbox"/> moyenne annuelle | <input type="checkbox"/> écart-type | <input type="checkbox"/> fluctuations |

ACRONYME :

OML

**Modèle météorologique :****Diagnostic**• *Aucun modèle météorologique :*

- résultats de simulation  
 mesures météorologiques

• *Modèle diagnostique :*

- linéarisation des équations  
 conservation de la masse  
 modèle ID vertical

• *Modèle prognostique :*

- hydrostatique  
 incompressible

 maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :*

- terrain plat et homogène  
 terrain plat et non homogène  
 vallée isolée de profondeur modérée  
 colline isolée de pente modérée  
 collines et vallées de pentes modérées  
 relief de montagne

• *Prise en compte des obstacles :*

- rugosité  
 obstacle isolé  
 groupe d'obstacles

• *Stratification atmosphérique :*

- atmosphère neutre  
 atmosphère stable  
 atmosphère convective  
 brise de mer  
 brise de vallée  
 îlot de chaleur urbain

• *Modèle de sol :*

- sol hétérogène  
 échange de chaleur  
 échange d'humidité

• *Humidité atmosphérique :*

- atmosphère humide  
 microphysique des nuages  
 précipitations

**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :*

- PC  
 Mac Intosh  
 station Unix  
 calcul //

• *Système d'exploitation :*

- DOS  
 Windows  
 Linux  
 Unix

• *Langage utilisé :*

- Fortran  
 C  
 Autre langage

• *Interface utilisateur :*

- aucun (ASCII)  
 intégré

*logiciels de post traitement :*• *Temps de calcul par scénario :*

- < une seconde  
 < une minute  
 < une heure  
 > une heure

• *Modèles liés*

ACRONYME :

OML

- Références :

*Berkowicz, R. and Prahm, L.P. (1982): Sensible heat flux estimated from routine meteorological data by the resistance method. J.App.Met. 21, 1845-1864.*

*Berkowicz, R., Olesen, H.R. and Torp, U. (1986): The Danish Gaussian air pollution model (OML): Description, test and sensitivity analysis in view of regulatory applications. In: Air Pollution Modeling and its Application V. C. De Wispelaere, F. A. Schiermeier, and N.V. Gillani (eds.). Plenum Press, New York.*

*Lofstrom, P., and Olesen, H.R. (1994, 4. edition): User's Guide for OML-Multi. An air pollution model for multiple point and area sources. MST LUFT-A 126. National Environmental Research Institute, DK-4000 Roskilde, Denmark.*

*Olesen, H.R. and Brown, N. (1992, 2. edition): The OML meteorological preprocessor - a software package for the preparation of meteorological data for dispersion models. MST LUFT-A 122. National Environmental Research Institute, DK-4000 Roskilde, Denmark*

*Olesen, H.R., Lofstrom, P., Berkowicz, R. and Jensen, A.B. (1992): An improved dispersion model for regulatory use - the OML model. In: Air Pollution Modeling and its Application IX, H. van Dop and G. Kallos (eds.). Plenum Press, New York.*

*Olesen, H.R. (1993, reprint): User's Guide for OML-Point. An air pollution model for point sources. MST LUFT-A 125. National Environmental Research Institute, DK-4000 Roskilde, Denmark.*

*Olesen, H.R., 1995a, Regulatory Dispersion Modelling in Denmark. Workshop on Operational Short-range Atmospheric Dispersion Models for Environmental Impact Assessment in Europe, Mol, Belgium, Nov. 1994, Int. J. Environment and Pollution, Vol. 5, Nos. 4-6, 412-417.*

*Olesen, H.R., 1995b, The model validation exercise at Mol. Overview of results. Workshop on Operational Short-range Atmospheric Dispersion Models for Environmental Impact Assessment in Europe, Mol, Belgium, Nov. 1994, Int. J. Environment and Pollution, Vol. 5, Nos. 4-6, pp. 761-784.*

ACRONYME :

OND-86

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	<b>Aucun</b>			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input type="checkbox"/> Gaussien	<input type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input type="checkbox"/> Lagrangien	<input checked="" type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> ponctuelle	<input type="checkbox"/> linéique	<input type="checkbox"/> surfacique	<input type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input type="checkbox"/> rejet continu	<input type="checkbox"/> rejet variable	<input type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> locale	<input checked="" type="checkbox"/> urbaine	<input type="checkbox"/> régionale	<input type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input checked="" type="checkbox"/> horaire	<input type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input checked="" type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input checked="" type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input type="checkbox"/> fluctuations
<input type="checkbox"/> visibilité de panache	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt	<input type="checkbox"/> chimie	<input type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>	Air Pollution Modeling and Forecasting Laboratory - Main Geophysical Observatory - St Petersburg - Russie			
• <i>Distributeur du logiciel :</i>				
• <i>Contact :</i>	Tél.:		Fax :	
• <i>Type de licence :</i>	<input type="checkbox"/> accès libre	<input type="checkbox"/> accès contrôlé	<input checked="" type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input type="checkbox"/> doc technique	<input type="checkbox"/> doc utilisateur	<input type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>				

ACRONYME :

OND-86

**Modèle de dispersion :**

- |  |  |   |
|--|--|---|
| <input type="checkbox"/> gaussien <input type="checkbox"/> panache <input type="checkbox"/> bouffées<br>• <u>Modélisation des écarts-types :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input type="checkbox"/> par classes<br><input type="checkbox"/> continue | <input type="checkbox"/> eulérien 3D<br>• <u>Paramétrisation de la turbulence :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne | <input type="checkbox"/> lagrangien<br>• <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne |
|--|--|---|

**Phénomènes de dispersion représentés :**

- |   |   |   |
|---|---|---|
| • <i>Effets du relief :</i>                           | <input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo  | <input checked="" type="checkbox"/> modèle interne spécifique   |
| • <i>Effets des obstacles :</i>                       | <input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo  | <input type="checkbox"/> modèle interne spécifique  |
| • <i>Effets de la source :</i>                        | <input checked="" type="checkbox"/> source ponctuelle <input type="checkbox"/> source volumique<br><input type="checkbox"/> source linéique <input type="checkbox"/> source variable<br><input type="checkbox"/> source surfacique <input type="checkbox"/> source multiple | <input checked="" type="checkbox"/> surhauteur cinématique<br><input checked="" type="checkbox"/> surhauteur thermique<br><input type="checkbox"/> downwash/flagging              |
| • <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>  | <input type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion  | <input type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion<br><input type="checkbox"/> réflexion<br><input type="checkbox"/> pénétration<br><input type="checkbox"/> fumigation |
| • <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i> | <input type="checkbox"/> meandering   |   |
| • <i>Fluctuations :</i>                               | <input type="checkbox"/> écart-type de concentration  | <input type="checkbox"/> pdf de concentration   |
| • <i>Chimie</i>                                       | <input type="checkbox"/> chimie simplifiée  | <input type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe  |
| • <i>Déposition :</i>                                 | <input checked="" type="checkbox"/> particules<br><input checked="" type="checkbox"/> sédimentation   | <input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec<br><input type="checkbox"/> dépôt humide  |
| • <i>Radioactivité :</i>                              | <input type="checkbox"/> déc. radioactive   | <input type="checkbox"/> filiation radioactive<br><input type="checkbox"/> débit de dose  |

**Informations sur les données d'entrée :**

- |                                    |   |   |  |
|------------------------------------|---|---|--|
| • <i>Données géographiques :</i>   | <input checked="" type="checkbox"/> relief                          | <input checked="" type="checkbox"/> obstacles | <input type="checkbox"/> catégories de sol |
| • <i>Données météorologiques :</i> | <input type="checkbox"/> mesures                                    | <input type="checkbox"/> préprocesseur        | <input type="checkbox"/> champ 3D          |
| • <i>Données d'émission</i>        | <input checked="" type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées | <input type="checkbox"/> modèle d'émission    |  |

**Informations sur les données de sortie :**

- |                                 |   |   |  |                                       |
|---------------------------------|---|---|--|---------------------------------------|
| • <i>Format des données :</i>   | <input type="checkbox"/> fichiers ASCII                   | <input type="checkbox"/> cartographies          | <input type="checkbox"/> tracés 3D               | <input type="checkbox"/> Web          |
| • <i>Grandeurs calculées :</i>  | <input checked="" type="checkbox"/> concentration moyenne | <input checked="" type="checkbox"/> percentiles | <input type="checkbox"/> dépôt sec               | <input type="checkbox"/> dépôt humide |
| • <i>Répartition temporelle</i> | <input type="checkbox"/> moyenne par pas de temps         | <input type="checkbox"/> moyenne annuelle       | <input checked="" type="checkbox"/> fluctuations |                                       |



ACRONYME :

OND-86

**Modèle météorologique :****Aucun**• *Aucun modèle météorologique :*

- résultats de simulation
- mesures météorologiques

• *Modèle diagnostique :*

- linéarisation des équations
- conservation de la masse
- modèle ID vertical

• *Modèle prognostique :*

- hydrostatique
- incompressible

 maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :*

- terrain plat et homogène       terrain plat et non homogène
- vallée isolée de profondeur modérée       colline isolée de pente modérée
- collines et vallées de pentes modérées       relief de montagne

• *Prise en compte des obstacles :*

- rugosité       obstacle isolé       groupe d'obstacles

• *Stratification atmosphérique :*

- atmosphère neutre       brise de mer
- atmosphère stable       brise de vallée
- atmosphère convective       îlot de chaleur urbain

• *Modèle de sol :*

- sol hétérogène       échange de chaleur       échange d'humidité

• *Humidité atmosphérique :*

- atmosphère humide       microphysique des nuages       précipitations

**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :*

- PC       Mac Intosh       station Unix       calcul //

• *Système d'exploitation :*

- DOS       Windows       Linux       Unix

• *Langage utilisé :*

- Fortran       C       Autre langage

• *Interface utilisateur :*

- aucun (ASCII)       intégré

*logiciels de post traitement :*• *Temps de calcul par scénario :*

- < une seconde       < une minute       < une heure       > une heure

• *Modèles liés*

ACRONYME :

OND-86

- Références :

*Berlyand, M.E. (1975) Modern Problems of Atmospheric Diffusion and Air Pollution, Hydrometeorological Publishing House, Leningrad. 448 p. (in Russian)*

*Berlyand, M.E. (1982) Moderne Problemen der atmosphärischen Diffusion und der Verschmutzung der Atmosphäre, Akademie-Verlag, Berlin. 435 s.*

*Berlyand, M.E., Gasilina, N.K., Genikhovich, E.L., Onikul, R.I. & Glukharev, V.A. (Ed) (1987) Method for Calculation of Concentrations of Air Pollutants the Industrial Emission Contains. All - Union Regulatory Document OND - 86. Hydrometeorological Publishing House, Leningrad. 92 p.(in Russian)*

*Genikhovich, E.L. (1995) Practical Applications of Regulatory Diffusion Models in Russia. Intern. Journal of Environment and Pollution, vol. 4-5, No 4-6, 530 - 537*

*Genikhovich, E.L. (1998) Russian Regulatory Diffusion Models: Status, Results of Validation and International Intercomparisons. In: "Air Pollution in the Ural Mountains. Environmental, Health and Policy Aspects" (Eds. I. Linkov and R. Wilson). Kluwer Academic Publishers, p. 75 - 84*

*Genikhovich, E.L. & Schiermeier, F.A. (1995) Comparison of United States and Russian Complex Terrain Diffusion Models Developed for Regulatory Applications. Atmos.Environment, v. 29, No. 17, 2375 - 2385*

ACRONYME :

OPANA

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	<b>Prognostique</b>			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input type="checkbox"/> Gaussien	<input type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input type="checkbox"/> ponctuelle	<input type="checkbox"/> linéique	<input type="checkbox"/> surfacique	<input type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input type="checkbox"/> rejet continu	<input type="checkbox"/> rejet variable	<input type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> locale	<input checked="" type="checkbox"/> urbaine	<input checked="" type="checkbox"/> régionale	<input type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input type="checkbox"/> horaire	<input type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input type="checkbox"/> fluctuations
<input type="checkbox"/> visibilité de panache	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt	<input checked="" type="checkbox"/> chimie	<input type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>	Technical University of Madrid - Espagne <a href="http://artico.lma.fi.upm.es/">http://artico.lma.fi.upm.es/</a>			
• <i>Distributeur du logiciel :</i>				
• <i>Contact :</i>	Tél.:		Fax :	
• <i>Type de licence :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> accès libre	<input checked="" type="checkbox"/> accès contrôlé	<input type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input type="checkbox"/> doc technique	<input type="checkbox"/> doc utilisateur	<input type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>				

ACRONYME :

OPANA

**Modèle de dispersion :**

<input type="checkbox"/> gaussien	<input type="checkbox"/> panache	<input type="checkbox"/> bouffées	<input type="checkbox"/> eulérien 3D	<input type="checkbox"/> lagrangien
<ul style="list-style-type: none"> <li><u>Modélisation des écarts-types :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> par classes</li> <li><input type="checkbox"/> continue</li> </ul> </li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li><u>Paramétrisation de la turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li><u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>				

**Phénomènes de dispersion représentés :**

• <i>Effets du relief :</i>	<input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets des obstacles :</i>	<input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets de la source :</i>	<input type="checkbox"/> source ponctuelle <input type="checkbox"/> source volumique <input type="checkbox"/> surhauteur cinématique <input type="checkbox"/> source linéique <input type="checkbox"/> source variable <input type="checkbox"/> surhauteur thermique <input type="checkbox"/> source surfacique <input type="checkbox"/> source multiple <input type="checkbox"/> downwash/flagging	
• <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>	<input type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion	<input type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion <input type="checkbox"/> réflexion <input type="checkbox"/> pénétration <input type="checkbox"/> fumigation
• <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i>	<input type="checkbox"/> meandering	
• <i>Fluctuations :</i>	<input type="checkbox"/> écart-type de concentration	<input type="checkbox"/> pdf de concentration
• <i>Chimie</i>	<input type="checkbox"/> chimie simplifiée	<input checked="" type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe
• <i>Déposition :</i>	<input type="checkbox"/> particules <input type="checkbox"/> sédimentation	<input type="checkbox"/> dépôt sec <input type="checkbox"/> dépôt humide
• <i>Radioactivité :</i>	<input type="checkbox"/> déc. radioactive	<input type="checkbox"/> filiation radioactive <input type="checkbox"/> débit de dose

**Informations sur les données d'entrée :**

• <i>Données géographiques :</i>	<input type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input type="checkbox"/> catégories de sol
• <i>Données météorologiques :</i>	<input type="checkbox"/> mesures	<input type="checkbox"/> préprocesseur	<input type="checkbox"/> champ 3D
• <i>Données d'émission</i>	<input type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées	<input type="checkbox"/> modèle d'émission	

**Informations sur les données de sortie :**

• <i>Format des données :</i>	<input type="checkbox"/> fichiers ASCII	<input type="checkbox"/> cartographies	<input type="checkbox"/> tracés 3D	<input type="checkbox"/> Web
• <i>Grandeurs calculées :</i>	<input type="checkbox"/> concentration moyenne	<input type="checkbox"/> percentiles		
	<input type="checkbox"/> dépôt sec	<input type="checkbox"/> dépôt humide	<input type="checkbox"/> écart-type	
• <i>Répartition temporelle</i>	<input type="checkbox"/> moyenne par pas de temps	<input type="checkbox"/> moyenne annuelle	<input type="checkbox"/> fluctuations	

ACRONYME :

OPANA

**Modèle météorologique :****Prognostique**• *Aucun modèle météorologique :* résultats de simulation mesures météorologiques• *Modèle diagnostique :* linéarisation des équations conservation de la masse modèle ID vertical• *Modèle prognostique :* hydrostatique incompressible maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :* terrain plat et homogène vallée isolée de profondeur modérée collines et vallées de pentes modérées terrain plat et non homogène colline isolée de pente modérée relief de montagne• *Prise en compte des obstacles :* rugosité obstacle isolé groupe d'obstacles• *Stratification atmosphérique :* atmosphère neutre atmosphère stable atmosphère convective brise de mer brise de vallée îlot de chaleur urbain• *Modèle de sol :* sol hétérogène échange de chaleur échange d'humidité• *Humidité atmosphérique :* atmosphère humide microphysique des nuages précipitations**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :* PC Mac Intosh station Unix calcul //• *Système d'exploitation :* DOS Windows Linux Unix• *Langage utilisé :* Fortran C Autre langage• *Interface utilisateur :* aucun (ASCII) intégré*logiciels de post traitement :*• *Temps de calcul par scénario :* < une seconde < une minute < une heure > une heure• *Modèles liés*

ACRONYME :

OPANA

- Références :

San Jose R., Rodriguez L., Palacios M. and Madrona H. Numerical Mesoscale Modelling: Madrid case study. The EUMAC Zooming Model: Model Structure and Applications, 243-257 (1994) EUROTRAC Special Publications.

San Jose R., Rodriguez L., Palacios M. and Moreno J. Coupling the Photochemical, Eulerian transport and "big-leaf" deposition modelling in a three dimensional mesoscale context. Air Pollution Modelling and its Application X, NATO (1994) Ed: Gryning S.E. and Millan Millan M. ISBN: 0-306-44888-2

San Jose R., Sanz M.A., Moreno B., Ramirez-Montesino A., Hernandez J. And Rodriguez L. Anthropogenic and biogenic emission model for mesoscale urban areas by using LANDSAT satellite data: Madrid case study. European Symposium on Optics for Environmental and Public Safety. LASER'95. SPIE.- The International Society for Optical Engineering, SPIE Vol. 2506, 274-285 (1995) ISBN: 0-8194-1864-1

San Jose R., Ramirez-Montesinos A., Marcelo L.M., Sanz M.A. and Rodriguez L. Numerical Photochemical model over Madrid (Spain) mesoscale urban area. European Symposium on Optics for Environmental and Public Safety. LASER'95. SPIE.- The International Society for Optical Engineering, SPIE Vol. 2506, 298-309 (1995) ISBN: 0-8194-1864-1

San Jose R., Cortes J., Moreno J., Prieto J.F. and R.M. Gonzalez. Urban ozone modelling by using a prognostic Eulerian air quality system: Madrid case study. 4th Workshop on Harmonization within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes, Vol. I. Ed: Kertzschar J.G. and Coseman, 231-240. (1996).

San Jose R., Prieto J.F., Martin J., Delgado L., Jimenez E. and Gonzalez R.M. Integrated Environmental Monitoring Forecasting and Warning Systems in Metropolitan Areas (EMMA): Madrid Application. Measurements and Modelling in Environmental Pollution, Ed: R. San Jose and C. Brebbia, Computational Mechanics Publications. 313-323 (1997). ISBN: 1-85312-461-3

San Jose R., Prieto J.F., Castellano N. , Arranz J.M. and Gonzalez R.M. Urban ozone modelling by using a prognostic Eulerian air quality system: Madrid case study. International Journal of Environment and Pollution, Vol 8, Nos. 3-6, (1997) pp. 646-653.

Prieto J.F., San Jose R., Castellano N. and Arranz J.M. ANA Model: Architecture and Performance on different platforms. System Analysis Modelling Simulation Journal (SAMS) Vol 32, pp.113-122 (1998) Ed: Overseas Publishers Association.

San Jose R., Cortes J., Prieto J.F. and Gonzalez R.M. Accurate ozone prognostic patterns for Madrid area by using a high spatial and temporal Eulerian photochemical model. Environmental Monitoring and Assessment, Vol. 52, 203-212 (1998) Ed: Kluwer Academic Publishers.

San Jose R., Cortes, Prieto J.F., and Gonzalez R.M. Photochemical air pollution modelling by using a mesoscale Eulerian meteorological model: Madrid case study. Computational Mechanics Publications (CD-ROM, published in INTERNET, May, 1999).

ACRONYME :

PAL2.1

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	<b>Aucun</b>			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> Gaussien	<input type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> ponctuelle	<input checked="" type="checkbox"/> linéique	<input checked="" type="checkbox"/> surfacique	<input type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input checked="" type="checkbox"/> rejet continu	<input checked="" type="checkbox"/> rejet variable	<input checked="" type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> locale	<input type="checkbox"/> urbaine	<input type="checkbox"/> régionale	<input type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input checked="" type="checkbox"/> horaire	<input checked="" type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input type="checkbox"/> relief	<input checked="" type="checkbox"/> obstacles	<input checked="" type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input type="checkbox"/> fluctuations
<input type="checkbox"/> visibilité de panache	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt	<input type="checkbox"/> chimie	<input type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>	Environmental Protection Agency <a href="http://www.epa.gov/scram001/">http://www.epa.gov/scram001/</a>			
• <i>Distributeur du logiciel :</i>	Applied Modeling research Branch (EPA) <a href="http://www.epa.gov/asmdnerl/files.html">http://www.epa.gov/asmdnerl/files.html</a>			
• <i>Contact :</i>	Tél.:		Fax :	
• <i>Type de licence :</i>	<input type="checkbox"/> accès libre	<input type="checkbox"/> accès contrôlé	<input type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input type="checkbox"/> doc technique	<input type="checkbox"/> doc utilisateur	<input type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>				

ACRONYME :

PAL2.1

**Modèle de dispersion :**

<input checked="" type="checkbox"/> gaussien	<input checked="" type="checkbox"/> panache	<input type="checkbox"/> bouffées	<input type="checkbox"/> eulérien 3D	<input type="checkbox"/> lagrangien
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Modélisation des écarts-types :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> par classes</li> <li><input type="checkbox"/> continue</li> </ul> </li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>				

**Phénomènes de dispersion représentés :**

• <i>Effets du relief :</i>	<input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets des obstacles :</i>	<input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input checked="" type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> source ponctuelle <input type="checkbox"/> source volumique <input checked="" type="checkbox"/> source linéique <input checked="" type="checkbox"/> source variable <input checked="" type="checkbox"/> source surfacique <input checked="" type="checkbox"/> source multiple	<input checked="" type="checkbox"/> surhauteur cinématique <input checked="" type="checkbox"/> surhauteur thermique <input type="checkbox"/> downwash/flagging
• <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion	<input checked="" type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion <input checked="" type="checkbox"/> réflexion <input type="checkbox"/> pénétration <input type="checkbox"/> fumigation
• <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i>	<input type="checkbox"/> meandering	
• <i>Fluctuations :</i>	<input type="checkbox"/> écart-type de concentration	<input type="checkbox"/> pdf de concentration
• <i>Chimie</i>	<input type="checkbox"/> chimie simplifiée	<input type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe
• <i>Déposition :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> particules <input checked="" type="checkbox"/> sédimentation	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec <input type="checkbox"/> dépôt humide
• <i>Radioactivité :</i>	<input type="checkbox"/> déc. radioactive	<input type="checkbox"/> filiation radioactive <input type="checkbox"/> débit de dose

**Informations sur les données d'entrée :**

• <i>Données géographiques :</i>	<input type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input type="checkbox"/> catégories de sol
• <i>Données météorologiques :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> mesures	<input checked="" type="checkbox"/> préprocesseur	<input type="checkbox"/> champ 3D
• <i>Données d'émission</i>	<input checked="" type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées	<input type="checkbox"/> modèle d'émission	

**Informations sur les données de sortie :**

• <i>Format des données :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> fichiers ASCII	<input type="checkbox"/> cartographies	<input type="checkbox"/> tracés 3D	<input type="checkbox"/> Web
• <i>Grandeurs calculées :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> concentration moyenne	<input type="checkbox"/> percentiles		
	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec	<input type="checkbox"/> dépôt humide	<input type="checkbox"/> écart-type	
• <i>Répartition temporelle</i>	<input checked="" type="checkbox"/> moyenne par pas de temps	<input type="checkbox"/> moyenne annuelle	<input type="checkbox"/> fluctuations	



ACRONYME :

PAL2.1

**Modèle météorologique :**

Aucun

• *Aucun modèle météorologique :*

- résultats de simulation  
 mesures météorologiques

• *Modèle diagnostique :*

- linéarisation des équations  
 conservation de la masse  
 modèle ID vertical

• *Modèle prognostique :*

- hydrostatique  
 incompressible

 maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :*

- terrain plat et homogène  
 terrain plat et non homogène  
 vallée isolée de profondeur modérée  
 colline isolée de pente modérée  
 collines et vallées de pentes modérées  
 relief de montagne

• *Prise en compte des obstacles :*

- rugosité  
 obstacle isolé  
 groupe d'obstacles

• *Stratification atmosphérique :*

- atmosphère neutre  
 atmosphère stable  
 atmosphère convective  
 brise de mer  
 brise de vallée  
 îlot de chaleur urbain

• *Modèle de sol :*

- sol hétérogène  
 échange de chaleur  
 échange d'humidité

• *Humidité atmosphérique :*

- atmosphère humide  
 microphysique des nuages  
 précipitations

**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :* PC  Mac Intosh  station Unix  calcul //• *Système d'exploitation :* DOS  Windows  Linux  Unix• *Langage utilisé :* Fortran  C  Autre langage• *Interface utilisateur :* aucun (ASCII)  intégré*logiciels de post traitement :*• *Temps de calcul par scénario :* < une seconde  < une minute  < une heure  > une heure• *Modèles liés*

ACRONYME :

PAL2.1

- Références :

*Pas d'évaluations particulières.*

*Modèle utilisé pour déterminer l'impact sur la qualité de l'air dans une partie d'agglomération à des échelles de quelques dizaines de mètres à quelques centaines de mètres (centre commerciaux, parking, aéroports, ...).*

ACRONYME :

PLUIMPLUS

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	<b>Aucun</b>			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> Gaussien	<input type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> ponctuelle	<input type="checkbox"/> linéique	<input type="checkbox"/> surfacique	<input type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input checked="" type="checkbox"/> rejet continu	<input checked="" type="checkbox"/> rejet variable	<input checked="" type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> locale	<input type="checkbox"/> urbaine	<input type="checkbox"/> régionale	<input type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input type="checkbox"/> horaire	<input type="checkbox"/> journalière	<input checked="" type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input type="checkbox"/> fluctuations
<input type="checkbox"/> visibilité de panache	<input type="checkbox"/> dépôt	<input checked="" type="checkbox"/> chimie	<input type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>	TNO Institute of Environmental Sciences, Energy Research and Process Innovation <a href="http://www.tno.nl/homepage.html">http://www.tno.nl/homepage.html</a>			
• <i>Distributeur du logiciel :</i>	TNO Institute of Environmental Sciences, Energy Research and Process Innovation <a href="http://www.mep.tno.nl/werkgebieden_eng/Milieukwaliteit_eng.html">http://www.mep.tno.nl/werkgebieden_eng/Milieukwaliteit_eng.html</a>			
• <i>Contact :</i>	Tél.:		Fax :	
• <i>Type de licence :</i>	<input type="checkbox"/> accès libre	<input type="checkbox"/> accès contrôlé	<input checked="" type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input type="checkbox"/> doc technique	<input type="checkbox"/> doc utilisateur	<input type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>	Modèle de référence pour les études réglementaires aux Pays Bas			

ACRONYME :

PLUIMPLUS

**Modèle de dispersion :**

- |   |  |   |
|---|--|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> gaussien <input checked="" type="checkbox"/> panache <input type="checkbox"/> bouffées<br>• <u>Modélisation des écarts-types :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input checked="" type="checkbox"/> par classes<br><input type="checkbox"/> continue | <input type="checkbox"/> eulérien 3D<br>• <u>Paramétrisation de la turbulence :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne | <input type="checkbox"/> lagrangien<br>• <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne |
|---|--|---|

**Phénomènes de dispersion représentés :**

- |   |  |   |
|---|--|---|
| • <i>Effets du relief :</i>                           | <input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo   | <input type="checkbox"/> modèle interne spécifique  |
| • <i>Effets des obstacles :</i>                       | <input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo   | <input type="checkbox"/> modèle interne spécifique  |
| • <i>Effets de la source :</i>                        | <input checked="" type="checkbox"/> source ponctuelle <input type="checkbox"/> source volumique <input type="checkbox"/> surhauteur cinématique<br><input type="checkbox"/> source linéique <input checked="" type="checkbox"/> source variable <input type="checkbox"/> surhauteur thermique<br><input type="checkbox"/> source surfacique <input checked="" type="checkbox"/> source multiple <input type="checkbox"/> downwash/flagging |   |
| • <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>  | <input checked="" type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion  | <input type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion<br><input type="checkbox"/> réflexion<br><input type="checkbox"/> pénétration<br><input type="checkbox"/> fumigation |
| • <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i> | <input type="checkbox"/> meandering  |   |
| • <i>Fluctuations :</i>                               | <input type="checkbox"/> écart-type de concentration   | <input type="checkbox"/> pdf de concentration   |
| • <i>Chimie</i>                                       | <input type="checkbox"/> chimie simplifiée   | <input type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe  |
| • <i>Déposition :</i>                                 | <input type="checkbox"/> particules  | <input type="checkbox"/> dépôt sec  |
|   | <input type="checkbox"/> sédimentation   | <input type="checkbox"/> dépôt humide   |
| • <i>Radioactivité :</i>                              | <input type="checkbox"/> déc. radioactive  | <input type="checkbox"/> filiation radioactive <input type="checkbox"/> débit de dose   |

**Informations sur les données d'entrée :**

- |                                    |   |  |  |
|------------------------------------|---|--|--|
| • <i>Données géographiques :</i>   | <input type="checkbox"/> relief                                     | <input type="checkbox"/> obstacles         | <input type="checkbox"/> catégories de sol |
| • <i>Données météorologiques :</i> | <input checked="" type="checkbox"/> mesures                         | <input type="checkbox"/> préprocesseur     | <input type="checkbox"/> champ 3D          |
| • <i>Données d'émission</i>        | <input checked="" type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées | <input type="checkbox"/> modèle d'émission |  |

**Informations sur les données de sortie :**

- |                                 |   |  |                                       |                              |
|---------------------------------|---|--|---------------------------------------|------------------------------|
| • <i>Format des données :</i>   | <input checked="" type="checkbox"/> fichiers ASCII        | <input type="checkbox"/> cartographies               | <input type="checkbox"/> tracés 3D    | <input type="checkbox"/> Web |
| • <i>Grandeurs calculées :</i>  | <input checked="" type="checkbox"/> concentration moyenne | <input checked="" type="checkbox"/> percentiles      |                                       |                              |
|                                 | <input type="checkbox"/> dépôt sec                        | <input type="checkbox"/> dépôt humide                | <input type="checkbox"/> écart-type   |                              |
| • <i>Répartition temporelle</i> | <input type="checkbox"/> moyenne par pas de temps         | <input checked="" type="checkbox"/> moyenne annuelle | <input type="checkbox"/> fluctuations |                              |

ACRONYME :

PLUIMPLUS

**Modèle météorologique :**

Aucun

• *Aucun modèle météorologique :*

- résultats de simulation  
 mesures météorologiques

• *Modèle diagnostique :*

- linéarisation des équations  
 conservation de la masse  
 modèle ID vertical

• *Modèle prognostique :*

- hydrostatique  
 incompressible

 maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :*

- terrain plat et homogène  
 terrain plat et non homogène  
 vallée isolée de profondeur modérée  
 colline isolée de pente modérée  
 collines et vallées de pentes modérées  
 relief de montagne

• *Prise en compte des obstacles :*

- rugosité  
 obstacle isolé  
 groupe d'obstacles

• *Stratification atmosphérique :*

- atmosphère neutre  
 atmosphère stable  
 atmosphère convective  
 brise de mer  
 brise de vallée  
 îlot de chaleur urbain

• *Modèle de sol :*

- sol hétérogène  
 échange de chaleur  
 échange d'humidité

• *Humidité atmosphérique :*

- atmosphère humide  
 microphysique des nuages  
 précipitations

**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :*

- PC  
 Mac Intosh  
 station Unix  
 calcul //

• *Système d'exploitation :*

- DOS  
 Windows  
 Linux  
 Unix

• *Langage utilisé :*

- Fortran  
 C  
 Autre langage

• *Interface utilisateur :*

- aucun (ASCII)  
 intégré

*logiciels de post traitement :*• *Temps de calcul par scénario :*

- < une seconde  
 < une minute  
 < une heure  
 > une heure

• *Modèles liés*

ACRONYME :

PLUIMPLUS

- *Références :*

ACRONYME :

PLUVUE II

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	<b>Aucun</b>			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> Gaussien	<input type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> ponctuelle	<input type="checkbox"/> linéique	<input type="checkbox"/> surfacique	<input type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input checked="" type="checkbox"/> rejet continu	<input type="checkbox"/> rejet variable	<input type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> locale	<input type="checkbox"/> urbaine	<input type="checkbox"/> régionale	<input type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input checked="" type="checkbox"/> horaire	<input type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input checked="" type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input type="checkbox"/> fluctuations
<input checked="" type="checkbox"/> visibilité de panache	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt	<input checked="" type="checkbox"/> chimie	<input type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>	Environmental Protection Agency <a href="http://www.epa.gov/scram001/">http://www.epa.gov/scram001/</a>			
• <i>Distributeur du logiciel :</i>				
• <i>Contact :</i>	Tél.:		Fax :	
• <i>Type de licence :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> accès libre	<input type="checkbox"/> accès contrôlé	<input type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input checked="" type="checkbox"/> doc technique	<input checked="" type="checkbox"/> doc utilisateur	<input checked="" type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>	Recommandé par l'EPA pour un usage réglementaire concernant la visibilité des panaches contenant des particules, des oxydes d'azote et du dioxyde de soufre.			

ACRONYME :

PLUVUE II

**Modèle de dispersion :**

<input checked="" type="checkbox"/> gaussien	<input checked="" type="checkbox"/> panache	<input type="checkbox"/> bouffées	<input type="checkbox"/> eulérien 3D	<input type="checkbox"/> lagrangien
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Modélisation des écarts-types :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> par classes</li> <li><input type="checkbox"/> continue</li> </ul> </li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>

**Phénomènes de dispersion représentés :**

• <i>Effets du relief :</i>	<input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets des obstacles :</i>	<input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> source ponctuelle <input type="checkbox"/> source linéique <input type="checkbox"/> source surfacique	<input type="checkbox"/> source volumique <input type="checkbox"/> source variable <input type="checkbox"/> source multiple <input checked="" type="checkbox"/> surhauteur cinématique <input checked="" type="checkbox"/> surhauteur thermique <input type="checkbox"/> downwash/flagging
• <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion	<input type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion <input type="checkbox"/> réflexion <input type="checkbox"/> pénétration <input type="checkbox"/> fumigation
• <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i>	<input type="checkbox"/> meandering	
• <i>Fluctuations :</i>	<input type="checkbox"/> écart-type de concentration	<input type="checkbox"/> pdf de concentration
• <i>Chimie</i>	<input checked="" type="checkbox"/> chimie simplifiée	<input type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe
• <i>Déposition :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> particules <input checked="" type="checkbox"/> sédimentation	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec <input type="checkbox"/> dépôt humide
• <i>Radioactivité :</i>	<input type="checkbox"/> déc. radioactive	<input type="checkbox"/> filiation radioactive
		<input type="checkbox"/> débit de dose

**Informations sur les données d'entrée :**

• <i>Données géographiques :</i>	<input type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input type="checkbox"/> catégories de sol
• <i>Données météorologiques :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> mesures	<input type="checkbox"/> préprocesseur	<input type="checkbox"/> champ 3D
• <i>Données d'émission</i>	<input checked="" type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées	<input type="checkbox"/> modèle d'émission	

**Informations sur les données de sortie :**

• <i>Format des données :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> fichiers ASCII	<input type="checkbox"/> cartographies	<input type="checkbox"/> tracés 3D	<input type="checkbox"/> Web
• <i>Grandeurs calculées :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> concentration moyenne	<input type="checkbox"/> percentiles		
	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec	<input type="checkbox"/> dépôt humide	<input type="checkbox"/> écart-type	
• <i>Répartition temporelle</i>	<input checked="" type="checkbox"/> moyenne par pas de temps	<input type="checkbox"/> moyenne annuelle	<input type="checkbox"/> fluctuations	



ACRONYME :

PLUVUE II

**Modèle météorologique :**

Aucun

• *Aucun modèle météorologique :*

- résultats de simulation  
 mesures météorologiques

• *Modèle diagnostique :*

- linéarisation des équations  
 conservation de la masse  
 modèle ID vertical

• *Modèle prognostique :*

- hydrostatique  
 incompressible

 maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :*

- terrain plat et homogène  
 terrain plat et non homogène  
 vallée isolée de profondeur modérée  
 colline isolée de pente modérée  
 collines et vallées de pentes modérées  
 relief de montagne

• *Prise en compte des obstacles :*

- rugosité  
 obstacle isolé  
 groupe d'obstacles

• *Stratification atmosphérique :*

- atmosphère neutre  
 atmosphère stable  
 atmosphère convective  
 brise de mer  
 brise de vallée  
 îlot de chaleur urbain

• *Modèle de sol :*

- sol hétérogène  
 échange de chaleur  
 échange d'humidité

• *Humidité atmosphérique :*

- atmosphère humide  
 microphysique des nuages  
 précipitations

**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :* PC  Mac Intosh  station Unix  calcul //• *Système d'exploitation :* DOS  Windows  Linux  Unix• *Langage utilisé :* Fortran  C  Autre langage• *Interface utilisateur :* aucun (ASCII)  intégré*logiciels de post traitement :*• *Temps de calcul par scénario :* < une seconde  < une minute  < une heure  > une heure• *Modèles liés*

ACRONYME :

PLUVUE II

- Références :

*Bergstrom, R.W., C. Seigneur, B.L. Babson, H.Y. Holman and M.A. Wojcik, 1981. Comparison of the Observed and Predicted Visual Effects Caused by Power Plant Plumes. Atmos. Environ, 15: 2135-2150.*

*Bergstrom, R.W., Seigneur, C.D. Johnson and L.W. Richards, 1984. Measurements and Simulations of the Visual Effects of Particulate Plumes. Atmos. Environ., 18: 2231-2244.*

*Seigneur, C., R.W. Bergstrom and A.B. Hudischewskyj, 1982. Evaluation of the EPA PLUVUE Model and the ERT Visibility Model Based on the 1979 VISTTA Data Base. EPA Publication No. EPA-450/4-82-008. U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC.*

*White, W.H., C. Seigneur, D.W. Heinold, M.W. Eltgroth, L.W. Richards, P.T. Roberts, P.S. Bhardwaja, W.D. Conner and W.E. Wilson, Jr, 1985. Predicting the Visibility of Chimney Plumes: An Intercomparison of Four Models with Observations at a Well-Controlled Power Plant. Atmos. Environ., 19: 515-528.*

ACRONYME :

PPM

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	Aucun			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> Gaussien	<input type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input checked="" type="checkbox"/> Lagrangien	<input checked="" type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> ponctuelle	<input type="checkbox"/> linéique	<input type="checkbox"/> surfacique	<input type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input checked="" type="checkbox"/> rejet continu	<input checked="" type="checkbox"/> rejet variable	<input type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> locale	<input checked="" type="checkbox"/> urbaine	<input type="checkbox"/> régionale	<input type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input checked="" type="checkbox"/> horaire	<input type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input checked="" type="checkbox"/> relief	<input checked="" type="checkbox"/> obstacles	<input type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input checked="" type="checkbox"/> fluctuations
<input type="checkbox"/> visibilité de panache	<input type="checkbox"/> dépôt	<input type="checkbox"/> chimie	<input type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>				
• <i>Distributeur du logiciel :</i>	INFRAS Ltd. <a href="http://www.geo.umnw.ethz.ch/staff/homepages/dehaan/">http://www.geo.umnw.ethz.ch/staff/homepages/dehaan/</a>			
• <i>Contact :</i>	Peter De Haan		Tél.:	Fax :
	<a href="http://peter.dehaan@infrass.ch">http://peter.dehaan@infrass.ch</a>			
• <i>Type de licence :</i>	<input type="checkbox"/> accès libre	<input checked="" type="checkbox"/> accès contrôlé	<input type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input type="checkbox"/> doc technique	<input type="checkbox"/> doc utilisateur	<input checked="" type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>				

ACRONYME :

PPM

**Modèle de dispersion :**

<input checked="" type="checkbox"/> gaussien <input type="checkbox"/> panache <input checked="" type="checkbox"/> bouffées • <u>Modélisation des écarts-types :</u> <input type="checkbox"/> sortie du modèle météo <input type="checkbox"/> par classes <input type="checkbox"/> continue	<input type="checkbox"/> eulérien 3D • <u>Paramétrisation de la turbulence :</u> <input type="checkbox"/> sortie du modèle météo <input type="checkbox"/> modèle spécifique interne	<input checked="" type="checkbox"/> lagrangien • <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u> <input type="checkbox"/> sortie du modèle météo <input checked="" type="checkbox"/> modèle spécifique interne
--	--	---

**Phénomènes de dispersion représentés :**

• <i>Effets du relief :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo <input type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets des obstacles :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo <input type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> source ponctuelle <input type="checkbox"/> source volumique <input checked="" type="checkbox"/> surhauteur cinématique <input type="checkbox"/> source linéique <input checked="" type="checkbox"/> source variable <input checked="" type="checkbox"/> surhauteur thermique <input type="checkbox"/> source surfacique <input type="checkbox"/> source multiple <input type="checkbox"/> downwash/flagging
• <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>	<input type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion <input type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion <input type="checkbox"/> réflexion <input type="checkbox"/> pénétration <input type="checkbox"/> fumigation
• <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> meandering
• <i>Fluctuations :</i>	<input type="checkbox"/> écart-type de concentration <input checked="" type="checkbox"/> pdf de concentration
• <i>Chimie</i>	<input type="checkbox"/> chimie simplifiée <input type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe
• <i>Déposition :</i>	<input type="checkbox"/> particules <input type="checkbox"/> dépôt sec <input type="checkbox"/> sédimentation <input type="checkbox"/> dépôt humide
• <i>Radioactivité :</i>	<input type="checkbox"/> déc. radioactive <input type="checkbox"/> filiation radioactive <input type="checkbox"/> débit de dose

**Informations sur les données d'entrée :**

• <i>Données géographiques :</i>	<input type="checkbox"/> relief <input type="checkbox"/> obstacles <input type="checkbox"/> catégories de sol
• <i>Données météorologiques :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> mesures <input type="checkbox"/> préprocesseur <input checked="" type="checkbox"/> champ 3D
• <i>Données d'émission</i>	<input checked="" type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées <input type="checkbox"/> modèle d'émission

**Informations sur les données de sortie :**

• <i>Format des données :</i>	<input type="checkbox"/> fichiers ASCII <input type="checkbox"/> cartographies <input type="checkbox"/> tracés 3D <input type="checkbox"/> Web
• <i>Grandeurs calculées :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> concentration moyenne <input type="checkbox"/> percentiles <input type="checkbox"/> dépôt sec <input type="checkbox"/> dépôt humide <input type="checkbox"/> écart-type
• <i>Répartition temporelle</i>	<input checked="" type="checkbox"/> moyenne par pas de temps <input type="checkbox"/> moyenne annuelle <input checked="" type="checkbox"/> fluctuations

ACRONYME :

PPM

**Modèle météorologique :**

Aucun

• *Aucun modèle météorologique :*

- résultats de simulation
- mesures météorologiques

• *Modèle diagnostique :*

- linéarisation des équations
- conservation de la masse
- modèle ID vertical

• *Modèle prognostique :*

- hydrostatique
- incompressible

 maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :*

- terrain plat et homogène
- terrain plat et non homogène
- vallée isolée de profondeur modérée
- colline isolée de pente modérée
- collines et vallées de pentes modérées
- relief de montagne

• *Prise en compte des obstacles :*

- rugosité
- obstacle isolé
- groupe d'obstacles

• *Stratification atmosphérique :*

- atmosphère neutre
- atmosphère stable
- atmosphère convective
- brise de mer
- brise de vallée
- îlot de chaleur urbain

• *Modèle de sol :*

- sol hétérogène
- échange de chaleur
- échange d'humidité

• *Humidité atmosphérique :*

- atmosphère humide
- microphysique des nuages
- précipitations

**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :* PC Mac Intosh station Unix calcul //• *Système d'exploitation :* DOS Windows Linux Unix• *Langage utilisé :* Fortran C Autre langage• *Interface utilisateur :* aucun (ASCII) intégré*logiciels de post traitement :*• *Temps de calcul par scénario :* < une seconde < une minute < une heure > une heure• *Modèles liés*

ACRONYME :

PPM

- Références :

de Haan, P., and Rotach, M. W. (1995): *A puff-particle dispersion model. Int. J. Environment and Pollution*, 5, 350-359

de Haan, P., and Rotach, M. W. (1998a): *A novel approach to atmospheric dispersion modelling: the Puff-Particle Model (PPM). Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.*, 124, 2771-2792

de Haan, P., and Rotach, M. W. (1998b): *The treatment of relative dispersion within a combined Puff-Particle Model (PPM). In: Air Pollution Modeling and Its Application XII*, S.-E. Gryning and N. Chaumerliac (eds.), Plenum Press, New York, 389-396

de Haan, P., and Scire, J. S. (1999): *Prediction of higher moments of near-source concentration by simulating the meandering of pollutant puffs. Preprints 13th Conference on Boundary Layers and Turbulence*, Jan. 10-15, 1999, Dallas TX. American Meteorological Society, Boston, USA

de Haan, P., Scire, J. S., Strimaitis, D. G, and Rotach, M. W. (1999): *Introduction of a Puff-Particle approach for near-source dispersion into the CALPUFF model. In: Air Pollution Modeling and Its Application XIII*, S.-E. Gryning and E. Batchvarova (eds.), Plenum Press, New York

de Haan, P. (1999): *On the use of Density Kernels for Concentration Estimations Within Particle and Puff Dispersion Models. Atmospheric Environment*, 33, 2007-2021

ACRONYME :

RADM

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	<b>Aucun</b>			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input type="checkbox"/> Gaussien	<input type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input checked="" type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> ponctuelle	<input type="checkbox"/> linéique	<input checked="" type="checkbox"/> surfacique	<input type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input checked="" type="checkbox"/> rejet continu	<input checked="" type="checkbox"/> rejet variable	<input checked="" type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input checked="" type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> locale	<input checked="" type="checkbox"/> urbaine	<input type="checkbox"/> régionale	<input type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input checked="" type="checkbox"/> horaire	<input type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input checked="" type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input type="checkbox"/> fluctuations
<input type="checkbox"/> visibilité de panache	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt	<input checked="" type="checkbox"/> chimie	<input type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>	ACRI <a href="http://www.acri.fr/French/index.html">http://www.acri.fr/French/index.html</a>			
• <i>Distributeur du logiciel :</i>	ACRI <a href="http://www.acri.fr/French/index.html">http://www.acri.fr/French/index.html</a>			
• <i>Contact :</i>	Tél.:		Fax :	
• <i>Type de licence :</i>	<input type="checkbox"/> accès libre	<input type="checkbox"/> accès contrôlé	<input type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input type="checkbox"/> doc technique	<input type="checkbox"/> doc utilisateur	<input type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>				

ACRONYME :

RADM

**Modèle de dispersion :**

<input type="checkbox"/> gaussien	<input type="checkbox"/> panache	<input type="checkbox"/> bouffées	<input type="checkbox"/> eulérien 3D	<input checked="" type="checkbox"/> lagrangien
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Modélisation des écarts-types :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> par classes</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> continue</li> </ul> </li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>				

**Phénomènes de dispersion représentés :**

• <i>Effets du relief :</i>	<input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets des obstacles :</i>	<input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> source ponctuelle <input type="checkbox"/> source linéique <input checked="" type="checkbox"/> source surfacique	<input type="checkbox"/> source volumique <input checked="" type="checkbox"/> source variable <input checked="" type="checkbox"/> source multiple <input type="checkbox"/> surhauteur cinématique <input type="checkbox"/> surhauteur thermique <input type="checkbox"/> downwash/flagging
• <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion	<input checked="" type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion <input checked="" type="checkbox"/> réflexion <input checked="" type="checkbox"/> pénétration <input checked="" type="checkbox"/> fumigation
• <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i>	<input type="checkbox"/> meandering	
• <i>Fluctuations :</i>	<input type="checkbox"/> écart-type de concentration	<input type="checkbox"/> pdf de concentration
• <i>Chimie</i>	<input type="checkbox"/> chimie simplifiée	<input type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe
• <i>Déposition :</i>	<input type="checkbox"/> particules <input type="checkbox"/> sédimentation	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec <input type="checkbox"/> dépôt humide
• <i>Radioactivité :</i>	<input type="checkbox"/> déc. radioactive	<input type="checkbox"/> filiation radioactive <input type="checkbox"/> débit de dose

**Informations sur les données d'entrée :**

• <i>Données géographiques :</i>	<input type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input type="checkbox"/> catégories de sol
• <i>Données météorologiques :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> mesures	<input type="checkbox"/> préprocesseur	<input checked="" type="checkbox"/> champ 3D
• <i>Données d'émission</i>	<input checked="" type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées	<input checked="" type="checkbox"/> modèle d'émission	

**Informations sur les données de sortie :**

• <i>Format des données :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> fichiers ASCII	<input type="checkbox"/> cartographies	<input type="checkbox"/> tracés 3D	<input type="checkbox"/> Web
• <i>Grandeurs calculées :</i>	<input type="checkbox"/> concentration moyenne	<input type="checkbox"/> percentiles	<input type="checkbox"/> dépôt sec	<input type="checkbox"/> dépôt humide
• <i>Répartition temporelle</i>	<input checked="" type="checkbox"/> moyenne par pas de temps	<input type="checkbox"/> moyenne annuelle	<input type="checkbox"/> fluctuations	



ACRONYME :

RADM

**Modèle météorologique :**

Aucun

• *Aucun modèle météorologique :*

- résultats de simulation  
 mesures météorologiques

• *Modèle diagnostique :*

- linéarisation des équations  
 conservation de la masse  
 modèle ID vertical

• *Modèle prognostique :*

- hydrostatique  
 incompressible

 maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :*

- terrain plat et homogène  
 terrain plat et non homogène  
 vallée isolée de profondeur modérée  
 colline isolée de pente modérée  
 collines et vallées de pentes modérées  
 relief de montagne

• *Prise en compte des obstacles :*

- rugosité  
 obstacle isolé  
 groupe d'obstacles

• *Stratification atmosphérique :*

- atmosphère neutre  
 atmosphère stable  
 atmosphère convective  
 brise de mer  
 brise de vallée  
 îlot de chaleur urbain

• *Modèle de sol :*

- sol hétérogène  
 échange de chaleur  
 échange d'humidité

• *Humidité atmosphérique :*

- atmosphère humide  
 microphysique des nuages  
 précipitations

**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :*

- PC  
 Mac Intosh  
 station Unix  
 calcul //

• *Système d'exploitation :*

- DOS  
 Windows  
 Linux  
 Unix

• *Langage utilisé :*

- Fortran  
 C  
 Autre langage

• *Interface utilisateur :*

- aucun (ASCII)  
 intégré

*logiciels de post traitement :*• *Temps de calcul par scénario :*

- < une seconde  
 < une minute  
 < une heure  
 > une heure

• *Modèles liés*

ACRONYME :

RADM

- Références :

*Runchal, A.K., A.W. Bealer, G.S. Segal, 1978. A completely Lagrangian Random-Walk model for atmospheric dispersion. Proceedings of the Thirteenth International Colloquium on Atmospheric Pollution, National Institute for Applications of Chemical Research, Paris, pp 137-142*

*Goodin W.R., Runchal, A.K., G.Y. Lou, 1980. Evaluation and Application of the Random-Walk Advection and Dispersion Model (RADM Symposium on Intermediate Range Atmospheric Transport Processes and Technology Assesment, DOE/NOAA/ORNL, Gatlinburg, TN.*

*Goodin W.R., D.I. Austin, Runchal, A.K., 1980. A model Verification and Prediction Study of SO<sub>2</sub>/SO<sub>4</sub> Concentrations in the San Francisco Bay Area. Second Joint Conference on Applications of Air Pollution Meteorology, AMS/APCA, New Orleans, LA.*

*Austin, D.I., A.W. Bealer and W.R. Goodin, 1981. RandomWalk Advection and Dispersion Model (RADM) User's manual. Dames & Moore, Los Angeles, CA.*

*Runchal, A.K., W.R. Goodin, A.W. Bealer, Austin, D.I., 1981. Technical Description of the Random walk Advection and Dispersion Model (RADM). Dames & Moore, Los Angeles, CA.*

ACRONYME :

RAM

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	<b>Aucun</b>			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> Gaussien	<input type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> ponctuelle	<input type="checkbox"/> linéique	<input checked="" type="checkbox"/> surfacique	<input type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input checked="" type="checkbox"/> rejet continu	<input type="checkbox"/> rejet variable	<input checked="" type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> locale	<input checked="" type="checkbox"/> urbaine	<input type="checkbox"/> régionale	<input type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input checked="" type="checkbox"/> horaire	<input checked="" type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input checked="" type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input type="checkbox"/> fluctuations
<input type="checkbox"/> visibilité de panache	<input type="checkbox"/> dépôt	<input checked="" type="checkbox"/> chimie	<input checked="" type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>	Environmental Protection Agency <a href="http://www.epa.gov/scram001/">http://www.epa.gov/scram001/</a>			
• <i>Distributeur du logiciel :</i>	Environmental Protection Agency <a href="http://www.epa.gov/scram001/">http://www.epa.gov/scram001/</a>			
• <i>Contact :</i>	Tél.:		Fax :	
• <i>Type de licence :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> accès libre	<input type="checkbox"/> accès contrôlé	<input type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input checked="" type="checkbox"/> doc technique	<input checked="" type="checkbox"/> doc utilisateur	<input checked="" type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>				

ACRONYME :

RAM

**Modèle de dispersion :**

- |   |  |   |
|---|--|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> gaussien <input checked="" type="checkbox"/> panache <input type="checkbox"/> bouffées<br>• <u>Modélisation des écarts-types :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input checked="" type="checkbox"/> par classes<br><input type="checkbox"/> continue | <input type="checkbox"/> eulérien 3D<br>• <u>Paramétrisation de la turbulence :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne | <input type="checkbox"/> lagrangien<br>• <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne |
|---|--|---|

**Phénomènes de dispersion représentés :**

- |   |   |  |
|---|---|--|
| • <i>Effets du relief :</i>                           | <input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo  | <input type="checkbox"/> modèle interne spécifique   |
| • <i>Effets des obstacles :</i>                       | <input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo  | <input type="checkbox"/> modèle interne spécifique   |
| • <i>Effets de la source :</i>                        | <input checked="" type="checkbox"/> source ponctuelle <input type="checkbox"/> source volumique<br><input type="checkbox"/> source linéique <input type="nd"/> source variable<br><input checked="" type="checkbox"/> source surfacique <input checked="" type="checkbox"/> source multiple | <input checked="" type="checkbox"/> surhauteur cinématique<br><input checked="" type="checkbox"/> surhauteur thermique<br><input type="checkbox"/> downwash/flagging |
| • <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>  | <input checked="" type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion<br><input checked="" type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion<br><input checked="" type="checkbox"/> réflexion<br><input type="nd"/> pénétration<br><input type="checkbox"/> fumigation            |  |
| • <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i> | <input type="nd"/> meandering   |  |
| • <i>Fluctuations :</i>                               | <input type="checkbox"/> écart-type de concentration  | <input type="checkbox"/> pdf de concentration  |
| • <i>Chimie</i>                                       | <input checked="" type="checkbox"/> chimie simplifiée   | <input type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe   |
| • <i>Déposition :</i>                                 | <input type="checkbox"/> particules<br><input type="checkbox"/> sédimentation   | <input type="checkbox"/> dépôt sec<br><input type="checkbox"/> dépôt humide  |
| • <i>Radioactivité :</i>                              | <input type="checkbox"/> déc. radioactive   | <input type="checkbox"/> filiation radioactive <input type="checkbox"/> débit de dose  |

**Informations sur les données d'entrée :**

- |                                    |   |   |  |
|------------------------------------|---|---|--|
| • <i>Données géographiques :</i>   | <input type="checkbox"/> relief                                     | <input type="checkbox"/> obstacles                | <input type="checkbox"/> catégories de sol |
| • <i>Données météorologiques :</i> | <input checked="" type="checkbox"/> mesures                         | <input checked="" type="checkbox"/> préprocesseur | <input type="checkbox"/> champ 3D          |
| • <i>Données d'émission</i>        | <input checked="" type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées | <input type="checkbox"/> modèle d'émission        |  |

**Informations sur les données de sortie :**

- |                                 |   |                                     |                                    |   |
|---------------------------------|---|-------------------------------------|------------------------------------|---|
| • <i>Format des données :</i>   | <input checked="" type="checkbox"/> fichiers ASCII        | <input type="nd"/> cartographies    | <input type="nd"/> tracés 3D       | <input type="nd"/> Web  |
| • <i>Grandeurs calculées :</i>  | <input checked="" type="checkbox"/> concentration moyenne | <input type="nd"/> percentiles      | <input type="checkbox"/> dépôt sec | <input type="checkbox"/> dépôt humide <input type="checkbox"/> écart-type |
| • <i>Répartition temporelle</i> | <input type="nd"/> moyenne par pas de temps               | <input type="nd"/> moyenne annuelle | <input type="nd"/> fluctuations    |   |

ACRONYME :

RAM

**Modèle météorologique :**

Aucun

• *Aucun modèle météorologique :*

- résultats de simulation  
 mesures météorologiques

• *Modèle diagnostique :*

- linéarisation des équations  
 conservation de la masse  
 modèle ID vertical

• *Modèle prognostique :*

- hydrostatique  
 incompressible

 maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :*

- terrain plat et homogène  
 terrain plat et non homogène  
 vallée isolée de profondeur modérée  
 colline isolée de pente modérée  
 collines et vallées de pentes modérées  
 relief de montagne

• *Prise en compte des obstacles :*

- rugosité  
 obstacle isolé  
 groupe d'obstacles

• *Stratification atmosphérique :*

- atmosphère neutre  
 atmosphère stable  
 atmosphère convective  
 brise de mer  
 brise de vallée  
 îlot de chaleur urbain

• *Modèle de sol :*

- sol hétérogène  
 échange de chaleur  
 échange d'humidité

• *Humidité atmosphérique :*

- atmosphère humide  
 microphysique des nuages  
 précipitations

**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :* PC  Mac Intosh  station Unix  calcul //• *Système d'exploitation :* DOS  Windows  Linux  Unix• *Langage utilisé :* Fortran  C  Autre langage• *Interface utilisateur :* aucun (ASCII)  intégré*logiciels de post traitement :*• *Temps de calcul par scénario :* < une seconde  < une minute  < une heure  > une heure• *Modèles liés*

RAMMET

ACRONYME :

RAM

• Références :

Ellis, H., P. Lou, and G. Dalzell, 1980. Comparison Study of Measured and Predicted Concentrations with the RAM Model at Two Power Plants Along Lake Erie. Second Joint Conference on Applications of Air Pollution Meteorology, New Orleans, LA.

Environmental Research and Technology, 1980. SO<sub>2</sub> Monitoring and RAM (Urban) Model Comparison Study in Summit County, Ohio. Document P-3618-152, Environmental Research & Technology, Inc., Concord, MA.

Guldberg, P.H. and C.W. Kern, 1978. A Comparison Validation of the RAM and PTMTP Models for Short-Term Concentrations in Two Urban Areas. *Journal of Air Pollution Control Association*, 28: 907-910.

Hodanbosi, R.R. and L.K. Peters, 1981. Evaluation of RAM Model for Cleveland, Ohio. *Journal of Air Pollution Control Association*, 31: 253-255.

Kennedy, K.H., R.D. Siegel and M.P. Steinberg, 1981. Case-Specific Evaluation of the RAM Atmospheric Dispersion Model in an Urban Area. 74th Annual Meeting of the American Institute of Chemical Engineers, New Orleans, LA.

Kummier, R.H., B. Cho, G. Roginski, R. Sinha and A. Greenburg, 1979. A Comparative Validation of the RAM and Modified SAI Models for Short Term SO<sub>2</sub> Concentrations in Detroit. *Journal of Air Pollution Control Association*, 29: 720-723.

Londergan, R.J., N.E. Bowne, D.R. Murray, H. Borenstein and J. Mangano, 1980. An Evaluation of Short-Term Air Quality Models Using Tracer Study Data. Report No. 4333, American Petroleum Institute, Washington, D.C.

Londergan, R., D. Minott, D. Wackter and R. Fizz, 1983. Evaluation of Urban Air Quality Simulation Models. EPA Publication No. EPA-450/4-83-020. U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC.

Morgenstern, P., M.J. Geraghty, and A. McKnight, 1979. A Comparative Study of the RAM (Urban) and RAMR (Rural) Models for Short-term SO<sub>2</sub> Concentrations in Metropolitan Indianapolis. 72nd Annual Meeting of the Air Pollution Control Association, Cincinnati, OH.

Ruff, R.E., 1980. Evaluation of the RAM Using the RAPS Data Base. Contract 68-02-2770, SRI International, Menlo Park, CA.

ACRONYME :

REMOTA

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	<b>Aucun</b>			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input type="checkbox"/> Gaussien	<input checked="" type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input type="checkbox"/> ponctuelle	<input type="checkbox"/> linéique	<input checked="" type="checkbox"/> surfacique	<input type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input checked="" type="checkbox"/> rejet continu	<input type="checkbox"/> rejet variable	<input type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input type="checkbox"/> locale	<input type="checkbox"/> urbaine	<input checked="" type="checkbox"/> régionale	<input type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input checked="" type="checkbox"/> horaire	<input type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input checked="" type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input type="checkbox"/> fluctuations
<input type="checkbox"/> visibilité de panache	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt	<input type="checkbox"/> chimie	<input type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>	Institute of Meteorology and Water Management - Varsovie - Pologne			
• <i>Distributeur du logiciel :</i>				
• <i>Contact :</i>	Tél.:		Fax :	
• <i>Type de licence :</i>	<input type="checkbox"/> accès libre	<input checked="" type="checkbox"/> accès contrôlé	<input type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input type="checkbox"/> doc technique	<input type="checkbox"/> doc utilisateur	<input type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>				

ACRONYME :

REMOTA

**Modèle de dispersion :**

- |  |  |   |
|--|--|---|
| <input type="checkbox"/> gaussien <input type="checkbox"/> panache <input type="checkbox"/> bouffées<br>• <u>Modélisation des écarts-types :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input type="checkbox"/> par classes<br><input type="checkbox"/> continue | <input checked="" type="checkbox"/> eulérien 3D<br>• <u>Paramétrisation de la turbulence :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input checked="" type="checkbox"/> modèle spécifique interne | <input type="checkbox"/> lagrangien<br>• <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne |
|--|--|---|

**Phénomènes de dispersion représentés :**

- |   |  |   |
|---|--|---|
| • <i>Effets du relief :</i>                           | <input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo   | <input checked="" type="checkbox"/> modèle interne spécifique   |
| • <i>Effets des obstacles :</i>                       | <input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo   | <input type="checkbox"/> modèle interne spécifique  |
| • <i>Effets de la source :</i>                        | <input type="checkbox"/> source ponctuelle <input type="checkbox"/> source volumique <input type="checkbox"/> surhauteur cinématique<br><input type="checkbox"/> source linéique <input type="checkbox"/> source variable <input type="checkbox"/> surhauteur thermique<br><input checked="" type="checkbox"/> source surfacique <input type="checkbox"/> source multiple <input type="checkbox"/> downwash/flagging |   |
| • <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>  | <input type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion   | <input type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion<br><input type="checkbox"/> réflexion<br><input type="checkbox"/> pénétration<br><input type="checkbox"/> fumigation |
| • <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i> | <input type="checkbox"/> meandering  |   |
| • <i>Fluctuations :</i>                               | <input type="checkbox"/> écart-type de concentration   | <input type="checkbox"/> pdf de concentration   |
| • <i>Chimie</i>                                       | <input type="checkbox"/> chimie simplifiée   | <input type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe  |
| • <i>Déposition :</i>                                 | <input type="checkbox"/> particules<br><input type="checkbox"/> sédimentation  | <input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec<br><input checked="" type="checkbox"/> dépôt humide   |
| • <i>Radioactivité :</i>                              | <input type="checkbox"/> déc. radioactive  | <input type="checkbox"/> filiation radioactive <input type="checkbox"/> débit de dose   |

**Informations sur les données d'entrée :**

- |                                    |  |  |  |
|------------------------------------|--|--|--|
| • <i>Données géographiques :</i>   | <input checked="" type="checkbox"/> relief               | <input type="checkbox"/> obstacles         | <input type="checkbox"/> catégories de sol |
| • <i>Données météorologiques :</i> | <input type="checkbox"/> mesures                         | <input type="checkbox"/> préprocesseur     | <input type="checkbox"/> champ 3D          |
| • <i>Données d'émission</i>        | <input type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées | <input type="checkbox"/> modèle d'émission |  |

**Informations sur les données de sortie :**

- |                                 |   |   |                                       |                              |
|---------------------------------|---|---|---------------------------------------|------------------------------|
| • <i>Format des données :</i>   | <input type="checkbox"/> fichiers ASCII           | <input type="checkbox"/> cartographies    | <input type="checkbox"/> tracés 3D    | <input type="checkbox"/> Web |
| • <i>Grandeurs calculées :</i>  | <input type="checkbox"/> concentration moyenne    | <input type="checkbox"/> percentiles      |                                       |                              |
|                                 | <input type="checkbox"/> dépôt sec                | <input type="checkbox"/> dépôt humide     | <input type="checkbox"/> écart-type   |                              |
| • <i>Répartition temporelle</i> | <input type="checkbox"/> moyenne par pas de temps | <input type="checkbox"/> moyenne annuelle | <input type="checkbox"/> fluctuations |                              |



ACRONYME :

REMOTA

**Modèle météorologique :**

Aucun

• *Aucun modèle météorologique :* résultats de simulation mesures météorologiques• *Modèle diagnostique :* linéarisation des équations conservation de la masse modèle ID vertical• *Modèle prognostique :* hydrostatique incompressible maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :* terrain plat et homogène vallée isolée de profondeur modérée collines et vallées de pentes modérées terrain plat et non homogène colline isolée de pente modérée relief de montagne• *Prise en compte des obstacles :* rugosité obstacle isolé groupe d'obstacles• *Stratification atmosphérique :* atmosphère neutre atmosphère stable atmosphère convective brise de mer brise de vallée îlot de chaleur urbain• *Modèle de sol :* sol hétérogène échange de chaleur échange d'humidité• *Humidité atmosphérique :* atmosphère humide microphysique des nuages précipitations**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :* PC Mac Intosh station Unix calcul //• *Système d'exploitation :* DOS Windows Linux Unix• *Langage utilisé :* Fortran C Autre langage• *Interface utilisateur :* aucun (ASCII) intégré*logiciels de post traitement :*• *Temps de calcul par scénario :* < une seconde < une minute < une heure > une heure• *Modèles liés*

ACRONYME :

REMOTA

- Références :

Hrehoruk J., Grzybowska A., Mazur A., Frydzinska B., Bartnicki J., Modzelewski H., Bartnicka H., 1993: *Regional Model for Atmospheric Transport of Heavy Metals over Poland*. IMWM News 16(3), pp. 49-63 (in Polish).

Bartnicki J., Bartnicka H., Hrehoruk J., Grzybowska A., Mazur A., Modzelewski H., Frydzinska B., 1994: *The contamination of natural environment in Poland by heavy metals evaluated by the regional model for atmospheric transport*. IMWM Research Papers, Series: Meteorology - 21 (in Polish).

Bartnicki J., Hrehoruk J., Mazur A., Grzybowska A., 1995: *Emission inventory and regional model for the atmospheric transport of heavy metals over Poland*. Proceedings from Seminar & Workshop on Arctic Atmospheric Research: Pollution and Climate, Roskilde, Denmark, 16-18 March, 1995, NERI Technical Report No. 134

Mazur A., Bartnicki J., Hrehoruk J., Grzybowska A., 1995: *Regional model for the atmospheric transport of heavy metals over Poland*. Proceedings from 10th World Clean Air Congress and Exhibition, Espoo, Finland, 28 May - 2 June 1995, vol. 2, session B8, no. 316. Finnish Air Pollution Prevention Society.

Mazur A., Hrehoruk J., 1997: *The estimation of influence of industry-emitted heavy metals on the natural environment in Poland*. Final report on application task A-6 (in Polish). Work sponsored by the Polish Ministry of Environment Protection, Natural Resources and Forestry.

Mazur A., Hrehoruk J., 1997: *Evaluation of two models for the long-range transport of pollutants in the frame of ETEX-Phase II Project*. Proceedings from ETEX Symposium on Long-range Atmospheric Transport, Model Verification and Emergency Response, Vienna, 13-16 May 1997, pp. 137-139, European Commission EUR 17346

Mazur A., Hrehoruk J., 1997: *The regional model for atmospheric transport of heavy metals over Poland*. *Chemia i Inżynieria Ekologiczna* 4(4), pp. 529-549, (in Polish).

ACRONYME :

RIMPUFF

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	<b>Diagnostique</b>			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> Gaussien	<input type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> ponctuelle	<input type="checkbox"/> linéique	<input type="checkbox"/> surfacique	<input type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input type="checkbox"/> rejet continu	<input type="checkbox"/> rejet variable	<input type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> locale	<input checked="" type="checkbox"/> urbaine	<input checked="" type="checkbox"/> régionale	<input type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input checked="" type="checkbox"/> horaire	<input type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input checked="" type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input checked="" type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input type="checkbox"/> fluctuations
<input type="checkbox"/> visibilité de panache	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt	<input type="checkbox"/> chimie	<input type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>	Risø National Laboratory <a href="http://www.risoe.dk/">http://www.risoe.dk/</a>			
• <i>Distributeur du logiciel :</i>	Risø National Laboratory <a href="http://www.risoe.dk/vea-atu/atm_disp/rimpuff/index.htm">http://www.risoe.dk/vea-atu/atm_disp/rimpuff/index.htm</a>			
• <i>Contact :</i>	Tél.:		Fax :	
• <i>Type de licence :</i>	<input type="checkbox"/> accès libre	<input checked="" type="checkbox"/> accès contrôlé	<input type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input checked="" type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input type="checkbox"/> doc technique	<input type="checkbox"/> doc utilisateur	<input type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>				

ACRONYME :

RIMPUFF

**Modèle de dispersion :**

- |  |  |   |
|--|--|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> gaussien <input checked="" type="checkbox"/> panache <input type="checkbox"/> bouffées<br><ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Modélisation des écarts-types :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> par classes</li> <li><input type="checkbox"/> continue</li> </ul> </li> </ul> | <input type="checkbox"/> eulérien 3D<br><ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul> | <input type="checkbox"/> lagrangien<br><ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul> |
|--|--|---|

**Phénomènes de dispersion représentés :**

- |   |  |   |
|---|--|---|
| • <i>Effets du relief :</i>                           | <input checked="" type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo  | <input type="checkbox"/> modèle interne spécifique  |
| • <i>Effets des obstacles :</i>                       | <input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo   | <input type="checkbox"/> modèle interne spécifique  |
| • <i>Effets de la source :</i>                        | <input checked="" type="checkbox"/> source ponctuelle <input type="checkbox"/> source volumique <input checked="" type="checkbox"/> surhauteur cinématique<br><input type="checkbox"/> source linéique <input type="checkbox"/> source variable <input checked="" type="checkbox"/> surhauteur thermique<br><input type="checkbox"/> source surfacique <input type="checkbox"/> source multiple <input type="checkbox"/> downwash/flagging |   |
| • <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>  | <input type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion   | <input checked="" type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion<br><input checked="" type="checkbox"/> réflexion<br><input type="checkbox"/> pénétration<br><input type="checkbox"/> fumigation |
| • <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i> | <input type="checkbox"/> meandering  |   |
| • <i>Fluctuations :</i>                               | <input type="checkbox"/> écart-type de concentration   | <input type="checkbox"/> pdf de concentration   |
| • <i>Chimie</i>                                       | <input type="checkbox"/> chimie simplifiée   | <input type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe  |
| • <i>Déposition :</i>                                 | <input type="checkbox"/> particules  | <input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec   |
|   | <input type="checkbox"/> sédimentation   | <input checked="" type="checkbox"/> dépôt humide  |
| • <i>Radioactivité :</i>                              | <input type="checkbox"/> déc. radioactive  | <input type="checkbox"/> filiation radioactive <input checked="" type="checkbox"/> débit de dose  |

**Informations sur les données d'entrée :**

- |                                    |   |   |  |
|------------------------------------|---|---|--|
| • <i>Données géographiques :</i>   | <input checked="" type="checkbox"/> relief                          | <input type="checkbox"/> obstacles                    | <input type="checkbox"/> catégories de sol   |
| • <i>Données météorologiques :</i> | <input checked="" type="checkbox"/> mesures                         | <input checked="" type="checkbox"/> préprocesseur     | <input checked="" type="checkbox"/> champ 3D |
| • <i>Données d'émission</i>        | <input checked="" type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées | <input checked="" type="checkbox"/> modèle d'émission |  |

**Informations sur les données de sortie :**

- |                                 |  |   |   |                              |
|---------------------------------|--|---|---|------------------------------|
| • <i>Format des données :</i>   | <input checked="" type="checkbox"/> fichiers ASCII           | <input type="checkbox"/> cartographies    | <input checked="" type="checkbox"/> tracés 3D | <input type="checkbox"/> Web |
| • <i>Grandeurs calculées :</i>  | <input checked="" type="checkbox"/> concentration moyenne    | <input type="checkbox"/> percentiles      |   |                              |
|                                 | <input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec                | <input type="checkbox"/> dépôt humide     | <input type="checkbox"/> écart-type           |                              |
| • <i>Répartition temporelle</i> | <input checked="" type="checkbox"/> moyenne par pas de temps | <input type="checkbox"/> moyenne annuelle | <input type="checkbox"/> fluctuations         |                              |

ACRONYME :

RIMPUFF

**Modèle météorologique :****Diagnostic**• *Aucun modèle météorologique :*

- résultats de simulation
- mesures météorologiques

• *Modèle diagnostique :*

- linéarisation des équations
- conservation de la masse
- modèle ID vertical

• *Modèle prognostique :*

- hydrostatique
- incompressible

 maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :*

- terrain plat et homogène
- terrain plat et non homogène
- vallée isolée de profondeur modérée
- colline isolée de pente modérée
- collines et vallées de pentes modérées
- relief de montagne

• *Prise en compte des obstacles :*

- rugosité
- obstacle isolé
- groupe d'obstacles

• *Stratification atmosphérique :*

- atmosphère neutre
- atmosphère stable
- atmosphère convective
- brise de mer
- brise de vallée
- îlot de chaleur urbain

• *Modèle de sol :*

- sol hétérogène
- échange de chaleur
- échange d'humidité

• *Humidité atmosphérique :*

- atmosphère humide
- microphysique des nuages
- précipitations

**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :*

- PC
- Mac Intosh
- station Unix
- calcul //

• *Système d'exploitation :*

- DOS
- Windows
- Linux
- Unix

• *Langage utilisé :*

- Fortran
- C
- Autre langage

• *Interface utilisateur :*

- aucun (ASCII)
- intégré

*logiciels de post traitement :*• *Temps de calcul par scénario :*

- < une seconde
- < une minute
- < une heure
- > une heure

• *Modèles liés*

*LINCOM : modèle diagnostique (équations linéarisées) - MCF : modèle diagnostique (conservation de la masse) - préprocesseur météo*

ACRONYME :

RIMPUFF

• Références :

Thykier-Nielsen S., Deme S. and Láng E. (1993). Calculation method for gamma-dose rates from spherical puffs. Risø-R-692 (EN). Risø National Laboratory, DK-4000 Roskilde, Denmark.

Thykier-Nielsen, S., Mikkelsen T. and Moreno, J. (1993). Experimental evaluation of a pc-based real-time dispersion modeling system for accidental releases in complex terrain. Proceedings from 20th International Technical Meeting on Air Pollution Modelling and its Application, Valencia, Spain, November 29 - December 3., 1993.

Thykier-Nielsen, S., Roed, J. and Nielsen, F. (1994). Consequence Calculations for Large Scale Releases of Radioactivity using RIMPUFF and a Numerical Weather Forecast Model. Presented at COSYMA User Group meeting, KEMA, Arnhem, April 25. to 26., 1994. Risø National Laboratory, DK-4000 Roskilde, Denmark.

Mikkelsen, T. (1992) Atmospheric dispersion models for real-time application in the decision support system being developed within the CEC. In: Olesen, H.R. and T. Mikkelsen (Eds.) 1992: Proceedings of the workshop "Objectives for Next Generation of Practical Short-Range Atmospheric Dispersion Models", Risø, Denmark, May 6-8 Danish Center for Atmospheric Research (DCAR), P.O. BOX 358, DK-4000 Roskilde. pp 109-130.

Mikkelsen, T. and F. Desiato(1993): Atmospheric Dispersion Models and Pre-processing of Meteorological Data for Real-time Application. In: Proceedings of the Third International Workshop on Real-time Computing of the Environmental Consequences of an Accidental Release to the Atmosphere from a Nuclear Installation, Schloss Elmau, Bavaria, October 25-30 1992. Journal of Radiation Protection Dosimetry Vol 50 Nos 2-4, pp 205-218(1993).

Santabàrbara, J.S., T. Mikkelsen, R. Kamada, G. Lai and A.M. Sempreviva (1993): LINCOM Wind Flow Model, Risø-R-report(EN), 37 pp. Available on request from: Department of Meteorology and Wind Energy, Risø National Laboratory, P.O. Box 49, DK-4000 Roskilde, Denmark.

Thykier-Nielsen, S., S. Deme, and E. Láng (1995). Calculation method for gamma-dose rates from Gaussian puffs. Risø-R-775(EN).

Thykier-Nielsen, S., Deme, S. and Mikkelsen T. (1997). RODOS SYSTEM, Analysing Subsystem: RIMPUFF, Stand Alone Version, RIMDOS7, Users Guide, RODOS(A)-TN(95)3.

ACRONYME :

RPM-IV

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	<b>Aucun</b>			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> Gaussien	<input type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> ponctuelle	<input type="checkbox"/> linéique	<input checked="" type="checkbox"/> surfacique	<input checked="" type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input checked="" type="checkbox"/> rejet continu	<input type="checkbox"/> rejet variable	<input type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input type="checkbox"/> locale	<input type="checkbox"/> urbaine	<input type="checkbox"/> régionale	<input type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input checked="" type="checkbox"/> horaire	<input checked="" type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input type="checkbox"/> relief	<input checked="" type="checkbox"/> obstacles	<input checked="" type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input type="checkbox"/> fluctuations
<input type="checkbox"/> visibilité de panache	<input type="checkbox"/> dépôt	<input checked="" type="checkbox"/> chimie	<input type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>	Environmental Protection Agency <a href="http://www.epa.gov/scram001/">http://www.epa.gov/scram001/</a>			
• <i>Distributeur du logiciel :</i>	Environmental Protection Agency <a href="http://www.epa.gov/scram001/">http://www.epa.gov/scram001/</a>			
• <i>Contact :</i>	Tél.:		Fax :	
• <i>Type de licence :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> accès libre	<input type="checkbox"/> accès contrôlé	<input type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input checked="" type="checkbox"/> doc technique	<input checked="" type="checkbox"/> doc utilisateur	<input checked="" type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>				

ACRONYME :

RPM-IV

**Modèle de dispersion :**

- |   |  |   |
|---|--|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> gaussien <input checked="" type="checkbox"/> panache <input type="checkbox"/> bouffées<br>• <u>Modélisation des écarts-types :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input checked="" type="checkbox"/> par classes<br><input type="checkbox"/> continue | <input type="checkbox"/> eulérien 3D<br>• <u>Paramétrisation de la turbulence :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne | <input type="checkbox"/> lagrangien<br>• <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne |
|---|--|---|

**Phénomènes de dispersion représentés :**

- |   |  |   |
|---|--|---|
| • <i>Effets du relief :</i>                           | <input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo   | <input type="checkbox"/> modèle interne spécifique  |
| • <i>Effets des obstacles :</i>                       | <input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo   | <input checked="" type="checkbox"/> modèle interne spécifique   |
| • <i>Effets de la source :</i>                        | <input checked="" type="checkbox"/> source ponctuelle <input checked="" type="checkbox"/> source volumique <input checked="" type="checkbox"/> surhauteur cinématique<br><input type="checkbox"/> source linéique <input type="checkbox"/> source variable <input checked="" type="checkbox"/> surhauteur thermique<br><input checked="" type="checkbox"/> source surfacique <input type="checkbox"/> source multiple <input type="checkbox"/> downwash/flagging |   |
| • <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>  | <input checked="" type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion  | <input type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion<br><input type="checkbox"/> réflexion<br><input type="checkbox"/> pénétration<br><input type="checkbox"/> fumigation |
| • <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i> | <input type="checkbox"/> meandering  |   |
| • <i>Fluctuations :</i>                               | <input type="checkbox"/> écart-type de concentration   | <input type="checkbox"/> pdf de concentration   |
| • <i>Chimie</i>                                       | <input checked="" type="checkbox"/> chimie simplifiée  | <input type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe  |
| • <i>Déposition :</i>                                 | <input type="checkbox"/> particules <input type="checkbox"/> dépôt sec<br><input type="checkbox"/> sédimentation <input type="checkbox"/> dépôt humide   |   |
| • <i>Radioactivité :</i>                              | <input type="checkbox"/> déc. radioactive  | <input type="checkbox"/> filiation radioactive <input type="checkbox"/> débit de dose   |

**Informations sur les données d'entrée :**

- |                                    |   |  |  |
|------------------------------------|---|--|--|
| • <i>Données géographiques :</i>   | <input type="checkbox"/> relief                                     | <input type="checkbox"/> obstacles         | <input type="checkbox"/> catégories de sol |
| • <i>Données météorologiques :</i> | <input checked="" type="checkbox"/> mesures                         | <input type="checkbox"/> préprocesseur     | <input type="checkbox"/> champ 3D          |
| • <i>Données d'émission</i>        | <input checked="" type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées | <input type="checkbox"/> modèle d'émission |  |

**Informations sur les données de sortie :**

- |                                 |  |   |                                       |                              |
|---------------------------------|--|---|---------------------------------------|------------------------------|
| • <i>Format des données :</i>   | <input checked="" type="checkbox"/> fichiers ASCII           | <input type="checkbox"/> cartographies    | <input type="checkbox"/> tracés 3D    | <input type="checkbox"/> Web |
| • <i>Grandeurs calculées :</i>  | <input checked="" type="checkbox"/> concentration moyenne    | <input type="checkbox"/> percentiles      |                                       |                              |
|                                 | <input type="checkbox"/> dépôt sec                           | <input type="checkbox"/> dépôt humide     | <input type="checkbox"/> écart-type   |                              |
| • <i>Répartition temporelle</i> | <input checked="" type="checkbox"/> moyenne par pas de temps | <input type="checkbox"/> moyenne annuelle | <input type="checkbox"/> fluctuations |                              |



ACRONYME :

RPM-IV

**Modèle météorologique :**

Aucun

• *Aucun modèle météorologique :*

- résultats de simulation  
 mesures météorologiques

• *Modèle diagnostique :*

- linéarisation des équations  
 conservation de la masse  
 modèle ID vertical

• *Modèle prognostique :*

- hydrostatique  
 incompressible

 maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :*

- terrain plat et homogène  
 terrain plat et non homogène  
 vallée isolée de profondeur modérée  
 colline isolée de pente modérée  
 collines et vallées de pentes modérées  
 relief de montagne

• *Prise en compte des obstacles :*

- rugosité  
 obstacle isolé  
 groupe d'obstacles

• *Stratification atmosphérique :*

- atmosphère neutre  
 atmosphère stable  
 atmosphère convective  
 brise de mer  
 brise de vallée  
 îlot de chaleur urbain

• *Modèle de sol :*

- sol hétérogène  
 échange de chaleur  
 échange d'humidité

• *Humidité atmosphérique :*

- atmosphère humide  
 microphysique des nuages  
 précipitations

**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :*

- PC  
 Mac Intosh  
 station Unix  
 calcul //

• *Système d'exploitation :*

- DOS  
 Windows  
 Linux  
 Unix

• *Langage utilisé :*

- Fortran  
 C  
 Autre langage

• *Interface utilisateur :*

- aucun (ASCII)  
 intégré

*logiciels de post traitement :*• *Temps de calcul par scénario :*

- < une seconde  
 < une minute  
 < une heure  
 > une heure

• *Modèles liés*

UAM (Urban Airshed Model) - ROM (Regional Oxidant Model) - CBM-IV (Carbon Bond Mechanism)

ACRONYME :

RPM-IV

- Références :

Stewart, D.A. and M-K Liu, 1981. Development and Application of a Reactive Plume Model. *Atmos. Environ.*, 15: 2377-2393.

ACRONYME :

SAFE-AIR

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	<b>Diagnostique</b>			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> Gaussien	<input type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> ponctuelle	<input type="checkbox"/> linéique	<input type="checkbox"/> surfacique	<input checked="" type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input type="checkbox"/> rejet continu	<input checked="" type="checkbox"/> rejet variable	<input checked="" type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> locale	<input checked="" type="checkbox"/> urbaine	<input type="checkbox"/> régionale	<input type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input checked="" type="checkbox"/> horaire	<input checked="" type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input checked="" type="checkbox"/> relief	<input checked="" type="checkbox"/> obstacles	<input checked="" type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input type="checkbox"/> fluctuations
<input type="checkbox"/> visibilité de panache	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt	<input checked="" type="checkbox"/> chimie	<input checked="" type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>	Department of Physics, University of Genoa, Italy <a href="http://www.envirocomp.org/html/news/safe-air.htm">http://www.envirocomp.org/html/news/safe-air.htm</a>			
• <i>Distributeur du logiciel :</i>	FiatLux Publications <a href="http://www.envirocomp.org/html/news/safe-air.htm">http://www.envirocomp.org/html/news/safe-air.htm</a>			
• <i>Contact :</i>	Elisa Canepa Tél.:+39 10 353 6354 Fax :+39 10 353 6354 <a href="http://canepa@fisica.unige.it/">http://canepa@fisica.unige.it/</a>			
• <i>Type de licence :</i>	<input type="checkbox"/> accès libre	<input type="checkbox"/> accès contrôlé	<input checked="" type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input type="checkbox"/> doc technique	<input checked="" type="checkbox"/> doc utilisateur	<input type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>				

ACRONYME :

SAFE-AIR

**Modèle de dispersion :**

- |  |  |   |
|--|--|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> gaussien <input checked="" type="checkbox"/> panache <input checked="" type="checkbox"/> bouffées<br>• <u>Modélisation des écarts-types :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input checked="" type="checkbox"/> par classes<br><input type="checkbox"/> continue | <input type="checkbox"/> eulérien 3D<br>• <u>Paramétrisation de la turbulence :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne | <input type="checkbox"/> lagrangien<br>• <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne |
|--|--|---|

**Phénomènes de dispersion représentés :**

- |   |   |   |
|---|---|---|
| • <i>Effets du relief :</i>                           | <input checked="" type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo   | <input type="checkbox"/> modèle interne spécifique  |
| • <i>Effets des obstacles :</i>                       | <input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo  | <input checked="" type="checkbox"/> modèle interne spécifique   |
| • <i>Effets de la source :</i>                        | <input checked="" type="checkbox"/> source ponctuelle <input checked="" type="checkbox"/> source volumique <input checked="" type="checkbox"/> surhauteur cinématique<br><input type="checkbox"/> source linéique <input checked="" type="checkbox"/> source variable <input checked="" type="checkbox"/> surhauteur thermique<br><input type="checkbox"/> source surfacique <input checked="" type="checkbox"/> source multiple <input type="checkbox"/> downwash/flagging |   |
| • <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>  | <input checked="" type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion   | <input type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion<br><input type="checkbox"/> réflexion<br><input type="checkbox"/> pénétration<br><input type="checkbox"/> fumigation |
| • <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i> | <input type="checkbox"/> meandering   |   |
| • <i>Fluctuations :</i>                               | <input type="checkbox"/> écart-type de concentration  | <input type="checkbox"/> pdf de concentration   |
| • <i>Chimie</i>                                       | <input checked="" type="checkbox"/> chimie simplifiée   | <input type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe  |
| • <i>Déposition :</i>                                 | <input type="checkbox"/> particules <input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec<br><input type="checkbox"/> sédimentation <input checked="" type="checkbox"/> dépôt humide  |   |
| • <i>Radioactivité :</i>                              | <input type="checkbox"/> déc. radioactive   | <input type="checkbox"/> filiation radioactive <input type="checkbox"/> débit de dose   |

**Informations sur les données d'entrée :**

- |                                    |   |  |  |
|------------------------------------|---|--|--|
| • <i>Données géographiques :</i>   | <input checked="" type="checkbox"/> relief                          | <input type="checkbox"/> obstacles         | <input type="checkbox"/> catégories de sol   |
| • <i>Données météorologiques :</i> | <input checked="" type="checkbox"/> mesures                         | <input type="checkbox"/> préprocesseur     | <input checked="" type="checkbox"/> champ 3D |
| • <i>Données d'émission</i>        | <input checked="" type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées | <input type="checkbox"/> modèle d'émission |  |

**Informations sur les données de sortie :**

- |                                 |  |   |                                       |                              |
|---------------------------------|--|---|---------------------------------------|------------------------------|
| • <i>Format des données :</i>   | <input type="checkbox"/> fichiers ASCII                      | <input type="checkbox"/> cartographies          | <input type="checkbox"/> tracés 3D    | <input type="checkbox"/> Web |
| • <i>Grandeurs calculées :</i>  | <input checked="" type="checkbox"/> concentration moyenne    | <input checked="" type="checkbox"/> percentiles | <input type="checkbox"/> écart-type   |                              |
| • <i>Répartition temporelle</i> | <input checked="" type="checkbox"/> moyenne par pas de temps | <input type="checkbox"/> moyenne annuelle       | <input type="checkbox"/> fluctuations |                              |

ACRONYME :

SAFE-AIR

**Modèle météorologique :****Diagnostic**• *Aucun modèle météorologique :* résultats de simulation mesures météorologiques• *Modèle diagnostique :* linéarisation des équations conservation de la masse modèle ID vertical• *Modèle prognostique :* hydrostatique incompressible maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :* terrain plat et homogène vallée isolée de profondeur modérée collines et vallées de pentes modérées terrain plat et non homogène colline isolée de pente modérée relief de montagne• *Prise en compte des obstacles :* rugosité obstacle isolé groupe d'obstacles• *Stratification atmosphérique :* atmosphère neutre atmosphère stable atmosphère convective brise de mer brise de vallée îlot de chaleur urbain• *Modèle de sol :* sol hétérogène échange de chaleur échange d'humidité• *Humidité atmosphérique :* atmosphère humide microphysique des nuages précipitations**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :* PC Mac Intosh station Unix calcul //• *Système d'exploitation :* DOS Windows Linux Unix• *Langage utilisé :* Fortran C Autre langage• *Interface utilisateur :* aucun (ASCII) intégré*logiciels de post traitement :*  
SURFER• *Temps de calcul par scénario :* < une seconde < une minute < une heure > une heure• *Modèles liés*

AVACTA II (modèle de dispersion de type gaussien développé par Zannetti) - WINDS

ACRONYME :

SAFE-AIR

- Références :

Zannetti P., G. Carboni and A. Ceriani, 1985. AVACTA II Model Simulations of Worst-Case Air Pollution Scenarios in Northern Italy. 15th International Technical Meeting on Air Pollution Modeling and Its Application, St. Louis, Missouri, April 15-19.

E.Canepa, C.F.Ratto A model evaluation of a new version of AVACTA II using field and laboratory data on flat and complex terrain. In: P.Zannetti (editor) Environmental modeling (Volume 3) , pages 53-109 Computational Mechanics Publications. Southampton, UK., 1996

E.Canepa, E.Georgieva, A.Mazzino, C.F.Ratto Comparison between the results of a new version of the AVACTA II atmospheric diffusion model and tracer experiments Il Nuovo Cimento, 20C, 461 (1997)

ACRONYME :

SCIPUFF

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	<b>Diagnostic</b>			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> Gaussien	<input type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> ponctuelle	<input checked="" type="checkbox"/> linéique	<input checked="" type="checkbox"/> surfacique	<input checked="" type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input checked="" type="checkbox"/> rejet continu	<input checked="" type="checkbox"/> rejet variable	<input checked="" type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input type="checkbox"/> locale	<input checked="" type="checkbox"/> urbaine	<input checked="" type="checkbox"/> régionale	<input checked="" type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input checked="" type="checkbox"/> horaire	<input type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input checked="" type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input checked="" type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input checked="" type="checkbox"/> fluctuations
<input type="checkbox"/> visibilité de panache	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt	<input checked="" type="checkbox"/> chimie	<input type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>	Titan Systems Corporation <a href="http://www.titan.com/appliedtech/Pages/TRT/pages/scipuff/scipuff.htm">http://www.titan.com/appliedtech/Pages/TRT/pages/scipuff/scipuff.htm</a>			
• <i>Distributeur du logiciel :</i>	Titan Systems Corporation <a href="http://www.titan.com/appliedtech/Pages/TRT/pages/scipuff/scipuff.htm">http://www.titan.com/appliedtech/Pages/TRT/pages/scipuff/scipuff.htm</a>			
• <i>Contact :</i>	Dr. R. Ian Sykes		Tél.:	Fax :
	<a href="http://SCIPUFF-info@titan.com">http://SCIPUFF-info@titan.com</a>			
• <i>Type de licence :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> accès libre	<input checked="" type="checkbox"/> accès contrôlé	<input type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input checked="" type="checkbox"/> doc technique	<input checked="" type="checkbox"/> doc utilisateur	<input checked="" type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>				

ACRONYME :

SCIPUFF

**Modèle de dispersion :**

- |   |  |   |
|---|--|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> gaussien <input type="checkbox"/> panache <input checked="" type="checkbox"/> bouffées<br>• <u>Modélisation des écarts-types :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input type="checkbox"/> par classes<br><input checked="" type="checkbox"/> continue | <input type="checkbox"/> eulérien 3D<br>• <u>Paramétrisation de la turbulence :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne | <input type="checkbox"/> lagrangien<br>• <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne |
|---|--|---|

**Phénomènes de dispersion représentés :**

- |   |   |   |   |
|---|---|---|---|
| • <i>Effets du relief :</i>                           | <input checked="" type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo   | <input type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion                                  | <input type="checkbox"/> modèle interne spécifique  |
| • <i>Effets des obstacles :</i>                       | <input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo  | <input type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion                                  | <input type="checkbox"/> modèle interne spécifique  |
| • <i>Effets de la source :</i>                        | <input checked="" type="checkbox"/> source ponctuelle <input checked="" type="checkbox"/> source volumique <input checked="" type="checkbox"/> surhauteur cinématique<br><input checked="" type="checkbox"/> source linéique <input checked="" type="checkbox"/> source variable <input checked="" type="checkbox"/> surhauteur thermique<br><input checked="" type="checkbox"/> source surfacique <input checked="" type="checkbox"/> source multiple <input type="checkbox"/> downwash/flagging |   |   |
| • <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>  | <input checked="" type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion   | <input checked="" type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion                           | <input checked="" type="checkbox"/> réflexion<br><input type="checkbox"/> pénétration<br><input checked="" type="checkbox"/> fumigation |
| • <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i> | <input checked="" type="checkbox"/> meandering  |   |   |
| • <i>Fluctuations :</i>                               | <input checked="" type="checkbox"/> écart-type de concentration   | <input checked="" type="checkbox"/> pdf de concentration  |   |
| • <i>Chimie</i>                                       | <input checked="" type="checkbox"/> chimie simplifiée   | <input type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe  |   |
| • <i>Déposition :</i>                                 | <input checked="" type="checkbox"/> particules<br><input checked="" type="checkbox"/> sédimentation   | <input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec<br><input checked="" type="checkbox"/> dépôt humide |   |
| • <i>Radioactivité :</i>                              | <input type="checkbox"/> déc. radioactive   | <input type="checkbox"/> filiation radioactive  | <input type="checkbox"/> débit de dose  |

**Informations sur les données d'entrée :**

- |                                    |   |   |   |
|------------------------------------|---|---|---|
| • <i>Données géographiques :</i>   | <input checked="" type="checkbox"/> relief                          | <input type="checkbox"/> obstacles                | <input checked="" type="checkbox"/> catégories de sol |
| • <i>Données météorologiques :</i> | <input checked="" type="checkbox"/> mesures                         | <input checked="" type="checkbox"/> préprocesseur | <input checked="" type="checkbox"/> champ 3D          |
| • <i>Données d'émission</i>        | <input checked="" type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées | <input type="checkbox"/> modèle d'émission        |   |

**Informations sur les données de sortie :**

- |                                 |  |   |  |                              |
|---------------------------------|--|---|--|------------------------------|
| • <i>Format des données :</i>   | <input checked="" type="checkbox"/> fichiers ASCII           | <input checked="" type="checkbox"/> cartographies | <input type="checkbox"/> tracés 3D               | <input type="checkbox"/> Web |
| • <i>Grandeurs calculées :</i>  | <input checked="" type="checkbox"/> concentration moyenne    | <input checked="" type="checkbox"/> percentiles   |  |                              |
|                                 | <input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec                | <input checked="" type="checkbox"/> dépôt humide  | <input checked="" type="checkbox"/> écart-type   |                              |
| • <i>Répartition temporelle</i> | <input checked="" type="checkbox"/> moyenne par pas de temps | <input type="checkbox"/> moyenne annuelle         | <input checked="" type="checkbox"/> fluctuations |                              |



ACRONYME :

SCIPUFF

**Modèle météorologique :****Diagnostic**• *Aucun modèle météorologique :*

- résultats de simulation
- mesures météorologiques

• *Modèle diagnostique :*

- linéarisation des équations
- conservation de la masse
- modèle ID vertical

• *Modèle prognostique :*

- hydrostatique
- incompressible

 maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :*

- terrain plat et homogène
- vallée isolée de profondeur modérée
- collines et vallées de pentes modérées

- terrain plat et non homogène
- colline isolée de pente modérée
- relief de montagne

• *Prise en compte des obstacles :*

- rugosité
- obstacle isolé
- groupe d'obstacles

• *Stratification atmosphérique :*

- atmosphère neutre
- atmosphère stable
- atmosphère convective

- brise de mer
- brise de vallée
- îlot de chaleur urbain

• *Modèle de sol :*

- sol hétérogène
- échange de chaleur
- échange d'humidité

• *Humidité atmosphérique :*

- atmosphère humide
- microphysique des nuages
- précipitations

**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :*

- PC
- Mac Intosh
- station Unix
- calcul //

• *Système d'exploitation :*

- DOS
- Windows
- Linux
- Unix

• *Langage utilisé :*

- Fortran
- C
- Autre langage

• *Interface utilisateur :*

- aucun (ASCII)
- intégré

*logiciels de post traitement :*• *Temps de calcul par scénario :*

- < une seconde
- < une minute
- < une heure
- > une heure

• *Modèles liés*

ACRONYME :

SCIPUFF

- Références :

Sykes, R.I., W.S. Lewellen, S.F. Parker and D.S. Henn, 1988. *A hierarchy of dynamic plume models incorporating uncertainty, Volume 4: Second-order Closure Integrated Puff, EPRI, EPRI EA-6095 Volume 4, Project 1616-28.*

Sykes, R.I., S.F. Parker, D.S. Henn and W.S. Lewellen, 1993. *Numerical simulation of ANATEX tracer data using a turbulence closure model for long-range dispersion. J. Appl. Meteor., 32: 929-947.*

Sykes, R.I., D.S. Henn, S.F. Parker and R.S. Gabruk, 1996. *SCIPUFF - A generalized hazard dispersion model. Preprint of the 76 AMS Annual Meeting, Ninth Joint Conference on the Applications of th Air Pollution Meteorology with A&WMA, 184-188.*

Sykes, R.I. and R.S. Gabruk, 1997. *A second-order closure model for the effect of averaging time on turbulent plume dispersion. J. Appl. Meteor., 36: 165-184.*

ACRONYME :

SCSTER

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	Aucun			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> Gaussien	<input type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> ponctuelle	<input type="checkbox"/> linéique	<input type="checkbox"/> surfacique	<input type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input checked="" type="checkbox"/> rejet continu	<input type="checkbox"/> rejet variable	<input checked="" type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> locale	<input checked="" type="checkbox"/> urbaine	<input type="checkbox"/> régionale	<input type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input checked="" type="checkbox"/> horaire	<input type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input checked="" type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input checked="" type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input type="checkbox"/> fluctuations
<input type="checkbox"/> visibilité de panache	<input type="checkbox"/> dépôt	<input checked="" type="checkbox"/> chimie	<input type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>				
• <i>Distributeur du logiciel :</i>	Southern Company Services, P.O. Box 2625, Birmingham, AL 352□ 2.			
• <i>Contact :</i>	Mr. Stanley S. Vasa Stanley S. Vasa	Tél.:	Fax :	
• <i>Type de licence :</i>	<input type="checkbox"/> accès libre	<input checked="" type="checkbox"/> accès contrôlé	<input type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input type="checkbox"/> doc technique	<input type="checkbox"/> doc utilisateur	<input type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>				

ACRONYME :

SCSTER

**Modèle de dispersion :**

<input checked="" type="checkbox"/> gaussien <input checked="" type="checkbox"/> panache <input type="checkbox"/> bouffées • <u>Modélisation des écarts-types :</u> <input type="checkbox"/> sortie du modèle météo <input checked="" type="checkbox"/> par classes <input type="checkbox"/> continue	<input type="checkbox"/> eulérien 3D • <u>Paramétrisation de la turbulence :</u> <input type="checkbox"/> sortie du modèle météo <input type="checkbox"/> modèle spécifique interne	<input type="checkbox"/> lagrangien • <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u> <input type="checkbox"/> sortie du modèle météo <input type="checkbox"/> modèle spécifique interne
---	--	---

**Phénomènes de dispersion représentés :**

• <i>Effets du relief :</i>	<input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input checked="" type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets des obstacles :</i>	<input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> source ponctuelle <input type="checkbox"/> source volumique <input type="checkbox"/> source linéique <input type="checkbox"/> source variable <input type="checkbox"/> source surfacique <input checked="" type="checkbox"/> source multiple	<input checked="" type="checkbox"/> surhauteur cinématique <input checked="" type="checkbox"/> surhauteur thermique <input type="checkbox"/> downwash/flagging
• <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>	<input type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion	<input checked="" type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion <input type="checkbox"/> réflexion <input type="checkbox"/> pénétration <input type="checkbox"/> fumigation
• <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i>	<input type="checkbox"/> meandering	
• <i>Fluctuations :</i>	<input type="checkbox"/> écart-type de concentration	<input type="checkbox"/> pdf de concentration
• <i>Chimie</i>	<input checked="" type="checkbox"/> chimie simplifiée	<input type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe
• <i>Déposition :</i>	<input type="checkbox"/> particules <input type="checkbox"/> sédimentation	<input type="checkbox"/> dépôt sec <input type="checkbox"/> dépôt humide
• <i>Radioactivité :</i>	<input type="checkbox"/> déc. radioactive	<input type="checkbox"/> filiation radioactive <input type="checkbox"/> débit de dose

**Informations sur les données d'entrée :**

• <i>Données géographiques :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input type="checkbox"/> catégories de sol
• <i>Données météorologiques :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> mesures	<input type="checkbox"/> préprocesseur	<input type="checkbox"/> champ 3D
• <i>Données d'émission</i>	<input checked="" type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées	<input type="checkbox"/> modèle d'émission	

**Informations sur les données de sortie :**

• <i>Format des données :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> fichiers ASCII	<input type="checkbox"/> cartographies	<input type="checkbox"/> tracés 3D	<input type="checkbox"/> Web
• <i>Grandeurs calculées :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> concentration moyenne	<input type="checkbox"/> percentiles		
	<input type="checkbox"/> dépôt sec	<input type="checkbox"/> dépôt humide	<input type="checkbox"/> écart-type	
• <i>Répartition temporelle</i>	<input checked="" type="checkbox"/> moyenne par pas de temps	<input checked="" type="checkbox"/> moyenne annuelle	<input type="checkbox"/> fluctuations	

ACRONYME :

SCSTER

**Modèle météorologique :**

Aucun

• *Aucun modèle météorologique :*

- résultats de simulation  
 mesures météorologiques

• *Modèle diagnostique :*

- linéarisation des équations  
 conservation de la masse  
 modèle ID vertical

• *Modèle prognostique :*

- hydrostatique  
 incompressible

 maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :*

- terrain plat et homogène  
 terrain plat et non homogène  
 vallée isolée de profondeur modérée  
 colline isolée de pente modérée  
 collines et vallées de pentes modérées  
 relief de montagne

• *Prise en compte des obstacles :*

- rugosité  
 obstacle isolé  
 groupe d'obstacles

• *Stratification atmosphérique :*

- atmosphère neutre  
 atmosphère stable  
 atmosphère convective  
 brise de mer  
 brise de vallée  
 îlot de chaleur urbain

• *Modèle de sol :*

- sol hétérogène  
 échange de chaleur  
 échange d'humidité

• *Humidité atmosphérique :*

- atmosphère humide  
 microphysique des nuages  
 précipitations

**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :* PC  Mac Intosh  station Unix  calcul //• *Système d'exploitation :* DOS  Windows  Linux  Unix• *Langage utilisé :* Fortran  C  Autre langage• *Interface utilisateur :* aucun (ASCII)  intégré*logiciels de post traitement :*• *Temps de calcul par scénario :* < une seconde  < une minute  < une heure  > une heure• *Modèles liés*

ACRONYME :

SCSTER

- Références :

*Londergan, R., D. Minott, D. Wackter, T. Kincaid and D. Bonitata, 1983. Evaluation of Rural Air Quality Simulation Models. EPA Publication No. EPA-450/4-83-003. U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC.*

ACRONYME :

SDM

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	<b>Aucun</b>			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> Gaussien	<input type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> ponctuelle	<input type="checkbox"/> linéique	<input type="checkbox"/> surfacique	<input type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input checked="" type="checkbox"/> rejet continu	<input type="checkbox"/> rejet variable	<input type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> locale	<input checked="" type="checkbox"/> urbaine	<input type="checkbox"/> régionale	<input type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input checked="" type="checkbox"/> horaire	<input type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input checked="" type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input type="checkbox"/> fluctuations
<input type="checkbox"/> visibilité de panache	<input type="checkbox"/> dépôt	<input type="checkbox"/> chimie	<input type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>				
• <i>Distributeur du logiciel :</i>	Environmental Protection Agency <a href="http://www.epa.gov/scram001/">http://www.epa.gov/scram001/</a>			
• <i>Contact :</i>	Tél.:		Fax :	
• <i>Type de licence :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> accès libre	<input type="checkbox"/> accès contrôlé	<input type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input type="checkbox"/> doc technique	<input type="checkbox"/> doc utilisateur	<input type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>				

ACRONYME :

SDM

**Modèle de dispersion :**

- |   |  |   |
|---|--|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> gaussien <input checked="" type="checkbox"/> panache <input type="checkbox"/> bouffées<br>• <u>Modélisation des écarts-types :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input checked="" type="checkbox"/> par classes<br><input type="checkbox"/> continue | <input type="checkbox"/> eulérien 3D<br>• <u>Paramétrisation de la turbulence :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne | <input type="checkbox"/> lagrangien<br>• <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne |
|---|--|---|

**Phénomènes de dispersion représentés :**

- |   |  |  |
|---|--|--|
| • <i>Effets du relief :</i>                           | <input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo   | <input type="checkbox"/> modèle interne spécifique   |
| • <i>Effets des obstacles :</i>                       | <input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo   | <input type="checkbox"/> modèle interne spécifique   |
| • <i>Effets de la source :</i>                        | <input checked="" type="checkbox"/> source ponctuelle <input type="checkbox"/> source volumique<br><input type="checkbox"/> source linéique <input type="nd"/> source variable<br><input type="checkbox"/> source surfacique <input type="checkbox"/> source multiple      | <input checked="" type="checkbox"/> surhauteur cinématique<br><input checked="" type="checkbox"/> surhauteur thermique<br><input type="checkbox"/> downwash/flagging |
| • <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>  | <input checked="" type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion<br><input checked="" type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion<br><input type="nd"/> réflexion<br><input type="nd"/> pénétration<br><input checked="" type="checkbox"/> fumigation |  |
| • <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i> | <input type="nd"/> meandering  |  |
| • <i>Fluctuations :</i>                               | <input type="checkbox"/> écart-type de concentration   | <input type="checkbox"/> pdf de concentration  |
| • <i>Chimie</i>                                       | <input type="checkbox"/> chimie simplifiée   | <input type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe   |
| • <i>Déposition :</i>                                 | <input type="checkbox"/> particules<br><input type="checkbox"/> sédimentation  | <input type="checkbox"/> dépôt sec<br><input type="checkbox"/> dépôt humide  |
| • <i>Radioactivité :</i>                              | <input type="checkbox"/> déc. radioactive  | <input type="checkbox"/> filiation radioactive <input type="checkbox"/> débit de dose  |

**Informations sur les données d'entrée :**

- |                                    |   |   |  |
|------------------------------------|---|---|--|
| • <i>Données géographiques :</i>   | <input type="checkbox"/> relief                                     | <input type="checkbox"/> obstacles                | <input type="checkbox"/> catégories de sol |
| • <i>Données météorologiques :</i> | <input checked="" type="checkbox"/> mesures                         | <input checked="" type="checkbox"/> préprocesseur | <input type="checkbox"/> champ 3D          |
| • <i>Données d'émission</i>        | <input checked="" type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées | <input type="checkbox"/> modèle d'émission        |  |

**Informations sur les données de sortie :**

- |                                 |  |  |                                     |                                       |
|---------------------------------|--|--|-------------------------------------|---------------------------------------|
| • <i>Format des données :</i>   | <input checked="" type="checkbox"/> fichiers ASCII           | <input type="checkbox"/> cartographies               | <input type="checkbox"/> tracés 3D  | <input type="checkbox"/> Web          |
| • <i>Grandeurs calculées :</i>  | <input checked="" type="checkbox"/> concentration moyenne    | <input type="checkbox"/> percentiles                 | <input type="checkbox"/> dépôt sec  | <input type="checkbox"/> dépôt humide |
| • <i>Répartition temporelle</i> | <input checked="" type="checkbox"/> moyenne par pas de temps | <input checked="" type="checkbox"/> moyenne annuelle | <input type="checkbox"/> écart-type | <input type="checkbox"/> fluctuations |



ACRONYME :

SDM

**Modèle météorologique :**

Aucun

• *Aucun modèle météorologique :*

- résultats de simulation  
 mesures météorologiques

• *Modèle diagnostique :*

- linéarisation des équations  
 conservation de la masse  
 modèle ID vertical

• *Modèle prognostique :*

- hydrostatique  
 incompressible

 maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :*

- terrain plat et homogène  
 terrain plat et non homogène  
 vallée isolée de profondeur modérée  
 colline isolée de pente modérée  
 collines et vallées de pentes modérées  
 relief de montagne

• *Prise en compte des obstacles :*

- rugosité  
 obstacle isolé  
 groupe d'obstacles

• *Stratification atmosphérique :*

- atmosphère neutre  
 atmosphère stable  
 atmosphère convective  
 brise de mer  
 brise de vallée  
 îlot de chaleur urbain

• *Modèle de sol :*

- sol hétérogène  
 échange de chaleur  
 échange d'humidité

• *Humidité atmosphérique :*

- atmosphère humide  
 microphysique des nuages  
 précipitations

**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :* PC  Mac Intosh  station Unix  calcul //• *Système d'exploitation :* DOS  Windows  Linux  Unix• *Langage utilisé :* Fortran  C  Autre langage• *Interface utilisateur :* aucun (ASCII)  intégré*logiciels de post traitement :*• *Temps de calcul par scénario :* < une seconde  < une minute  < une heure  > une heure• *Modèles liés*

RAMMET : préprocesseur météo - MPTER : algorithme spécifique de détection d'événements conduisant à un phénomène de fumigation

ACRONYME :

SDM

- Références :

*Environmental Protection Agency, 1987. Analysis and Evaluation of Statistical Coastal Fumigation Models. EPA Publication No. EPA-450/4-87-002. U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC. (NTIS PB 87-175519)*

ACRONYME :

SHORTZ

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	<b>Aucun</b>			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> Gaussien	<input type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> ponctuelle	<input type="checkbox"/> linéique	<input checked="" type="checkbox"/> surfacique	<input checked="" type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input checked="" type="checkbox"/> rejet continu	<input type="checkbox"/> rejet variable	<input checked="" type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> locale	<input checked="" type="checkbox"/> urbaine	<input type="checkbox"/> régionale	<input type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input checked="" type="checkbox"/> horaire	<input checked="" type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input checked="" type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input checked="" type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input type="checkbox"/> fluctuations
<input type="checkbox"/> visibilité de panache	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt	<input checked="" type="checkbox"/> chimie	<input type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>	Environmental Protection Agency <a href="http://www.epa.gov/scram001/">http://www.epa.gov/scram001/</a>			
• <i>Distributeur du logiciel :</i>	Environmental Protection Agency <a href="http://www.epa.gov/scram001/">http://www.epa.gov/scram001/</a>			
• <i>Contact :</i>	Tél.:		Fax :	
• <i>Type de licence :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> accès libre	<input type="checkbox"/> accès contrôlé	<input type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input checked="" type="checkbox"/> doc technique	<input type="checkbox"/> doc utilisateur	<input type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>				

ACRONYME :

SHORTZ

**Modèle de dispersion :**

<input checked="" type="checkbox"/> gaussien <input checked="" type="checkbox"/> panache <input type="checkbox"/> bouffées • <u>Modélisation des écarts-types :</u> <input type="checkbox"/> sortie du modèle météo <input checked="" type="checkbox"/> par classes <input type="checkbox"/> continue	<input type="checkbox"/> eulérien 3D • <u>Paramétrisation de la turbulence :</u> <input type="checkbox"/> sortie du modèle météo <input type="checkbox"/> modèle spécifique interne	<input type="checkbox"/> lagrangien • <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u> <input type="checkbox"/> sortie du modèle météo <input type="checkbox"/> modèle spécifique interne
---	--	---

**Phénomènes de dispersion représentés :**

• <i>Effets du relief :</i>	<input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input checked="" type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets des obstacles :</i>	<input type="nd"/> pris en compte par le champ météo	<input type="nd"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> source ponctuelle <input checked="" type="checkbox"/> source volumique <input checked="" type="checkbox"/> surhauteur cinématique <input type="checkbox"/> source linéique <input type="nd"/> source variable <input checked="" type="checkbox"/> surhauteur thermique <input checked="" type="checkbox"/> source surfacique <input checked="" type="checkbox"/> source multiple <input checked="" type="checkbox"/> downwash/flagging	
• <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>	<input type="nd"/> effet sur les coefficients de diffusion	<input checked="" type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion <input checked="" type="checkbox"/> réflexion <input type="checkbox"/> pénétration <input type="nd"/> fumigation
• <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i>	<input type="nd"/> meandering	
• <i>Fluctuations :</i>	<input type="checkbox"/> écart-type de concentration	<input type="checkbox"/> pdf de concentration
• <i>Chimie</i>	<input checked="" type="checkbox"/> chimie simplifiée	<input type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe
• <i>Déposition :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> particules <input checked="" type="checkbox"/> sédimentation	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec <input type="nd"/> dépôt humide
• <i>Radioactivité :</i>	<input type="checkbox"/> déc. radioactive	<input type="checkbox"/> filiation radioactive <input type="checkbox"/> débit de dose

**Informations sur les données d'entrée :**

• <i>Données géographiques :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> relief	<input type="nd"/> obstacles	<input type="checkbox"/> catégories de sol
• <i>Données météorologiques :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> mesures	<input type="nd"/> préprocesseur	<input type="checkbox"/> champ 3D
• <i>Données d'émission</i>	<input checked="" type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées	<input type="checkbox"/> modèle d'émission	

**Informations sur les données de sortie :**

• <i>Format des données :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> fichiers ASCII	<input type="checkbox"/> cartographies	<input type="nd"/> tracés 3D	<input type="checkbox"/> Web
• <i>Grandeurs calculées :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> concentration moyenne	<input type="checkbox"/> percentiles		
	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec	<input type="checkbox"/> dépôt humide	<input type="checkbox"/> écart-type	
• <i>Répartition temporelle</i>	<input checked="" type="checkbox"/> moyenne par pas de temps	<input type="nd"/> moyenne annuelle	<input type="nd"/> fluctuations	

ACRONYME :

SHORTZ

**Modèle météorologique :**

Aucun

• *Aucun modèle météorologique :*

- résultats de simulation  
 mesures météorologiques

• *Modèle diagnostique :*

- linéarisation des équations  
 conservation de la masse  
 modèle ID vertical

• *Modèle prognostique :*

- hydrostatique  
 incompressible

 maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :*

- terrain plat et homogène  
 terrain plat et non homogène  
 vallée isolée de profondeur modérée  
 colline isolée de pente modérée  
 collines et vallées de pentes modérées  
 relief de montagne

• *Prise en compte des obstacles :*

- rugosité  
 obstacle isolé  
 groupe d'obstacles

• *Stratification atmosphérique :*

- atmosphère neutre  
 atmosphère stable  
 atmosphère convective  
 brise de mer  
 brise de vallée  
 îlot de chaleur urbain

• *Modèle de sol :*

- sol hétérogène  
 échange de chaleur  
 échange d'humidité

• *Humidité atmosphérique :*

- atmosphère humide  
 microphysique des nuages  
 précipitations

**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :*

- PC  
 Mac Intosh  
 station Unix  
 calcul //

• *Système d'exploitation :*

- DOS  
 Windows  
 Linux  
 Unix

• *Langage utilisé :*

- Fortran  
 C  
 Autre langage

• *Interface utilisateur :*

- aucun (ASCII)  
 intégré

*logiciels de post traitement :*• *Temps de calcul par scénario :*

- < une seconde  
 < une minute  
 < une heure  
 > une heure

• *Modèles liés*

ACRONYME :

SHORTZ

- Références :

*Bjorklund, J.R. and J.F. Bowers, 1982. User's Instructions for the SHORTZ and LONGZ Computer Programs. EPA Publication No. EPA-903/9-82-004. EPA Environmental Protection Agency, Region III, Philadelphia, PA.*

*Wackter, D. and R. Londergan, 1984. Evaluation of Complex Terrain Air Quality Simulation Models. EPA Publication No. EPA-450/4-84-017. U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC.*

ACRONYME :

Simple Line-Source Model

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	<b>Aucun</b>			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> Gaussien	<input type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input type="checkbox"/> ponctuelle	<input checked="" type="checkbox"/> linéique	<input type="checkbox"/> surfacique	<input type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input checked="" type="checkbox"/> rejet continu	<input type="checkbox"/> rejet variable	<input type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> locale	<input type="checkbox"/> urbaine	<input type="checkbox"/> régionale	<input type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input checked="" type="checkbox"/> horaire	<input type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input checked="" type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input type="checkbox"/> fluctuations
<input type="checkbox"/> visibilité de panache	<input type="checkbox"/> dépôt	<input type="checkbox"/> chimie	<input type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>	Chock, D.P. Environmental Science Department, General Motors Research Laboratories			
• <i>Distributeur du logiciel :</i>				
• <i>Contact :</i>	Tél.:		Fax :	
• <i>Type de licence :</i>	<input type="checkbox"/> accès libre	<input type="checkbox"/> accès contrôlé	<input type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input type="checkbox"/> doc technique	<input type="checkbox"/> doc utilisateur	<input type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>				

ACRONYME :

Simple Line-Source Model

**Modèle de dispersion :**

<input checked="" type="checkbox"/> gaussien	<input checked="" type="checkbox"/> panache	<input type="checkbox"/> bouffées	<input type="checkbox"/> eulérien 3D	<input type="checkbox"/> lagrangien
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Modélisation des écarts-types :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> par classes</li> <li><input type="checkbox"/> continue</li> </ul> </li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>

**Phénomènes de dispersion représentés :**

• <i>Effets du relief :</i>	<input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets des obstacles :</i>	<input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets de la source :</i>	<input type="checkbox"/> source ponctuelle <input type="checkbox"/> source volumique <input type="checkbox"/> surhauteur cinématique <input checked="" type="checkbox"/> source linéique <input type="checkbox"/> source variable <input checked="" type="checkbox"/> surhauteur thermique <input type="checkbox"/> source surfacique <input type="checkbox"/> source multiple <input type="checkbox"/> downwash/flagging	
• <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>	<input type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion	<input type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion <input type="checkbox"/> réflexion <input type="checkbox"/> pénétration <input type="checkbox"/> fumigation
• <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i>	<input type="checkbox"/> meandering	
• <i>Fluctuations :</i>	<input type="checkbox"/> écart-type de concentration	<input type="checkbox"/> pdf de concentration
• <i>Chimie</i>	<input type="checkbox"/> chimie simplifiée	<input type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe
• <i>Déposition :</i>	<input type="checkbox"/> particules <input type="checkbox"/> dépôt sec <input type="checkbox"/> sédimentation <input type="checkbox"/> dépôt humide	
• <i>Radioactivité :</i>	<input type="checkbox"/> déc. radioactive	<input type="checkbox"/> filiation radioactive <input type="checkbox"/> débit de dose

**Informations sur les données d'entrée :**

• <i>Données géographiques :</i>	<input type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input type="checkbox"/> catégories de sol
• <i>Données météorologiques :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> mesures	<input type="checkbox"/> préprocesseur	<input type="checkbox"/> champ 3D
• <i>Données d'émission</i>	<input checked="" type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées	<input type="checkbox"/> modèle d'émission	

**Informations sur les données de sortie :**

• <i>Format des données :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> fichiers ASCII	<input type="checkbox"/> cartographies	<input type="checkbox"/> tracés 3D	<input type="checkbox"/> Web
• <i>Grandeurs calculées :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> concentration moyenne	<input type="checkbox"/> percentiles	<input type="checkbox"/> dépôt sec	<input type="checkbox"/> dépôt humide <input type="checkbox"/> écart-type
• <i>Répartition temporelle</i>	<input type="checkbox"/> moyenne par pas de temps	<input type="checkbox"/> moyenne annuelle	<input type="checkbox"/> fluctuations	



ACRONYME :

Simple Line-Source Model

**Modèle météorologique :**

Aucun

• *Aucun modèle météorologique :*

- résultats de simulation  
 mesures météorologiques

• *Modèle diagnostique :*

- linéarisation des équations  
 conservation de la masse  
 modèle ID vertical

• *Modèle prognostique :*

- hydrostatique  
 incompressible

 maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :*

- terrain plat et homogène  
 terrain plat et non homogène  
 vallée isolée de profondeur modérée  
 colline isolée de pente modérée  
 collines et vallées de pentes modérées  
 relief de montagne

• *Prise en compte des obstacles :*

- rugosité  
 obstacle isolé  
 groupe d'obstacles

• *Stratification atmosphérique :*

- atmosphère neutre  
 atmosphère stable  
 atmosphère convective  
 brise de mer  
 brise de vallée  
 îlot de chaleur urbain

• *Modèle de sol :*

- sol hétérogène  
 échange de chaleur  
 échange d'humidité

• *Humidité atmosphérique :*

- atmosphère humide  
 microphysique des nuages  
 précipitations

**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :* PC  Mac Intosh  station Unix  calcul //• *Système d'exploitation :* DOS  Windows  Linux  Unix• *Langage utilisé :* Fortran  C  Autre langage• *Interface utilisateur :* aucun (ASCII)  intégré*logiciels de post traitement :*• *Temps de calcul par scénario :* < une seconde  < une minute  < une heure  > une heure• *Modèles liés*

ACRONYME :

Simple Line-Source Model

- Références :

*Chock, D.P., 1978. A Simple Line-Source Model for Dispersion Near Roadways. Atmos. Environ., 12: 823-829.*

*Sistla, G., P. Samson, M. Keenan and S.T. Rao, 1979. A Study of Pollutant Dispersion Near Highways. Atmos. Environ., 13: 669-685.*

ACRONYME :

SMOG

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	<b>Aucun</b>			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> Gaussien	<input type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> ponctuelle	<input type="checkbox"/> linéique	<input checked="" type="checkbox"/> surfacique	<input type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input type="checkbox"/> rejet continu	<input type="checkbox"/> rejet variable	<input type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> locale	<input checked="" type="checkbox"/> urbaine	<input type="checkbox"/> régionale	<input type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input checked="" type="checkbox"/> horaire	<input type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input checked="" type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input type="checkbox"/> fluctuations
<input type="checkbox"/> visibilité de panache	<input type="checkbox"/> dépôt	<input checked="" type="checkbox"/> chimie	<input type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>	Department of Meteorology and Env. Protection - Fac. Of Math. And Phys. - Prague - République Tchèque <a href="http://www.mff.cuni.cz/">http://www.mff.cuni.cz/</a>			
• <i>Distributeur du logiciel :</i>				
• <i>Contact :</i>	Tél.:		Fax :	
• <i>Type de licence :</i>	<input type="checkbox"/> accès libre	<input checked="" type="checkbox"/> accès contrôlé	<input type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input type="checkbox"/> doc technique	<input type="checkbox"/> doc utilisateur	<input type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>				

ACRONYME :

SMOG

**Modèle de dispersion :**

<input checked="" type="checkbox"/> gaussien	<input type="checkbox"/> panache	<input checked="" type="checkbox"/> bouffées	<input type="checkbox"/> eulérien 3D	<input type="checkbox"/> lagrangien
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Modélisation des écarts-types :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> par classes</li> <li><input type="checkbox"/> continue</li> </ul> </li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>

**Phénomènes de dispersion représentés :**

• <i>Effets du relief :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets des obstacles :</i>	<input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> source ponctuelle <input type="checkbox"/> source volumique <input type="checkbox"/> surhauteur cinématique <input type="checkbox"/> source linéique <input type="checkbox"/> source variable <input type="checkbox"/> surhauteur thermique <input checked="" type="checkbox"/> source surfacique <input type="checkbox"/> source multiple <input type="checkbox"/> downwash/flagging	
• <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion	<input type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion <input type="checkbox"/> réflexion <input type="checkbox"/> pénétration <input type="checkbox"/> fumigation
• <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i>	<input type="checkbox"/> meandering	
• <i>Fluctuations :</i>	<input type="checkbox"/> écart-type de concentration	<input type="checkbox"/> pdf de concentration
• <i>Chimie</i>	<input type="checkbox"/> chimie simplifiée	<input checked="" type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe
• <i>Déposition :</i>	<input type="checkbox"/> particules	<input type="checkbox"/> dépôt sec
	<input type="checkbox"/> sédimentation	<input type="checkbox"/> dépôt humide
• <i>Radioactivité :</i>	<input type="checkbox"/> déc. radioactive	<input type="checkbox"/> filiation radioactive <input type="checkbox"/> débit de dose

**Informations sur les données d'entrée :**

• <i>Données géographiques :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input type="checkbox"/> catégories de sol
• <i>Données météorologiques :</i>	<input type="checkbox"/> mesures	<input type="checkbox"/> préprocesseur	<input checked="" type="checkbox"/> champ 3D
• <i>Données d'émission</i>	<input type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées	<input type="checkbox"/> modèle d'émission	

**Informations sur les données de sortie :**

• <i>Format des données :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> fichiers ASCII	<input type="checkbox"/> cartographies	<input type="checkbox"/> tracés 3D	<input type="checkbox"/> Web
• <i>Grandeurs calculées :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> concentration moyenne	<input type="checkbox"/> percentiles		
	<input type="checkbox"/> dépôt sec	<input type="checkbox"/> dépôt humide	<input type="checkbox"/> écart-type	
• <i>Répartition temporelle</i>	<input type="checkbox"/> moyenne par pas de temps	<input type="checkbox"/> moyenne annuelle	<input type="checkbox"/> fluctuations	

ACRONYME :

SMOG

**Modèle météorologique :**

Aucun

• *Aucun modèle météorologique :*

- résultats de simulation  
 mesures météorologiques

• *Modèle diagnostique :*

- linéarisation des équations  
 conservation de la masse  
 modèle ID vertical

• *Modèle prognostique :*

- hydrostatique  
 incompressible

 maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :*

- terrain plat et homogène  
 terrain plat et non homogène  
 vallée isolée de profondeur modérée  
 colline isolée de pente modérée  
 collines et vallées de pentes modérées  
 relief de montagne

• *Prise en compte des obstacles :*

- rugosité  
 obstacle isolé  
 groupe d'obstacles

• *Stratification atmosphérique :*

- atmosphère neutre  
 atmosphère stable  
 atmosphère convective  
 brise de mer  
 brise de vallée  
 îlot de chaleur urbain

• *Modèle de sol :*

- sol hétérogène  
 échange de chaleur  
 échange d'humidité

• *Humidité atmosphérique :*

- atmosphère humide  
 microphysique des nuages  
 précipitations

**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :*

- PC  
 Mac Intosh  
 station Unix  
 calcul //

• *Système d'exploitation :*

- DOS  
 Windows  
 Linux  
 Unix

• *Langage utilisé :*

- Fortran  
 C  
 Autre langage

• *Interface utilisateur :*

- aucun (ASCII)  
 intégré

*logiciels de post traitement :*• *Temps de calcul par scénario :*

- < une seconde  
 < une minute  
 < une heure  
 > une heure

• *Modèles liés*

ACRONYME :

SMOG

• Références :

*Bednar, J., Brechler, J., Halenka, T. (1997): On the modelling of aerosol and photo-chemical smog in Bohemian basin. XXII General Assembly of European Geophysical Society, 21. - 25. 4. 1997, Vienna, poster.*

*Bednar, J., Brechler, J., Halenka, T., Kopacek, J. (1998): Modelling of photochemical smog. Bulletin of the Slovak Meteorological Society, the Slovak Academy of Sciences, vol. IX, no.2, pp. 7 - 8, (In Czech ).*

*Bednar, J., Brechler, J., Halenka, T., Kopacek, J. (1998): Modelling of photochemical smog. In Proc.: Air /98, SHMI Bratislava, eds.: Drobna, B., Kocan, A., Jursa, S., ISBN 80- 88907-03-9, pp. 161-164, (in Czech).*

*Bednar, J., Brechler, J., Halenka, T., Kopacek, J. (1998): Modelling of photochemical smog. Ochrana ovzduši (Air protection), vol. 10, no. 5, pp. 5 - 10, ISSN: 1211-0337, (in Czech).*

*Bednar, J., Brechler, J., Halenka, T., Holpuch, J. (1998): Photochemical smog model-ling. In: Photochemical Air Pollution in Prague. Final Report of the Project Supported by the Asahi Glass Foundation of Japan. Ed. B. Moldan, Prague. (in English).*

ACRONYME :

SPRAY

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	<b>Aucun</b>			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input type="checkbox"/> Gaussien	<input type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input checked="" type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> ponctuelle	<input checked="" type="checkbox"/> linéique	<input checked="" type="checkbox"/> surfacique	<input type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input checked="" type="checkbox"/> rejet continu	<input type="checkbox"/> rejet variable	<input checked="" type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> locale	<input checked="" type="checkbox"/> urbaine	<input checked="" type="checkbox"/> régionale	<input type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input checked="" type="checkbox"/> horaire	<input type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input checked="" type="checkbox"/> relief	<input checked="" type="checkbox"/> obstacles	<input type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input checked="" type="checkbox"/> fluctuations
<input type="checkbox"/> visibilité de panache	<input type="checkbox"/> dépôt	<input type="checkbox"/> chimie	<input checked="" type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>	ENEL - SRI - Italie			
• <i>Distributeur du logiciel :</i>				
• <i>Contact :</i>	Tél.:		Fax :	
• <i>Type de licence :</i>	<input type="checkbox"/> accès libre	<input checked="" type="checkbox"/> accès contrôlé	<input type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input type="checkbox"/> doc technique	<input type="checkbox"/> doc utilisateur	<input type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>				

ACRONYME :

SPRAY

**Modèle de dispersion :**

<input type="checkbox"/> gaussien	<input type="checkbox"/> panache	<input type="checkbox"/> bouffées	<input type="checkbox"/> eulérien 3D	<input checked="" type="checkbox"/> lagrangien
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Modélisation des écarts-types :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> par classes</li> <li><input type="checkbox"/> continue</li> </ul> </li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>				

**Phénomènes de dispersion représentés :**

• <i>Effets du relief :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets des obstacles :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> source ponctuelle <input type="checkbox"/> source volumique <input checked="" type="checkbox"/> surhauteur cinématique <input checked="" type="checkbox"/> source linéique <input type="checkbox"/> source variable <input checked="" type="checkbox"/> surhauteur thermique <input checked="" type="checkbox"/> source surfacique <input checked="" type="checkbox"/> source multiple <input type="checkbox"/> downwash/flagging	
• <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>	<input type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion	<input type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion <input type="checkbox"/> réflexion <input type="checkbox"/> pénétration <input checked="" type="checkbox"/> fumigation
• <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i>	<input type="checkbox"/> meandering	
• <i>Fluctuations :</i>	<input type="checkbox"/> écart-type de concentration	<input checked="" type="checkbox"/> pdf de concentration
• <i>Chimie</i>	<input type="checkbox"/> chimie simplifiée	<input type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe
• <i>Déposition :</i>	<input type="checkbox"/> particules	<input type="checkbox"/> dépôt sec
	<input type="checkbox"/> sédimentation	<input type="checkbox"/> dépôt humide
• <i>Radioactivité :</i>	<input type="checkbox"/> déc. radioactive	<input type="checkbox"/> filiation radioactive <input type="checkbox"/> débit de dose

**Informations sur les données d'entrée :**

• <i>Données géographiques :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input checked="" type="checkbox"/> catégories de sol
• <i>Données météorologiques :</i>	<input type="checkbox"/> mesures	<input checked="" type="checkbox"/> préprocesseur	<input checked="" type="checkbox"/> champ 3D
• <i>Données d'émission</i>	<input checked="" type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées	<input type="checkbox"/> modèle d'émission	

**Informations sur les données de sortie :**

• <i>Format des données :</i>	<input type="checkbox"/> fichiers ASCII	<input type="checkbox"/> cartographies	<input type="checkbox"/> tracés 3D	<input type="checkbox"/> Web
• <i>Grandeurs calculées :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> concentration moyenne	<input type="checkbox"/> percentiles		
	<input type="checkbox"/> dépôt sec	<input type="checkbox"/> dépôt humide	<input type="checkbox"/> écart-type	
• <i>Répartition temporelle</i>	<input type="checkbox"/> moyenne par pas de temps	<input type="checkbox"/> moyenne annuelle	<input type="checkbox"/> fluctuations	



ACRONYME :

SPRAY

**Modèle météorologique :**

Aucun

• *Aucun modèle météorologique :*

- résultats de simulation  
 mesures météorologiques

• *Modèle diagnostique :*

- linéarisation des équations  
 conservation de la masse  
 modèle ID vertical

• *Modèle prognostique :*

- hydrostatique  
 incompressible

 maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :*

- terrain plat et homogène  
 terrain plat et non homogène  
 vallée isolée de profondeur modérée  
 colline isolée de pente modérée  
 collines et vallées de pentes modérées  
 relief de montagne

• *Prise en compte des obstacles :*

- rugosité  
 obstacle isolé  
 groupe d'obstacles

• *Stratification atmosphérique :*

- atmosphère neutre  
 atmosphère stable  
 atmosphère convective  
 brise de mer  
 brise de vallée  
 îlot de chaleur urbain

• *Modèle de sol :*

- sol hétérogène  
 échange de chaleur  
 échange d'humidité

• *Humidité atmosphérique :*

- atmosphère humide  
 microphysique des nuages  
 précipitations

**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :*

- PC  
 Mac Intosh  
 station Unix  
 calcul //

• *Système d'exploitation :*

- DOS  
 Windows  
 Linux  
 Unix

• *Langage utilisé :*

- Fortran  
 C  
 Autre langage

• *Interface utilisateur :*

- aucun (ASCII)  
 intégré

*logiciels de post traitement :*• *Temps de calcul par scénario :*

- < une seconde  
 < une minute  
 < une heure  
 > une heure

• *Modèles liés*

ACRONYME :

SPRAY

• Références :

Anfossi D., Ferrero E., Brusasca G., Marzorati A., Tinarelli G. (1993): "A simple way of computing buoyant plume rise in Lagrangian stochastic dispersion models", *Atmospheric Environment* 27A, 1443-1451.

Anfossi D., Desiato F., Tinarelli G., Brusasca G., Ferrero E., Sacchetti S. (1998): "TRANSALP 1989 Experimental Campaign - part II: Simulation of a tracer experiment with Lagrangian particle models.", *Atmospheric Environment*, 32, 7, 1157-1166.

Brusasca G., Tinarelli G., Anfossi D. (1989): "Comparison between the results of a Monte Carlo atmospheric diffusion model and tracer experiments", *Atmospheric Environment* 23, 1263-1280.

Brusasca G., Tinarelli G., Anfossi D. (1992): "Particle model simulation of diffusion in low windspeed stable conditions", *Atmospheric Environment* 26, 707-723.

Ferrero E., Anfossi D., Brusasca G., Tinarelli G. (1995): "Lagrangian Particle Model: Evaluation against Tracer Data", *Int. J. Environment and Pollution*, Vol. 5, N. 4-6, 360-374.

Ferrero E., Anfossi D., Tinarelli G., Tamiazzo M. (1997) "Intercomparison of Lagrangian stochastic models based on two different PDF's". 5th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modeling for Regulatory Purposes, Rhodes, Greece, 18-21 May 1998

Nanni A., Riva M., Tinarelli G., Brusasca G. (1994): "Particle model simulation of pollutants dispersion from a line source in complex terrain", *Proc. of 5th International Symposium on Highway and Urban Pollution*, Copenhagen, 22-24 May 1994. Also published on *The Science of the total Environment*, Elsevier 189/190, 301-309 (1996).

Pacitti M., Mensio P., Brusasca G., Tinarelli G., Genon G., Marchese F., Nobile G., Malvasi G. (1997): "Global evaluation of the activity of toxic and hazardous waste landfills using monitoring and modeling integrated system". *Proc. of 5th International Conference "Air Pollution 1997"*, 16-18 September, Bologna, Italy. *Air Pollution V, modelling, monitoring and management*, 517-526, Computational Mechanics Publications.

Tinarelli G., Anfossi D., Brusasca G., Ferrero E., Giostra U., Morselli M.G., Moussafir J., Tampieri F., Trombetti F. (1994): "Lagrangian particle simulation of tracer dispersion in the lee of a schematic two-dimensional hill", *Journal of Applied Meteorology*, Vol. 33, N. 6, 744-756.

Tinarelli G., Anfossi D., Bider M., Ferrero E., Trini Castelli S. (1998): "A new high performance version of the Lagrangian particle dispersion model SPRAY, some case studies", *Preprints of the 23rd CCMS-NATO meeting*, Varna, 28 September - 2 October 1998, 343-350. DEMETRA publications.

ACRONYME :

STACKS

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	<b>Aucun</b>			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> Gaussien	<input type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> ponctuelle	<input type="checkbox"/> linéique	<input type="checkbox"/> surfacique	<input type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input checked="" type="checkbox"/> rejet continu	<input checked="" type="checkbox"/> rejet variable	<input checked="" type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> locale	<input checked="" type="checkbox"/> urbaine	<input type="checkbox"/> régionale	<input type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input checked="" type="checkbox"/> horaire	<input type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input type="checkbox"/> relief	<input checked="" type="checkbox"/> obstacles	<input checked="" type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input type="checkbox"/> fluctuations
<input type="checkbox"/> visibilité de panache	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt	<input checked="" type="checkbox"/> chimie	<input type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>				
• <i>Distributeur du logiciel :</i>	KEMA - Arnhem - Pays Bas			
• <i>Contact :</i>	Tél.:		Fax :	
	<a href="http://STACKS@kema.nl">http://STACKS@kema.nl</a>			
• <i>Type de licence :</i>	<input type="checkbox"/> accès libre	<input type="checkbox"/> accès contrôlé	<input checked="" type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input type="checkbox"/> doc technique	<input type="checkbox"/> doc utilisateur	<input type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>				

ACRONYME :

STACKS

**Modèle de dispersion :**

- |   |  |   |
|---|--|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> gaussien <input checked="" type="checkbox"/> panache <input type="checkbox"/> bouffées<br>• <u>Modélisation des écarts-types :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input type="checkbox"/> par classes<br><input checked="" type="checkbox"/> continue | <input type="checkbox"/> eulérien 3D<br>• <u>Paramétrisation de la turbulence :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne | <input type="checkbox"/> lagrangien<br>• <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne |
|---|--|---|

**Phénomènes de dispersion représentés :**

- |   |   |   |
|---|---|---|
| • <i>Effets du relief :</i>                           | <input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo  | <input type="checkbox"/> modèle interne spécifique  |
| • <i>Effets des obstacles :</i>                       | <input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo  | <input checked="" type="checkbox"/> modèle interne spécifique   |
| • <i>Effets de la source :</i>                        | <input checked="" type="checkbox"/> source ponctuelle <input type="checkbox"/> source volumique<br><input type="checkbox"/> source linéique <input checked="" type="checkbox"/> source variable<br><input type="checkbox"/> source surfacique <input checked="" type="checkbox"/> source multiple | <input checked="" type="checkbox"/> surhauteur cinématique<br><input checked="" type="checkbox"/> surhauteur thermique<br><input type="checkbox"/> downwash/flagging              |
| • <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>  | <input checked="" type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion   | <input type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion<br><input type="checkbox"/> réflexion<br><input type="checkbox"/> pénétration<br><input type="checkbox"/> fumigation |
| • <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i> | <input type="checkbox"/> meandering   |   |
| • <i>Fluctuations :</i>                               | <input type="checkbox"/> écart-type de concentration  | <input type="checkbox"/> pdf de concentration   |
| • <i>Chimie</i>                                       | <input checked="" type="checkbox"/> chimie simplifiée   | <input type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe  |
| • <i>Déposition :</i>                                 | <input type="checkbox"/> particules<br><input type="checkbox"/> sédimentation   | <input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec<br><input checked="" type="checkbox"/> dépôt humide   |
| • <i>Radioactivité :</i>                              | <input type="checkbox"/> déc. radioactive   | <input type="checkbox"/> filiation radioactive<br><input type="checkbox"/> débit de dose  |

**Informations sur les données d'entrée :**

- |                                    |   |   |  |
|------------------------------------|---|---|--|
| • <i>Données géographiques :</i>   | <input type="checkbox"/> relief                                     | <input checked="" type="checkbox"/> obstacles | <input type="checkbox"/> catégories de sol |
| • <i>Données météorologiques :</i> | <input checked="" type="checkbox"/> mesures                         | <input type="checkbox"/> préprocesseur        | <input type="checkbox"/> champ 3D          |
| • <i>Données d'émission</i>        | <input checked="" type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées | <input type="checkbox"/> modèle d'émission    |  |

**Informations sur les données de sortie :**

- |                                 |  |  |                                       |                              |
|---------------------------------|--|--|---------------------------------------|------------------------------|
| • <i>Format des données :</i>   | <input checked="" type="checkbox"/> fichiers ASCII           | <input type="checkbox"/> cartographies           | <input type="checkbox"/> tracés 3D    | <input type="checkbox"/> Web |
| • <i>Grandeurs calculées :</i>  | <input checked="" type="checkbox"/> concentration moyenne    | <input checked="" type="checkbox"/> percentiles  |                                       |                              |
|                                 | <input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec                | <input checked="" type="checkbox"/> dépôt humide | <input type="checkbox"/> écart-type   |                              |
| • <i>Répartition temporelle</i> | <input checked="" type="checkbox"/> moyenne par pas de temps | <input type="checkbox"/> moyenne annuelle        | <input type="checkbox"/> fluctuations |                              |

ACRONYME :

STACKS

**Modèle météorologique :**

Aucun

• *Aucun modèle météorologique :*

- résultats de simulation  
 mesures météorologiques

• *Modèle diagnostique :*

- linéarisation des équations  
 conservation de la masse  
 modèle ID vertical

• *Modèle prognostique :*

- hydrostatique  
 incompressible

 maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :*

- terrain plat et homogène  
 terrain plat et non homogène  
 vallée isolée de profondeur modérée  
 colline isolée de pente modérée  
 collines et vallées de pentes modérées  
 relief de montagne

• *Prise en compte des obstacles :*

- rugosité  
 obstacle isolé  
 groupe d'obstacles

• *Stratification atmosphérique :*

- atmosphère neutre  
 atmosphère stable  
 atmosphère convective  
 brise de mer  
 brise de vallée  
 îlot de chaleur urbain

• *Modèle de sol :*

- sol hétérogène  
 échange de chaleur  
 échange d'humidité

• *Humidité atmosphérique :*

- atmosphère humide  
 microphysique des nuages  
 précipitations

**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :*

- PC  
 Mac Intosh  
 station Unix  
 calcul //

• *Système d'exploitation :*

- DOS  
 Windows  
 Linux  
 Unix

• *Langage utilisé :*

- Fortran  
 C  
 Autre langage

• *Interface utilisateur :*

- aucun (ASCII)  
 intégré

*logiciels de post traitement :*• *Temps de calcul par scénario :*

- < une seconde  
 < une minute  
 < une heure  
 > une heure

• *Modèles liés*

ACRONYME :

STACKS

- Références :

ERBRINK, J.J. and BANGE, P., 1992. Modelling dispersion and NO oxidation in power plant plumes. In: Proceedings of the 19th International technical meeting of NATO-CCMS on Air Pollution Modelling and its application, 29 September - 4 October 1991, Ierapetra, Greece. Plenum Press, New York.

ERBRINK, J.J., 1994. The Advanced Gaussian model STACKS. In: Proceedings of the ERCOFTAC workshop on 'Intercomparison of advanced practical short-range atmospheric dispersion models', (Ed. J.C. Cuvelier), Manno, Switzerland, 29 August-3 September 1993.

ERBRINK, J.J., 1994. Use of Advanced Meteorology in the Gaussian model "STACKS". Bound.-Layer Meteor., 74, pp 211-235.

ERBRINK, J.J.; TIEBEN, H.C.; and COSEMANS, G. 1994. Application of different dispersion models to a site near the Belgium-Dutch border. In: Proceedings of the third workshop on harmonisation within atmospheric dispersion Modelling for regulatory purposes. (Eds. G. Maes and J. Kretzschmar), 21-24 November, 1994 Mol Belgium.

ERBRINK, J.J., 1995. Turbulent Diffusion from Tall Stacks. The use of advanced boundary-layer meteorological parameters in the gaussian dispersion model "STACKS", Ph.D. Thesis, Free University, Amsterdam April 1995, 228 pp.

ACRONYME :

SYMOS97

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	Aucun			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> Gaussien	<input type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> ponctuelle	<input checked="" type="checkbox"/> linéique	<input checked="" type="checkbox"/> surfacique	<input type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input checked="" type="checkbox"/> rejet continu	<input type="checkbox"/> rejet variable	<input checked="" type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> locale	<input checked="" type="checkbox"/> urbaine	<input type="checkbox"/> régionale	<input type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input type="checkbox"/> horaire	<input type="checkbox"/> journalière	<input checked="" type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input checked="" type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input checked="" type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input type="checkbox"/> fluctuations
<input type="checkbox"/> visibilité de panache	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt	<input type="checkbox"/> chimie	<input checked="" type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>	Czek Hydrometeorological Institute - Prague - République Tchèque <a href="http://www.chmi.cz/indexe.html">http://www.chmi.cz/indexe.html</a>			
• <i>Distributeur du logiciel :</i>				
• <i>Contact :</i>	Tél.:		Fax :	
• <i>Type de licence :</i>	<input type="checkbox"/> accès libre	<input type="checkbox"/> accès contrôlé	<input checked="" type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input type="checkbox"/> doc technique	<input checked="" type="checkbox"/> doc utilisateur	<input type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>				

ACRONYME :

SYMOS97

**Modèle de dispersion :**

<input checked="" type="checkbox"/> gaussien	<input checked="" type="checkbox"/> panache	<input type="checkbox"/> bouffées	<input type="checkbox"/> eulérien 3D	<input type="checkbox"/> lagrangien
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Modélisation des écarts-types :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> par classes</li> <li><input type="checkbox"/> continue</li> </ul> </li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>				

**Phénomènes de dispersion représentés :**

• <i>Effets du relief :</i>	<input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input checked="" type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets des obstacles :</i>	<input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> source ponctuelle <input type="checkbox"/> source volumique <input checked="" type="checkbox"/> surhauteur cinématique <input checked="" type="checkbox"/> source linéique <input type="checkbox"/> source variable <input checked="" type="checkbox"/> surhauteur thermique <input checked="" type="checkbox"/> source surfacique <input checked="" type="checkbox"/> source multiple <input type="checkbox"/> downwash/flagging	
• <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion	<input type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion <input type="checkbox"/> réflexion <input type="checkbox"/> pénétration <input type="checkbox"/> fumigation
• <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i>	<input type="checkbox"/> meandering	
• <i>Fluctuations :</i>	<input type="checkbox"/> écart-type de concentration	<input type="checkbox"/> pdf de concentration
• <i>Chimie</i>	<input type="checkbox"/> chimie simplifiée	<input type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe
• <i>Déposition :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> particules	<input type="checkbox"/> dépôt sec
	<input type="checkbox"/> sédimentation	<input type="checkbox"/> dépôt humide
• <i>Radioactivité :</i>	<input type="checkbox"/> déc. radioactive	<input type="checkbox"/> filiation radioactive <input type="checkbox"/> débit de dose

**Informations sur les données d'entrée :**

• <i>Données géographiques :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input type="checkbox"/> catégories de sol
• <i>Données météorologiques :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> mesures	<input type="checkbox"/> préprocesseur	<input type="checkbox"/> champ 3D
• <i>Données d'émission</i>	<input checked="" type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées	<input type="checkbox"/> modèle d'émission	

**Informations sur les données de sortie :**

• <i>Format des données :</i>	<input type="checkbox"/> fichiers ASCII	<input type="checkbox"/> cartographies	<input type="checkbox"/> tracés 3D	<input type="checkbox"/> Web
• <i>Grandeurs calculées :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> concentration moyenne	<input type="checkbox"/> percentiles		
	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec	<input type="checkbox"/> dépôt humide	<input type="checkbox"/> écart-type	
• <i>Répartition temporelle</i>	<input type="checkbox"/> moyenne par pas de temps	<input checked="" type="checkbox"/> moyenne annuelle	<input type="checkbox"/> fluctuations	



ACRONYME :

SYMOS97

**Modèle météorologique :**

Aucun

• *Aucun modèle météorologique :*

- résultats de simulation  
 mesures météorologiques

• *Modèle diagnostique :*

- linéarisation des équations  
 conservation de la masse  
 modèle ID vertical

• *Modèle prognostique :*

- hydrostatique  
 incompressible

 maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :*

- terrain plat et homogène  
 terrain plat et non homogène  
 vallée isolée de profondeur modérée  
 colline isolée de pente modérée  
 collines et vallées de pentes modérées  
 relief de montagne

• *Prise en compte des obstacles :*

- rugosité  
 obstacle isolé  
 groupe d'obstacles

• *Stratification atmosphérique :*

- atmosphère neutre  
 atmosphère stable  
 atmosphère convective  
 brise de mer  
 brise de vallée  
 îlot de chaleur urbain

• *Modèle de sol :*

- sol hétérogène  
 échange de chaleur  
 échange d'humidité

• *Humidité atmosphérique :*

- atmosphère humide  
 microphysique des nuages  
 précipitations

**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :*

- PC  
 Mac Intosh  
 station Unix  
 calcul //

• *Système d'exploitation :*

- DOS  
 Windows  
 Linux  
 Unix

• *Langage utilisé :*

- Fortran  
 C  
 Autre langage

• *Interface utilisateur :*

- aucun (ASCII)  
 intégré

*logiciels de post traitement :*• *Temps de calcul par scénario :*

- < une seconde  
 < une minute  
 < une heure  
 > une heure

• *Modèles liés*

ACRONYME :

SYMOS97

- Références :

*Bubnik J, Keder J., Macoun J., Manak J. (1998) SYMOS'97 Model Description, CHMI, Prague (only in Czech at present time)*

*Srnensky R., SYMOS'97 User Guide, Idea-Envi, 1998, Prague*

ACRONYME :

TAMOS-D

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	Aucun			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input type="checkbox"/> Gaussien	<input type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input checked="" type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input type="checkbox"/> ponctuelle	<input type="checkbox"/> linéique	<input type="checkbox"/> surfacique	<input type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input type="checkbox"/> rejet continu	<input type="checkbox"/> rejet variable	<input type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input type="checkbox"/> locale	<input type="checkbox"/> urbaine	<input type="checkbox"/> régionale	<input type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input type="checkbox"/> horaire	<input type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input type="checkbox"/> fluctuations
<input type="checkbox"/> visibilité de panache	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt	<input type="checkbox"/> chimie	<input type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>	Central Institute for Meteorology and Geodynamics - Vienne - Autriche <a href="http://www.zamg.ac.at">http://www.zamg.ac.at</a>			
• <i>Distributeur du logiciel :</i>				
• <i>Contact :</i>	Tél.:		Fax :	
• <i>Type de licence :</i>	<input type="checkbox"/> accès libre	<input type="checkbox"/> accès contrôlé	<input type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input type="checkbox"/> doc technique	<input type="checkbox"/> doc utilisateur	<input type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>				

ACRONYME :

TAMOS-D

**Modèle de dispersion :**

- |   |   |  |  |  |
|---|---|--|--|--|
| <input type="checkbox"/> gaussien   | <input checked="" type="checkbox"/> panache | <input checked="" type="checkbox"/> bouffées | <input type="checkbox"/> eulérien 3D   | <input checked="" type="checkbox"/> lagrangien |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Modélisation des écarts-types :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> par classes</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> continue</li> </ul> </li> </ul> |   |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul> |  |
|   |   |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>  |  |

**Phénomènes de dispersion représentés :**

- |   |   |   |   |
|---|---|---|---|
| • <i>Effets du relief :</i>                           | <input checked="" type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo       | <input checked="" type="checkbox"/> modèle interne spécifique     |   |
| • <i>Effets des obstacles :</i>                       | <input checked="" type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo       | <input checked="" type="checkbox"/> modèle interne spécifique     |   |
| • <i>Effets de la source :</i>                        | <input checked="" type="checkbox"/> source ponctuelle                       | <input checked="" type="checkbox"/> source volumique              | <input checked="" type="checkbox"/> surhauteur cinématique              |
|   | <input checked="" type="checkbox"/> source linéique                         | <input checked="" type="checkbox"/> source variable               | <input checked="" type="checkbox"/> surhauteur thermique                |
|   | <input checked="" type="checkbox"/> source surfacique                       | <input checked="" type="checkbox"/> source multiple               | <input checked="" type="checkbox"/> downwash/flagging                   |
| • <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>  | <input checked="" type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion |   | <input checked="" type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion |
|   |   |   | <input checked="" type="checkbox"/> réflexion                           |
|   |   |   | <input checked="" type="checkbox"/> pénétration                         |
| • <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i> | <input checked="" type="checkbox"/> meandering                              |   | <input checked="" type="checkbox"/> fumigation                          |
| • <i>Fluctuations :</i>                               | <input checked="" type="checkbox"/> écart-type de concentration             | <input checked="" type="checkbox"/> pdf de concentration          |   |
| • <i>Chimie</i>                                       | <input checked="" type="checkbox"/> chimie simplifiée                       | <input checked="" type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe |   |
| • <i>Déposition :</i>                                 | <input checked="" type="checkbox"/> particules                              | <input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec                     |   |
|   | <input checked="" type="checkbox"/> sédimentation                           | <input checked="" type="checkbox"/> dépôt humide                  |   |
| • <i>Radioactivité :</i>                              | <input checked="" type="checkbox"/> déc. radioactive                        | <input checked="" type="checkbox"/> filiation radioactive         | <input checked="" type="checkbox"/> débit de dose                       |

**Informations sur les données d'entrée :**

- |                                    |   |   |   |
|------------------------------------|---|---|---|
| • <i>Données géographiques :</i>   | <input checked="" type="checkbox"/> relief                          | <input checked="" type="checkbox"/> obstacles         | <input checked="" type="checkbox"/> catégories de sol |
| • <i>Données météorologiques :</i> | <input checked="" type="checkbox"/> mesures                         | <input checked="" type="checkbox"/> préprocesseur     | <input checked="" type="checkbox"/> champ 3D          |
| • <i>Données d'émission</i>        | <input checked="" type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées | <input checked="" type="checkbox"/> modèle d'émission |   |

**Informations sur les données de sortie :**

- |                                 |  |  |  |   |
|---------------------------------|--|--|--|---|
| • <i>Format des données :</i>   | <input checked="" type="checkbox"/> fichiers ASCII           | <input checked="" type="checkbox"/> cartographies    | <input checked="" type="checkbox"/> tracés 3D    | <input checked="" type="checkbox"/> Web |
| • <i>Grandeurs calculées :</i>  | <input checked="" type="checkbox"/> concentration moyenne    |  | <input checked="" type="checkbox"/> percentiles  |   |
|                                 | <input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec                | <input checked="" type="checkbox"/> dépôt humide     | <input checked="" type="checkbox"/> écart-type   |   |
| • <i>Répartition temporelle</i> | <input checked="" type="checkbox"/> moyenne par pas de temps | <input checked="" type="checkbox"/> moyenne annuelle | <input checked="" type="checkbox"/> fluctuations |   |

ACRONYME :

TAMOS-D

**Modèle météorologique :**

Aucun

• *Aucun modèle météorologique :* résultats de simulation mesures météorologiques• *Modèle diagnostique :* linéarisation des équations conservation de la masse modèle ID vertical• *Modèle prognostique :* hydrostatique incompressible maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :* terrain plat et homogène vallée isolée de profondeur modérée collines et vallées de pentes modérées terrain plat et non homogène colline isolée de pente modérée relief de montagne• *Prise en compte des obstacles :* rugosité obstacle isolé groupe d'obstacles• *Stratification atmosphérique :* atmosphère neutre atmosphère stable atmosphère convective brise de mer brise de vallée îlot de chaleur urbain• *Modèle de sol :* sol hétérogène échange de chaleur échange d'humidité• *Humidité atmosphérique :* atmosphère humide microphysique des nuages précipitations**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :* PC Mac Intosh station Unix calcul //• *Système d'exploitation :* DOS Windows Linux Unix• *Langage utilisé :* Fortran C Autre langage• *Interface utilisateur :* aucun (ASCII) intégré*logiciels de post traitement :*• *Temps de calcul par scénario :* < une seconde < une minute < une heure > une heure• *Modèles liés*

ACRONYME :

TAMOS-D

- Références :

*Pechinger, U., K. Baumann, M. Langer, M. Matschir und A. Stohl (1997): Erstellung des Modellsystems TAMOS-D zur Abschätzung der Ausbreitung und Deposition radioaktiver Substanzen bei Nuklearunfällen. Bundeskanzleramt - Abteilung Strahlenschutz, interner Bericht.*

*Stohl, A., M. Hittenberger, and G. Wotawa (1998): Validation of the Lagrangian particle dispersion model FLEXPART against large scale tracer experiments. Submitted to Atmos. Environ.*

*Stohl, A., and G. Wotawa (1997): Validation of the Lagrangian particle model FLEXPART using ETEX data. In: Nodop, K. (editor): ETEX Symposium on Long-Range Atmospheric Transport, Model Verification and Emergency Response, European Commission EUR 17346, 167-170.*

ACRONYME :

TAPM

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	<b>Prognostique</b>			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input type="checkbox"/> Gaussien	<input checked="" type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input checked="" type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> ponctuelle	<input type="checkbox"/> linéique	<input type="checkbox"/> surfacique	<input type="checkbox"/> volumique
	<input checked="" type="checkbox"/> modèle de jet	<input type="checkbox"/> rejet continu	<input type="checkbox"/> rejet variable	<input type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> locale	<input checked="" type="checkbox"/> urbaine	<input checked="" type="checkbox"/> régionale	<input type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input checked="" type="checkbox"/> horaire	<input type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input checked="" type="checkbox"/> relief	<input checked="" type="checkbox"/> obstacles	<input type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input type="checkbox"/> fluctuations
<input type="checkbox"/> visibilité de panache	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt	<input checked="" type="checkbox"/> chimie	<input type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>	CSIRO - Division of Atmospheric Research <a href="http://www.dar.csiro.au/">http://www.dar.csiro.au/</a>			
• <i>Distributeur du logiciel :</i>				
• <i>Contact :</i>	Tél.:		Fax :	
• <i>Type de licence :</i>	<input type="checkbox"/> accès libre	<input checked="" type="checkbox"/> accès contrôlé	<input type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input type="checkbox"/> doc technique	<input type="checkbox"/> doc utilisateur	<input type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>				

ACRONYME :

TAPM

**Modèle de dispersion :**

<input type="checkbox"/> gaussien <input type="checkbox"/> panache <input type="checkbox"/> bouffées	<input checked="" type="checkbox"/> eulérien 3D	<input checked="" type="checkbox"/> lagrangien
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Modélisation des écarts-types :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> par classes</li> <li><input type="checkbox"/> continue</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>

**Phénomènes de dispersion représentés :**

• <i>Effets du relief :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets des obstacles :</i>	<input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input checked="" type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> source ponctuelle <input type="checkbox"/> source volumique <input checked="" type="checkbox"/> surhauteur cinématique <input type="checkbox"/> source linéique <input type="checkbox"/> source variable <input checked="" type="checkbox"/> surhauteur thermique <input type="checkbox"/> source surfacique <input type="checkbox"/> source multiple <input type="checkbox"/> downwash/flagging	
• <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>	<input type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion	<input type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion <input type="checkbox"/> réflexion <input type="checkbox"/> pénétration <input type="checkbox"/> fumigation
• <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i>	<input type="checkbox"/> meandering	
• <i>Fluctuations :</i>	<input type="checkbox"/> écart-type de concentration	<input type="checkbox"/> pdf de concentration
• <i>Chimie</i>	<input checked="" type="checkbox"/> chimie simplifiée	<input checked="" type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe
• <i>Déposition :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> particules <input checked="" type="checkbox"/> sédimentation	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec <input checked="" type="checkbox"/> dépôt humide
• <i>Radioactivité :</i>	<input type="checkbox"/> déc. radioactive	<input type="checkbox"/> filiation radioactive <input type="checkbox"/> débit de dose

**Informations sur les données d'entrée :**

• <i>Données géographiques :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input checked="" type="checkbox"/> catégories de sol
• <i>Données météorologiques :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> mesures	<input type="checkbox"/> préprocesseur	<input type="checkbox"/> champ 3D
• <i>Données d'émission</i>	<input checked="" type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées	<input type="checkbox"/> modèle d'émission	

**Informations sur les données de sortie :**

• <i>Format des données :</i>	<input type="checkbox"/> fichiers ASCII	<input type="checkbox"/> cartographies	<input checked="" type="checkbox"/> tracés 3D	<input type="checkbox"/> Web
• <i>Grandeurs calculées :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> concentration moyenne	<input type="checkbox"/> percentiles		
	<input type="checkbox"/> dépôt sec	<input type="checkbox"/> dépôt humide	<input type="checkbox"/> écart-type	
• <i>Répartition temporelle</i>	<input checked="" type="checkbox"/> moyenne par pas de temps	<input type="checkbox"/> moyenne annuelle	<input type="checkbox"/> fluctuations	



ACRONYME :

TAPM

**Modèle météorologique :****Prognostique**• *Aucun modèle météorologique :*

- résultats de simulation
- mesures météorologiques

• *Modèle diagnostique :*

- linéarisation des équations
- conservation de la masse
- modèle ID vertical

• *Modèle prognostique :*

- hydrostatique
- incompressible

 maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :*

- terrain plat et homogène
- terrain plat et non homogène
- vallée isolée de profondeur modérée
- colline isolée de pente modérée
- collines et vallées de pentes modérées
- relief de montagne

• *Prise en compte des obstacles :*

- rugosité
- obstacle isolé
- groupe d'obstacles

• *Stratification atmosphérique :*

- atmosphère neutre
- atmosphère stable
- atmosphère convective
- brise de mer
- brise de vallée
- îlot de chaleur urbain

• *Modèle de sol :*

- sol hétérogène
- échange de chaleur
- échange d'humidité

• *Humidité atmosphérique :*

- atmosphère humide
- microphysique des nuages
- précipitations

**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :*

- PC
- Mac Intosh
- station Unix
- calcul //

• *Système d'exploitation :*

- DOS
- Windows
- Linux
- Unix

• *Langage utilisé :*

- Fortran
- C
- Autre langage

• *Interface utilisateur :*

- aucun (ASCII)
- intégré

*logiciels de post traitement :*• *Temps de calcul par scénario :*

- < une seconde
- < une minute
- < une heure
- > une heure

• *Modèles liés*

ACRONYME :

TAPM

- Références :

ACRONYME :

UAM-IV

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	<b>Aucun</b>			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input type="checkbox"/> Gaussien	<input checked="" type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> ponctuelle	<input type="checkbox"/> linéique	<input checked="" type="checkbox"/> surfacique	<input type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input checked="" type="checkbox"/> rejet continu	<input checked="" type="checkbox"/> rejet variable	<input checked="" type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input type="checkbox"/> locale	<input checked="" type="checkbox"/> urbaine	<input checked="" type="checkbox"/> régionale	<input type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input checked="" type="checkbox"/> horaire	<input type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input checked="" type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input checked="" type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input type="checkbox"/> fluctuations
<input type="checkbox"/> visibilité de panache	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt	<input checked="" type="checkbox"/> chimie	<input type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>				
• <i>Distributeur du logiciel :</i>	Environmental Protection Agency <a href="http://www.epa.gov/scram001/">http://www.epa.gov/scram001/</a>			
• <i>Contact :</i>	Tél.:		Fax :	
• <i>Type de licence :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> accès libre	<input type="checkbox"/> accès contrôlé	<input type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input checked="" type="checkbox"/> doc technique	<input checked="" type="checkbox"/> doc utilisateur	<input checked="" type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>				

ACRONYME :

UAM-IV

**Modèle de dispersion :**

- |  |   |   |
|--|---|---|
| <input type="checkbox"/> gaussien <input type="checkbox"/> panache <input type="checkbox"/> bouffées<br>• <u>Modélisation des écarts-types :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input type="checkbox"/> par classes<br><input type="checkbox"/> continue | <input checked="" type="checkbox"/> eulérien 3D<br>• <u>Paramétrisation de la turbulence :</u><br><input checked="" type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input checked="" type="checkbox"/> modèle spécifique interne | <input type="checkbox"/> lagrangien<br>• <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne |
|--|---|---|

**Phénomènes de dispersion représentés :**

- |   |  |   |
|---|--|---|
| • <i>Effets du relief :</i>                           | <input checked="" type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo  | <input type="checkbox"/> modèle interne spécifique  |
| • <i>Effets des obstacles :</i>                       | <input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo   | <input type="checkbox"/> modèle interne spécifique  |
| • <i>Effets de la source :</i>                        | <input checked="" type="checkbox"/> source ponctuelle <input type="checkbox"/> source volumique<br><input type="checkbox"/> source linéique <input checked="" type="checkbox"/> source variable<br><input checked="" type="checkbox"/> source surfacique <input checked="" type="checkbox"/> source multiple | <input type="checkbox"/> surhauteur cinématique<br><input type="checkbox"/> surhauteur thermique<br><input type="checkbox"/> downwash/flagging                                    |
| • <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>  | <input type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion   | <input type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion<br><input type="checkbox"/> réflexion<br><input type="checkbox"/> pénétration<br><input type="checkbox"/> fumigation |
| • <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i> | <input type="checkbox"/> meandering  |   |
| • <i>Fluctuations :</i>                               | <input type="checkbox"/> écart-type de concentration   | <input type="checkbox"/> pdf de concentration   |
| • <i>Chimie</i>                                       | <input checked="" type="checkbox"/> chimie simplifiée  | <input checked="" type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe   |
| • <i>Déposition :</i>                                 | <input type="checkbox"/> particules<br><input type="checkbox"/> sédimentation  | <input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec<br><input type="checkbox"/> dépôt humide  |
| • <i>Radioactivité :</i>                              | <input type="checkbox"/> déc. radioactive  | <input type="checkbox"/> filiation radioactive <input type="checkbox"/> débit de dose   |

**Informations sur les données d'entrée :**

- |                                    |   |  |   |
|------------------------------------|---|--|---|
| • <i>Données géographiques :</i>   | <input type="checkbox"/> relief                                     | <input type="checkbox"/> obstacles         | <input checked="" type="checkbox"/> catégories de sol |
| • <i>Données météorologiques :</i> | <input checked="" type="checkbox"/> mesures                         | <input type="checkbox"/> préprocesseur     | <input checked="" type="checkbox"/> champ 3D          |
| • <i>Données d'émission</i>        | <input checked="" type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées | <input type="checkbox"/> modèle d'émission |   |

**Informations sur les données de sortie :**

- |                                 |  |   |   |   |
|---------------------------------|--|---|---|---|
| • <i>Format des données :</i>   | <input checked="" type="checkbox"/> fichiers ASCII           | <input type="checkbox"/> cartographies      | <input checked="" type="checkbox"/> tracés 3D | <input type="checkbox"/> Web                |
| • <i>Grandeurs calculées :</i>  | <input checked="" type="checkbox"/> concentration moyenne    | <input type="checkbox"/> dépôts humides     | <input type="checkbox"/> écart-type           | <input type="checkbox"/> moyennes annuelles |
| • <i>Répartition temporelle</i> | <input checked="" type="checkbox"/> moyenne par pas de temps | <input type="checkbox"/> moyennes annuelles | <input type="checkbox"/> fluctuations         |   |

ACRONYME :

UAM-IV

**Modèle météorologique :**

Aucun

• *Aucun modèle météorologique :*

- résultats de simulation  
 mesures météorologiques

• *Modèle diagnostique :*

- linéarisation des équations  
 conservation de la masse  
 modèle ID vertical

• *Modèle prognostique :*

- hydrostatique  
 incompressible

 maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :*

- terrain plat et homogène  
 terrain plat et non homogène  
 vallée isolée de profondeur modérée  
 colline isolée de pente modérée  
 collines et vallées de pentes modérées  
 relief de montagne

• *Prise en compte des obstacles :*

- rugosité  
 obstacle isolé  
 groupe d'obstacles

• *Stratification atmosphérique :*

- atmosphère neutre  
 atmosphère stable  
 atmosphère convective  
 brise de mer  
 brise de vallée  
 îlot de chaleur urbain

• *Modèle de sol :*

- sol hétérogène  
 échange de chaleur  
 échange d'humidité

• *Humidité atmosphérique :*

- atmosphère humide  
 microphysique des nuages  
 précipitations

**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :* PC Mac Intosh station Unix calcul //• *Système d'exploitation :* DOS Windows Linux Unix• *Langage utilisé :* Fortran C Autre langage• *Interface utilisateur :* aucun (ASCII) intégré*logiciels de post traitement :*• *Temps de calcul par scénario :* < une seconde < une minute < une heure > une heure• *Modèles liés*

CBM-IV

ACRONYME :

UAM-IV

- *Références :*

- 1/ *Builtjes, P.J.H., K.D. van der Hurt and S.D. Reynolds, 1982. Evaluation of the Performance of a Photochemical Dispersion Model in Practical Applications. 13th International Technical Meeting on Air Pollution Modeling and Its Application, Ile des Embiez, France.*
- 2/ *Cole, H.S., D.E. Layland, G.K. Moss and C.F. Newberry, 1983. The St. Louis Ozone Modeling Project. EPA Publication No. EPA-450/4-83-019. U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC.*
- 3/ *Dennis, R.L., M.W. Downton and R.S. Keil, 1983. Evaluation of Performance Measures for an Urban Photochemical Model. EPA Publication No. EPA-450/4-83-021. U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC.*
- 4/ *Haney, J.L. and T.N. Braverman, 1985. Evaluation and Application of the Urban Airshed Model in the Philadelphia Air Quality Control Region. EPA Publication No. EPA-450/4-85-003. U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC.*
- 5/ *Layland, D.E. and H.S. Cole, 1983. A Review of Recent Applications of the SAI Urban Airshed Model. EPA Publication No. EPA-450/4-84-004. U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC.*
- 6/ *Layland, D.E., S.D. Reynolds, H. Hogo and W.R. Oliver, 1983. Demonstration of Photochemical Grid Model Usage for Ozone Control Assessment. 76th Annual Meeting of the Air Pollution Control Association, Atlanta, GA.*
- 7/ *Morris, R.E. et al., 1990. Urban Airshed Model Study of Five Cities. EPA Publication No. EPA-450/4-90-006a-g. U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC.*
- 8/ *Reynolds, S.D., H. Hogo, W.R. Oliver and L.E. Reid, 1982. Application of the SAI Airshed Model to the Tulsa Metropolitan Area, SAI No. 82004. Systems Applications, Inc., San Rafael, CA.*
- 9/ *Schere, K.L. and J.H. Shreffler, 1982. Final Evaluation of Urban-Scale Photochemical Air Quality Simulation Models. EPA Publication No. EPA-600/3-82-094. U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC.*
- 10/ *Seigneur C., T.W. Tesche, C.E. Reid, P.M. Roth, W.R. Oliver and J.C. Cassmassi, 1981. The Sensitivity of Complex Photochemical Model Estimates to Detail In Input Information, Appendix A—A Compilation of Simulation Results. EPA Publication No. EPA-450/4-81-031b. U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC.*
- 11/ *South Coast Air Quality Management District, 1989. Air Quality Management Plan— Appendix V–R (Urban Airshed Model Performance Evaluation). El Monte, CA.*
- 12/ *Stern, R. and B. Scherer, 1982. Simulation of a Photochemical Smog Episode in the Rhine-Ruhr Area with a Three Dimensional Grid Model. 13th International Technical Meeting on Air Pollution Modeling and Its Application, Ile des Embiez, France.*
- 13/ *Tesche, T.W., C. Seigneur, L.E. Reid, P.M. Roth, W.R. Oliver and J.C. Cassmassi, 1981. The Sensitivity of Complex Photochemical Model Estimates to Detail in Input Information. EPA Publication No. EPA-450/4-81-031a. U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC.*
- 14/ *Tesche, T.W., W.R. Oliver, H. Hogo, P. Saxeena and J.L. Haney, 1983. Volume IV— Assessment of NOX Emission Control equirements in the South Coast Air Basin— Appendix A. Performance Evaluation of the Systems Applications Airshed Model for the 26–27 June 1974 O3 Episode in the South Coast Air Basin, SYSAPP 83/037. Systems Applications, Inc., San Rafael, CA.*
- 15/ *Tesche, T.W., W.R. Oliver, H. Hogo, P. Saxeena and J.L. Haney, 1983. Volume IV— Assessment of NOX Emission Control equirements in the South Coast Air Basin— Appendix B. Performance Evaluation of the Systems Applications Airshed Model for the 7–8 November 1978 NO2 Episode in the South Coast Air Basin, SYSAPP 83/038. Systems Applications, Inc., San Rafael, CA.*
- 16/ *Tesche, T.W., 1988. Accuracy of Ozone Air Quality Models. Journal of Environmental Engineering, 114(4): 739–752.*

ACRONYME :

UAM-V

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	<b>Aucun</b>			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input type="checkbox"/> Gaussien	<input checked="" type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> ponctuelle	<input type="checkbox"/> linéique	<input checked="" type="checkbox"/> surfacique	<input type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input checked="" type="checkbox"/> rejet continu	<input checked="" type="checkbox"/> rejet variable	<input checked="" type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input type="checkbox"/> locale	<input checked="" type="checkbox"/> urbaine	<input checked="" type="checkbox"/> régionale	<input type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input checked="" type="checkbox"/> horaire	<input type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input checked="" type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input type="checkbox"/> fluctuations
<input type="checkbox"/> visibilité de panache	<input type="checkbox"/> dépôt	<input checked="" type="checkbox"/> chimie	<input type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>	Systems Applications International <a href="http://uamv.saintl.com/">http://uamv.saintl.com/</a>			
• <i>Distributeur du logiciel :</i>	Systems Applications International <a href="http://uamv.saintl.com/">http://uamv.saintl.com/</a>			
• <i>Contact :</i>	<a href="http://SDouglas@icfconsulting.com">http://SDouglas@icfconsulting.com</a>		Tél.:	Fax :
• <i>Type de licence :</i>	<input type="checkbox"/> accès libre	<input checked="" type="checkbox"/> accès contrôlé	<input type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input checked="" type="checkbox"/> doc technique	<input checked="" type="checkbox"/> doc utilisateur	<input type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>				

ACRONYME :

UAM-V

**Modèle de dispersion :**

<input type="checkbox"/> gaussien	<input type="checkbox"/> panache	<input type="checkbox"/> bouffées	<input checked="" type="checkbox"/> eulérien 3D	<input type="checkbox"/> lagrangien
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Modélisation des écarts-types :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> par classes</li> <li><input type="checkbox"/> continue</li> </ul> </li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>				

**Phénomènes de dispersion représentés :**

• <i>Effets du relief :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets des obstacles :</i>	<input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> source ponctuelle <input type="checkbox"/> source volumique <input checked="" type="checkbox"/> surhauteur cinématique <input type="checkbox"/> source linéique <input checked="" type="checkbox"/> source variable <input checked="" type="checkbox"/> surhauteur thermique <input checked="" type="checkbox"/> source surfacique <input checked="" type="checkbox"/> source multiple <input type="checkbox"/> downwash/flagging	
• <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion	<input type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion <input type="checkbox"/> réflexion <input type="checkbox"/> pénétration <input type="checkbox"/> fumigation
• <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i>	<input type="checkbox"/> meandering	
• <i>Fluctuations :</i>	<input type="checkbox"/> écart-type de concentration	<input type="checkbox"/> pdf de concentration
• <i>Chimie</i>	<input checked="" type="checkbox"/> chimie simplifiée	<input checked="" type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe
• <i>Déposition :</i>	<input type="checkbox"/> particules	<input type="checkbox"/> dépôt sec
	<input type="checkbox"/> sédimentation	<input type="checkbox"/> dépôt humide
• <i>Radioactivité :</i>	<input type="checkbox"/> déc. radioactive	<input type="checkbox"/> filiation radioactive <input type="checkbox"/> débit de dose

**Informations sur les données d'entrée :**

• <i>Données géographiques :</i>	<input type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input checked="" type="checkbox"/> catégories de sol
• <i>Données météorologiques :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> mesures	<input type="checkbox"/> préprocesseur	<input checked="" type="checkbox"/> champ 3D
• <i>Données d'émission</i>	<input checked="" type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées	<input type="checkbox"/> modèle d'émission	

**Informations sur les données de sortie :**

• <i>Format des données :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> fichiers ASCII	<input type="checkbox"/> cartographies	<input checked="" type="checkbox"/> tracés 3D	<input type="checkbox"/> Web
• <i>Grandeurs calculées :</i>	<input type="checkbox"/> concentration moyenne	<input type="checkbox"/> percentiles		
	<input type="checkbox"/> dépôt sec	<input type="checkbox"/> dépôt humide	<input type="checkbox"/> écart-type	
• <i>Répartition temporelle</i>	<input checked="" type="checkbox"/> moyenne par pas de temps	<input type="checkbox"/> moyenne annuelle	<input type="checkbox"/> fluctuations	



ACRONYME :

UAM-V

**Modèle météorologique :**

Aucun

• *Aucun modèle météorologique :*

- résultats de simulation  
 mesures météorologiques

• *Modèle diagnostique :*

- linéarisation des équations  
 conservation de la masse  
 modèle ID vertical

• *Modèle prognostique :*

- hydrostatique  
 incompressible

 maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :*

- terrain plat et homogène  
 terrain plat et non homogène  
 vallée isolée de profondeur modérée  
 colline isolée de pente modérée  
 collines et vallées de pentes modérées  
 relief de montagne

• *Prise en compte des obstacles :*

- rugosité  
 obstacle isolé  
 groupe d'obstacles

• *Stratification atmosphérique :*

- atmosphère neutre  
 atmosphère stable  
 atmosphère convective  
 brise de mer  
 brise de vallée  
 îlot de chaleur urbain

• *Modèle de sol :*

- sol hétérogène  
 échange de chaleur  
 échange d'humidité

• *Humidité atmosphérique :*

- atmosphère humide  
 microphysique des nuages  
 précipitations

**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :*

PC  
 Mac Intosh  
 station Unix  
 calcul //

• *Système d'exploitation :*

DOS  
 Windows  
 Linux  
 Unix

• *Langage utilisé :*

Fortran  
 C  
 Autre langage

• *Interface utilisateur :*

aucun (ASCII)  
 intégré

*logiciels de post traitement :*• *Temps de calcul par scénario :*

< une seconde  
 < une minute  
 < une heure  
 > une heure

• *Modèles liés*

CB-IV : modèle de photochimie

ACRONYME :

UAM-V

- Références :

ACRONYME :

UDM-FMI

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	<b>Aucun</b>			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input type="checkbox"/> Gaussien	<input type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input type="checkbox"/> ponctuelle	<input type="checkbox"/> linéique	<input type="checkbox"/> surfacique	<input type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input type="checkbox"/> rejet continu	<input type="checkbox"/> rejet variable	<input type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input type="checkbox"/> locale	<input type="checkbox"/> urbaine	<input type="checkbox"/> régionale	<input type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input type="checkbox"/> horaire	<input type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input type="checkbox"/> fluctuations
<input type="checkbox"/> visibilité de panache	<input type="checkbox"/> dépôt	<input type="checkbox"/> chimie	<input type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>	Finnish Meteorological Institute <a href="http://www.fmi.fi/research_air/air_16.html">http://www.fmi.fi/research_air/air_16.html</a>			
• <i>Distributeur du logiciel :</i>				
• <i>Contact :</i>	Tél.:		Fax :	
• <i>Type de licence :</i>	<input type="checkbox"/> accès libre	<input type="checkbox"/> accès contrôlé	<input type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input type="checkbox"/> doc technique	<input type="checkbox"/> doc utilisateur	<input type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>				

ACRONYME :

UDM-FMI

**Modèle de dispersion :**

<input type="checkbox"/> gaussien	<input type="checkbox"/> panache	<input type="checkbox"/> bouffées	<input type="checkbox"/> eulérien 3D	<input type="checkbox"/> lagrangien
<ul style="list-style-type: none"> <li><u>Modélisation des écarts-types :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> par classes</li> <li><input type="checkbox"/> continue</li> </ul> </li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li><u>Paramétrisation de la turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li><u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>				

**Phénomènes de dispersion représentés :**

• <i>Effets du relief :</i>	<input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets des obstacles :</i>	<input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets de la source :</i>	<input type="checkbox"/> source ponctuelle <input type="checkbox"/> source volumique <input type="checkbox"/> surhauteur cinématique <input type="checkbox"/> source linéique <input type="checkbox"/> source variable <input type="checkbox"/> surhauteur thermique <input type="checkbox"/> source surfacique <input type="checkbox"/> source multiple <input type="checkbox"/> downwash/flagging	
• <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>	<input type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion	<input type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion <input type="checkbox"/> réflexion <input type="checkbox"/> pénétration <input type="checkbox"/> fumigation
• <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i>	<input type="checkbox"/> meandering	
• <i>Fluctuations :</i>	<input type="checkbox"/> écart-type de concentration	<input type="checkbox"/> pdf de concentration
• <i>Chimie</i>	<input type="checkbox"/> chimie simplifiée	<input type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe
• <i>Déposition :</i>	<input type="checkbox"/> particules <input type="checkbox"/> sédimentation	<input type="checkbox"/> dépôt sec <input type="checkbox"/> dépôt humide
• <i>Radioactivité :</i>	<input type="checkbox"/> déc. radioactive	<input type="checkbox"/> filiation radioactive <input type="checkbox"/> débit de dose

**Informations sur les données d'entrée :**

• <i>Données géographiques :</i>	<input type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input type="checkbox"/> catégories de sol
• <i>Données météorologiques :</i>	<input type="checkbox"/> mesures	<input type="checkbox"/> préprocesseur	<input type="checkbox"/> champ 3D
• <i>Données d'émission</i>	<input type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées	<input type="checkbox"/> modèle d'émission	

**Informations sur les données de sortie :**

• <i>Format des données :</i>	<input type="checkbox"/> fichiers ASCII	<input type="checkbox"/> cartographies	<input type="checkbox"/> tracés 3D	<input type="checkbox"/> Web
• <i>Grandeurs calculées :</i>	<input type="checkbox"/> concentration moyenne	<input type="checkbox"/> percentiles		
	<input type="checkbox"/> dépôt sec	<input type="checkbox"/> dépôt humide	<input type="checkbox"/> écart-type	
• <i>Répartition temporelle</i>	<input type="checkbox"/> moyenne par pas de temps	<input type="checkbox"/> moyenne annuelle	<input type="checkbox"/> fluctuations	

ACRONYME :

UDM-FMI

**Modèle météorologique :**

Aucun

• *Aucun modèle météorologique :* résultats de simulation mesures météorologiques• *Modèle diagnostique :* linéarisation des équations conservation de la masse modèle ID vertical• *Modèle prognostique :* hydrostatique incompressible maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :* terrain plat et homogène vallée isolée de profondeur modérée collines et vallées de pentes modérées terrain plat et non homogène colline isolée de pente modérée relief de montagne• *Prise en compte des obstacles :* rugosité obstacle isolé groupe d'obstacles• *Stratification atmosphérique :* atmosphère neutre atmosphère stable atmosphère convective brise de mer brise de vallée îlot de chaleur urbain• *Modèle de sol :* sol hétérogène échange de chaleur échange d'humidité• *Humidité atmosphérique :* atmosphère humide microphysique des nuages précipitations**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :* PC Mac Intosh station Unix calcul //• *Système d'exploitation :* DOS Windows Linux Unix• *Langage utilisé :* Fortran C Autre langage• *Interface utilisateur :* aucun (ASCII) intégré*logiciels de post traitement :*• *Temps de calcul par scénario :* < une seconde < une minute < une heure > une heure• *Modèles liés*

ACRONYME :

UDM-FMI

• *Références :*

Karppinen, A., Kukkonen, J., Konttinen, M., Harkonen, J., Valkonen, E., Rantakrans, E., Koskentalo, T., and Elolahde, T., 1997a. The emissions, dispersion and chemical transformation of traffic-originated nitrogen oxides at the Helsinki metropolitan area. In: Joumard, R., *Proceedings of the 4th international scientific symposium "Transport and Air Pollution" in Avignon, France, 9-13 June 1997. Avignon, pp.121-127.*

Karppinen, A., Kukkonen, J., Konttinen, M., Rantakrans, E., Valkonen, E., Harkonen, J., Koskentalo, T. and Elolahde, T., 1997b. Comparison of dispersion model predictions and the results from an urban air quality measurement network. In: Power, H., Tirabassi, T., and Brebbia, C. A. (eds.). *Air Pollution V. CMP, Southampton, pp. 405-411.*

Karppinen, A., Kukkonen, J., Nordlund, G., Rantakrans, E., and Valkama, I., 1998a. A dispersion modelling system for urban air pollution. *Finnish Meteorological Institute, Publications on Air Quality. Helsinki, 50 p*

Karppinen, A., Kukkonen, J., Konttinen, M., Harkonen, J., Valkonen, E., Koskentalo, T., Elolahde, T., 1998b. Development and verification of a modelling system for predicting urban NO<sub>2</sub> concentrations. In: Gryning, S.-E. and Chaumerliac, N. (eds.), *Air pollution modelling and its application XXII, NATO, Challenges of Modern Society, Volume 22. New York and London, pp. 567-574.*

Kukkonen, J., Harkonen, J., Valkonen, E., Karppinen, A. and Rantakrans, E., 1997. Regulatory dispersion modelling in Finland. *International Journal of Environment and Pollution, Vol. 8., Nos. 3-6, p. 782-788.*

Olesen, H.R., (1995), *Datasets and protocol for model validation. International Journal of Environment and Pollution, Vol. 5, Nos. 4-5, pp. 693-701.*

Valkonen, E., Harkonen, J., Kukkonen, J., Rantakrans, E., Jalkanen, L. and Haarala, S., 1995. Application of dispersion models for evaluating the influence of urban air pollution on human health. *International Journal of Environment and Pollution, Vol. 5, Nos. 4-6, 557 - 566.*

Valkonen, E., Harkonen, J., Kukkonen, J., Rantakrans, E., Jalkanen, L. and Haarala, S., 1996. Modelling urban air pollution in Espoo, Finland. *The Science of the Total Environment 189/190, 205-211.*

ACRONYME :

WINDVALLEY

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	<b>Aucun</b>			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input type="checkbox"/> Gaussien	<input checked="" type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> ponctuelle	<input type="checkbox"/> linéique	<input checked="" type="checkbox"/> surfacique	<input type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input checked="" type="checkbox"/> rejet continu	<input type="checkbox"/> rejet variable	<input checked="" type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> locale	<input checked="" type="checkbox"/> urbaine	<input type="checkbox"/> régionale	<input type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input checked="" type="checkbox"/> horaire	<input type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input checked="" type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input checked="" type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input type="checkbox"/> fluctuations
<input type="checkbox"/> visibilité de panache	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt	<input type="checkbox"/> chimie	<input checked="" type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>	WYNDsoft Inc			
• <i>Distributeur du logiciel :</i>				
• <i>Contact :</i>	Tél.:		Fax :	
• <i>Type de licence :</i>	<input type="checkbox"/> accès libre	<input type="checkbox"/> accès contrôlé	<input type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input type="checkbox"/> doc technique	<input type="checkbox"/> doc utilisateur	<input type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>				

ACRONYME :

WINDVALLEY

**Modèle de dispersion :**

<input type="checkbox"/> gaussien	<input type="checkbox"/> panache	<input type="checkbox"/> bouffées	<input checked="" type="checkbox"/> eulérien 3D	<input type="checkbox"/> lagrangien
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Modélisation des écarts-types :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> par classes</li> <li><input type="checkbox"/> continue</li> </ul> </li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo</li> <li><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne</li> </ul> </li> </ul>				

**Phénomènes de dispersion représentés :**

• <i>Effets du relief :</i>	<input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input checked="" type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets des obstacles :</i>	<input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo	<input type="checkbox"/> modèle interne spécifique
• <i>Effets de la source :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> source ponctuelle <input type="checkbox"/> source volumique <input type="checkbox"/> surhauteur cinématique <input type="checkbox"/> source linéique <input type="checkbox"/> source variable <input type="checkbox"/> surhauteur thermique <input checked="" type="checkbox"/> source surfacique <input checked="" type="checkbox"/> source multiple <input type="checkbox"/> downwash/flagging	
• <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>	<input type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion	<input type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion <input type="checkbox"/> réflexion <input type="checkbox"/> pénétration <input type="checkbox"/> fumigation
• <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i>	<input type="checkbox"/> meandering	
• <i>Fluctuations :</i>	<input type="checkbox"/> écart-type de concentration	<input type="checkbox"/> pdf de concentration
• <i>Chimie</i>	<input type="checkbox"/> chimie simplifiée	<input type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe
• <i>Déposition :</i>	<input type="checkbox"/> particules <input type="checkbox"/> sédimentation	<input checked="" type="checkbox"/> dépôt sec <input checked="" type="checkbox"/> dépôt humide
• <i>Radioactivité :</i>	<input type="checkbox"/> déc. radioactive	<input type="checkbox"/> filiation radioactive <input type="checkbox"/> débit de dose

**Informations sur les données d'entrée :**

• <i>Données géographiques :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> relief	<input type="checkbox"/> obstacles	<input type="checkbox"/> catégories de sol
• <i>Données météorologiques :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> mesures	<input type="checkbox"/> préprocesseur	<input type="checkbox"/> champ 3D
• <i>Données d'émission</i>	<input checked="" type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées	<input type="checkbox"/> modèle d'émission	

**Informations sur les données de sortie :**

• <i>Format des données :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> fichiers ASCII	<input type="checkbox"/> cartographies	<input type="checkbox"/> tracés 3D	<input type="checkbox"/> Web
• <i>Grandeurs calculées :</i>	<input type="checkbox"/> concentration moyenne	<input type="checkbox"/> percentiles		
	<input type="checkbox"/> dépôt sec	<input type="checkbox"/> dépôt humide	<input type="checkbox"/> écart-type	
• <i>Répartition temporelle</i>	<input checked="" type="checkbox"/> moyenne par pas de temps	<input checked="" type="checkbox"/> moyenne annuelle	<input type="checkbox"/> fluctuations	



ACRONYME :

WINDVALLEY

**Modèle météorologique :**

Aucun

• *Aucun modèle météorologique :*

- résultats de simulation  
 mesures météorologiques

• *Modèle diagnostique :*

- linéarisation des équations  
 conservation de la masse  
 modèle ID vertical

• *Modèle prognostique :*

- hydrostatique  
 incompressible

 maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :*

- terrain plat et homogène  
 terrain plat et non homogène  
 vallée isolée de profondeur modérée  
 colline isolée de pente modérée  
 collines et vallées de pentes modérées  
 relief de montagne

• *Prise en compte des obstacles :*

- rugosité  
 obstacle isolé  
 groupe d'obstacles

• *Stratification atmosphérique :*

- atmosphère neutre  
 atmosphère stable  
 atmosphère convective  
 brise de mer  
 brise de vallée  
 îlot de chaleur urbain

• *Modèle de sol :*

- sol hétérogène  
 échange de chaleur  
 échange d'humidité

• *Humidité atmosphérique :*

- atmosphère humide  
 microphysique des nuages  
 précipitations

**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :*

- PC  
 Mac Intosh  
 station Unix  
 calcul //

• *Système d'exploitation :*

- DOS  
 Windows  
 Linux  
 Unix

• *Langage utilisé :*

- Fortran  
 C  
 Autre langage

• *Interface utilisateur :*

- aucun (ASCII)  
 intégré

*logiciels de post traitement :*• *Temps de calcul par scénario :*

- < une seconde  
 < une minute  
 < une heure  
 > une heure

• *Modèles liés*

ACRONYME :

WINDVALLEY

- Références :

*Harrison, H., G. Pade, C. Bowman and R. Wilson, 1990. Air Quality During Stagnations: A Comparison of RAM and WYNDvalley with PM-10 Measurements at Five Sites. JA WMA, 40: 47-52.*

*Maykut, N. et al., 1990. Evaluation of the Atmospheric Deposition of Toxic Contaminants to Puget Sound. State of Washington, Puget Sound Water Quality Authority, Seattle, WA.*

*Yoshida, C., 1990. A Comparison of WYNDvalley Versions 2.12 and 3.0 with PM-10 Measurements in Six Cities in the Pacific Northwest. Lane Regional Air Pollution Authority, Springfield, OR.*

ACRONYME :

WinMISKAM

**Types de modélisation :**

• <i>Modèle météorologique :</i>	<b>Prognostique</b>			
• <i>Modèle de dispersion :</i>	<input type="checkbox"/> Gaussien	<input checked="" type="checkbox"/> Eulérien 3D	<input type="checkbox"/> Lagrangien	<input type="checkbox"/> Hybride
• <i>Modélisation de la source :</i>	<input type="checkbox"/> ponctuelle	<input type="checkbox"/> linéique	<input checked="" type="checkbox"/> surfacique	<input type="checkbox"/> volumique
	<input type="checkbox"/> modèle de jet	<input type="checkbox"/> rejet continu	<input type="checkbox"/> rejet variable	<input type="checkbox"/> sources multiples
• <i>Modèle d'émission :</i>	<input type="checkbox"/> radioactivité	<input type="checkbox"/> trafic	<input type="checkbox"/> débit à la brèche	
	<input type="checkbox"/> émission de poussières		<input type="checkbox"/> autres émissions	

**Echelles considérées :**

• <i>Echelles spatiales :</i>	<input checked="" type="checkbox"/> locale	<input checked="" type="checkbox"/> urbaine	<input type="checkbox"/> régionale	<input type="checkbox"/> continentale
• <i>Echelles temporelles :</i>	<input type="checkbox"/> instantanée	<input checked="" type="checkbox"/> horaire	<input type="checkbox"/> journalière	<input type="checkbox"/> annuelle

**Principaux phénomènes physiques pris en compte :**

<input type="checkbox"/> relief	<input checked="" type="checkbox"/> obstacles	<input type="checkbox"/> stratification atmosphérique	<input type="checkbox"/> fluctuations
<input type="checkbox"/> visibilité de panache	<input type="checkbox"/> dépôt	<input checked="" type="checkbox"/> chimie	<input type="checkbox"/> vent calme

**Renseignements administratifs**

• <i>Concepteur du logiciel :</i>	Software für Software für Immissionsberechnungen <a href="http://www.sfi-software.de/">http://www.sfi-software.de/</a>			
• <i>Distributeur du logiciel :</i>				
• <i>Contact :</i>	Tél.:		Fax :	
• <i>Type de licence :</i>	<input type="checkbox"/> accès libre	<input checked="" type="checkbox"/> accès contrôlé	<input checked="" type="checkbox"/> commerciale	<input type="checkbox"/> non distribué
• <i>Coût de licence :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Coût de maintenance /an :</i>	<input type="checkbox"/> gratuite	<input type="checkbox"/> < 1500 € HT	<input type="checkbox"/> < 7500 € HT	<input type="checkbox"/> > 7500 € HT
• <i>Documentation :</i>	<input type="checkbox"/> aucune	<input type="checkbox"/> doc technique	<input type="checkbox"/> doc utilisateur	<input type="checkbox"/> doc en ligne
• <i>Support technique :</i>	<input type="checkbox"/> aucun	<input type="checkbox"/> à distance	<input type="checkbox"/> sur site	<input type="checkbox"/> formation
• <i>Agrément :</i>				

ACRONYME :

WinMISKAM

**Modèle de dispersion :**

- |  |  |   |
|--|--|---|
| <input type="checkbox"/> gaussien <input type="checkbox"/> panache <input type="checkbox"/> bouffées<br>• <u>Modélisation des écarts-types :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input type="checkbox"/> par classes<br><input type="checkbox"/> continue | <input checked="" type="checkbox"/> eulérien 3D<br>• <u>Paramétrisation de la turbulence :</u><br><input checked="" type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne | <input type="checkbox"/> lagrangien<br>• <u>Paramétrisation de la diffusion turbulence :</u><br><input type="checkbox"/> sortie du modèle météo<br><input type="checkbox"/> modèle spécifique interne |
|--|--|---|

**Phénomènes de dispersion représentés :**

- |   |   |  |  |
|---|---|--|--|
| • <i>Effets du relief :</i>                           | <input type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo            | <input type="checkbox"/> modèle interne spécifique     |  |
| • <i>Effets des obstacles :</i>                       | <input checked="" type="checkbox"/> pris en compte par le champ météo | <input type="checkbox"/> modèle interne spécifique     |  |
| • <i>Effets de la source :</i>                        | <input type="checkbox"/> source ponctuelle                            | <input type="checkbox"/> source volumique              | <input type="checkbox"/> surhauteur cinématique              |
|   | <input type="checkbox"/> source linéique                              | <input type="checkbox"/> source variable               | <input type="checkbox"/> surhauteur thermique                |
|   | <input checked="" type="checkbox"/> source surfacique                 | <input type="checkbox"/> source multiple               | <input type="checkbox"/> downwash/flagging                   |
| • <i>Effets de la stratification atmosphérique :</i>  | <input type="checkbox"/> effet sur les coefficients de diffusion      |  | <input type="checkbox"/> effets liés à la couche d'inversion |
|   |   |  | <input type="checkbox"/> réflexion                           |
|   |   |  | <input type="checkbox"/> pénétration                         |
|   |   |  | <input type="checkbox"/> fumigation                          |
| • <i>Variabilité des conditions météorologiques :</i> | <input type="checkbox"/> meandering                                   |  |  |
| • <i>Fluctuations :</i>                               | <input type="checkbox"/> écart-type de concentration                  | <input type="checkbox"/> pdf de concentration          |  |
| • <i>Chimie</i>                                       | <input checked="" type="checkbox"/> chimie simplifiée                 | <input type="checkbox"/> chimie atmosphérique complexe |  |
| • <i>Déposition :</i>                                 | <input type="checkbox"/> particules                                   | <input type="checkbox"/> dépôt sec                     |  |
|   | <input type="checkbox"/> sédimentation                                | <input type="checkbox"/> dépôt humide                  |  |
| • <i>Radioactivité :</i>                              | <input type="checkbox"/> déc. radioactive                             | <input type="checkbox"/> filiation radioactive         | <input type="checkbox"/> débit de dose                       |

**Informations sur les données d'entrée :**

- |                                    |  |   |  |
|------------------------------------|--|---|--|
| • <i>Données géographiques :</i>   | <input type="checkbox"/> relief                          | <input checked="" type="checkbox"/> obstacles | <input type="checkbox"/> catégories de sol |
| • <i>Données météorologiques :</i> | <input checked="" type="checkbox"/> mesures              | <input type="checkbox"/> préprocesseur        | <input type="checkbox"/> champ 3D          |
| • <i>Données d'émission</i>        | <input type="checkbox"/> quantités de polluants rejetées | <input type="checkbox"/> modèle d'émission    |  |

**Informations sur les données de sortie :**

- |                                 |   |  |                                       |                              |
|---------------------------------|---|--|---------------------------------------|------------------------------|
| • <i>Format des données :</i>   | <input type="checkbox"/> fichiers ASCII                   | <input type="checkbox"/> cartographies               | <input type="checkbox"/> tracés 3D    | <input type="checkbox"/> Web |
| • <i>Grandeurs calculées :</i>  | <input checked="" type="checkbox"/> concentration moyenne | <input checked="" type="checkbox"/> percentiles      |                                       |                              |
|                                 | <input type="checkbox"/> dépôt sec                        | <input type="checkbox"/> dépôt humide                | <input type="checkbox"/> écart-type   |                              |
| • <i>Répartition temporelle</i> | <input type="checkbox"/> moyenne par pas de temps         | <input checked="" type="checkbox"/> moyenne annuelle | <input type="checkbox"/> fluctuations |                              |

ACRONYME :

WinMISKAM

**Modèle météorologique :****Prognostique**• *Aucun modèle météorologique :*

- résultats de simulation
- mesures météorologiques

• *Modèle diagnostique :*

- linéarisation des équations
- conservation de la masse
- modèle ID vertical

• *Modèle prognostique :*

- hydrostatique
- incompressible

 maillage imbriqué maillage suivant le relief maillage des obstacles**Phénomènes météorologiques représentés :**• *Prise en compte de la topographie :*

- terrain plat et homogène
- terrain plat et non homogène
- vallée isolée de profondeur modérée
- colline isolée de pente modérée
- collines et vallées de pentes modérées
- relief de montagne

• *Prise en compte des obstacles :*

- rugosité
- obstacle isolé
- groupe d'obstacles

• *Stratification atmosphérique :*

- atmosphère neutre
- atmosphère stable
- atmosphère convective
- brise de mer
- brise de vallée
- îlot de chaleur urbain

• *Modèle de sol :*

- sol hétérogène
- échange de chaleur
- échange d'humidité

• *Humidité atmosphérique :*

- atmosphère humide
- microphysique des nuages
- précipitations

**Validation du modèle :** aucune validation validation en soufflerie campagne de terrain intercomparaison de modèle**Informations sur les besoins informatiques :**• *Type de matériels :*

- PC
- Mac Intosh
- station Unix
- calcul //

• *Système d'exploitation :*

- DOS
- Windows
- Linux
- Unix

• *Langage utilisé :*

- Fortran
- C
- Autre langage

• *Interface utilisateur :*

- aucun (ASCII)
- intégré

*logiciels de post traitement :*• *Temps de calcul par scénario :*

- < une seconde
- < une minute
- < une heure
- > une heure

• *Modèles liés*

ACRONYME :

WinMISKAM

- Références :

*Eichhorn, J., Schrodin, R. and Zdunkowski, W. (1988): Three-Dimensional Numerical Simulations of the Urban Climate. Beitr. Phys. Atmosph., Vol. 61, No.3, P.187.*

*Eichhorn, J.(1989): Entwicklung und Anwendung eines dreidimensionalen mikroskaligen Stadtklima-Modells. Dissertation, Universitat Mainz.*

*Eichhorn, J.(1995): Validation of a microscale pollution dispersal model. In: Proceedings of the 21st International Meeting on Air Pollution Modelling and its Application, Baltimore, Maryland, USA*

*Schadler, G., Bachlin, W., Lohmeyer, A., van Wees, Tr.(1996): Vergleich und Bewertung derzeit verfügbarer mikroskaliner Stromungs- und Ausbreitungsmodelle. Forschungsbericht FZKA-PEF 138, Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Postfach 36 40, D-76021 Karlsruhe.*

**MODELISATION DE LA DISPERSION DES EMISSIONS  
ATMOSPHERIQUES D'UN SITE INDUSTRIEL  
VERS UN GUIDE DE L'UTILISATEUR**

**PHASE 2 : EVALUATION DES MODELES**

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

**Résumé :** Ce rapport constitue le rapport final de l'étude RECORD. Il présente les logiciels de dispersion mis en place au LMFA et les résultats des comparaisons de ces logiciels avec des mesures de terrain. Ce rapport détaille notamment les fonctionnalités des logiciels et les modélisations physiques associées ainsi que l'étude de sensibilité concernant différents paramètres comme les conditions météorologiques ou la nature du site. Enfin, les résultats des comparaisons sur deux cas-tests sont présentés ainsi qu'une méthodologie d'étude des cas réels illustrée par l'exemple concret de l'usine ATOFINA sur le site de La Chambre en Savoie.

**Mots-clés :** pollution atmosphérique, dispersion, couche limite atmosphérique, rejets industriels, inventaire de modèles

**Keywords :** atmospheric pollution, dispersion, atmospheric boundary layer, industrial releases, model inventory



Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

## TABLE DES MATIERES

<b>1. Introduction</b>	<b>9</b>
1.1. Contexte de l'étude	9
1.2. Objectifs de l'étude proposée	9
<b>2. Présentation des modèles retenus</b>	<b>11</b>
<b>2.1. Aria impact</b>	<b>11</b>
2.1.1. Description générale du modèle	11
2.1.2. Les fonctionnalités du modèle	11
2.1.2.1. Les sources	11
2.1.2.2. Les polluants	11
2.1.2.3. La météorologie	11
2.1.2.4. Les différents types de calcul	12
2.1.3. Les hypothèses et les modélisations physiques	12
2.1.3.1. Les hypothèses générales	12
2.1.3.2. La modélisation de la stabilité	12
2.1.3.3. Le calcul des profils verticaux de vent	13
2.1.3.4. Calcul de la hauteur de la couche de mélange	13
2.1.3.5. La prise en compte des vents calmes	14
2.1.3.6. La modélisation gaussienne	14
2.1.3.7. L'influence de la hauteur de la couche limite	14
2.1.3.8. Le calcul des écarts-types	14
2.1.3.9. Le calcul de la surhauteur	15
2.1.3.10. Les rejets de particules	16
2.1.3.11. La prise en compte de la topographie	16
2.1.4. Les données d'entrée et les variables calculées	17
2.1.4.1. Définition du site	17
2.1.4.2. Les données d'émissions	17
2.1.4.3. La météorologie	17
2.1.4.4. Les paramètres de sorties	17
2.1.5. L'interface	18
2.1.5.1. L'interface graphique	18
2.1.5.2. L'organisation des données	19
2.1.5.3. Le lancement de calcul en batch	19
2.1.6. Les performances et les limitations	19
2.1.6.1. Les avantages	19
2.1.6.2. Les limites	20
<b>2.2. ADMS 3</b>	<b>21</b>
2.2.1. Description générale du modèle	21
2.2.2. Les fonctionnalités du modèle	21
2.2.2.1. Les sources	21
2.2.2.2. Les polluants	21
2.2.2.3. La météorologie	21
2.2.2.4. Les différents types de calcul	22
2.2.2.5. La topographie et les bâtiments	22
2.2.2.6. La visibilité du panache	22
2.2.2.7. Les fluctuations de concentration et les phénomènes instationnaires	22
2.2.3. Les hypothèses et les modélisations physiques	22
2.2.3.1. Paramétrisation de la couche limite et calcul de la stabilité	22
2.2.3.2. Calcul des concentrations	23
2.2.3.3. Calcul de la surélévation du panache	24
2.2.3.4. Calcul des dépôts secs et humides	24
2.2.3.5. Les polluants radioactifs	24

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

2.2.3.6.	La prise en compte du relief	24
2.2.3.7.	Les effets de bâtiments	25
2.2.4.	Les données d'entrée et les variables calculées	25
2.2.4.1.	Définition du site	25
2.2.4.2.	Définition des sources et des émissions	25
2.2.4.3.	La météorologie	25
2.2.4.4.	Les variables calculées	26
2.2.5.	L'interface	26
2.2.5.1.	L'interface graphique	26
2.2.5.2.	L'organisation des données	27
2.2.5.3.	Le lancement de calcul en batch	28
2.2.6.	Les performances et les limitations	28
2.2.6.1.	Les avantages	28
2.2.6.2.	Les limites	28
<b>2.3.</b>	<b>La plate-forme ARIA INDUSTRY</b>	<b>29</b>
<b>2.4.</b>	<b>Le modèle météorologique MINERVE</b>	<b>30</b>
<b>2.5.</b>	<b>Le modèle TRAMES</b>	<b>32</b>
2.5.1.	Description générale du modèle	32
2.5.2.	Les fonctionnalités du modèle	32
2.5.2.1.	Les sources	32
2.5.2.2.	Les polluants	32
2.5.2.3.	La météorologie	32
2.5.2.4.	Les différents types de calcul	33
2.5.3.	Les hypothèses et les modélisations physiques	33
2.5.3.1.	Les hypothèses générales	33
2.5.3.2.	La modélisation du transport par le vent	33
2.5.3.3.	La modélisation gaussienne de la dispersion du polluant	34
2.5.3.4.	Les écarts-types	35
2.5.3.5.	Les dépôts secs et humides	35
2.5.3.6.	La hauteur de la couche limite	36
2.5.3.7.	Le calcul de la surhauteur	36
2.5.4.	Les données d'entrée et les variables calculées	36
2.5.4.1.	Définition du site	36
2.5.4.2.	Les données d'émissions	36
2.5.4.3.	La météorologie	36
2.5.4.4.	Les paramètres de sorties	37
2.5.5.	L'interface	37
2.5.5.1.	L'interface graphique	37
2.5.5.2.	L'organisation des données	38
2.5.5.3.	Le lancement de calcul en batch	38
2.5.6.	Les performances et les limitations	39
2.5.6.1.	Les avantages	39
2.5.6.2.	Les limites	39
<b>2.6.</b>	<b>Le modèle HERMES</b>	<b>40</b>
2.6.1.	Description générale du modèle	40
2.6.2.	Les fonctionnalités du modèle	40
2.6.2.1.	Les sources	40
2.6.2.2.	Les polluants	40
2.6.2.3.	La météorologie	40
2.6.2.4.	Les différents types de calcul	41
2.6.3.	Les hypothèses et les modélisations physiques	41
2.6.3.1.	Les hypothèses générales	41
2.6.3.2.	Les équations qui régissent le problème	41
2.6.3.3.	Les conditions aux limites	41
2.6.3.4.	La modélisation de la turbulence	42
2.6.3.5.	Calcul de la hauteur de la couche limite	43

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

2.6.3.6.	Les dépôts secs et humides _____	43
2.6.3.7.	Le calcul de la surhauteur _____	43
2.6.3.8.	La résolution numérique des équations sur le maillage _____	43
2.6.4.	Les données d'entrée et les variables calculées _____	43
2.6.4.1.	Définition du site _____	43
2.6.4.2.	Les données d'émissions _____	44
2.6.4.3.	La météorologie _____	44
2.6.4.4.	Les paramètres de sortie _____	44
2.6.5.	L'interface _____	45
2.6.5.1.	L'interface graphique _____	45
2.6.5.2.	L'organisation des données _____	46
2.6.5.3.	Le lancement de calcul en batch _____	46
2.6.6.	Les performances et les limitations _____	46
2.6.6.1.	Les avantages _____	46
2.6.6.2.	Les limites _____	47
<b>2.7.</b>	<b>Le modèle SPRAY _____</b>	<b>48</b>
2.7.1.	Description générale du modèle _____	48
2.7.2.	Les fonctionnalités du modèle _____	48
2.7.2.1.	Les sources _____	48
2.7.2.2.	Les polluants _____	48
2.7.2.3.	La météorologie _____	48
2.7.2.4.	Les différents types de calcul _____	48
2.7.3.	Les hypothèses et les modélisations physiques _____	49
2.7.3.1.	Les hypothèses générales _____	49
2.7.3.2.	Les équations qui régissent le problème _____	49
2.7.3.3.	Les conditions aux limites _____	50
2.7.3.4.	La modélisation de la turbulence : le modèle TURKEY _____	51
2.7.3.5.	Les dépôts secs et humides _____	52
2.7.3.6.	Les effets de gravité _____	52
2.7.3.7.	Le calcul de la surhauteur _____	52
2.7.4.	Les données d'entrée et les variables calculées _____	52
2.7.4.1.	Définition du site _____	52
2.7.4.2.	Les données d'émissions _____	53
2.7.4.3.	La météorologie _____	53
2.7.4.4.	Les paramètres de sortie _____	53
2.7.5.	L'interface _____	54
2.7.5.1.	L'interface graphique _____	54
2.7.5.2.	L'organisation des données _____	55
2.7.5.3.	Le lancement de calcul en batch _____	55
2.7.6.	Les performances et les limitations _____	56
2.7.6.1.	Les avantages _____	56
2.7.6.2.	Les limites _____	56
<b>2.8.</b>	<b>Le traitement statistique des résultats _____</b>	<b>56</b>
<b>2.9.</b>	<b>Résumé des caractéristiques des modèles retenus _____</b>	<b>57</b>
2.9.1.	Généralités _____	57
2.9.2.	Le site _____	57
2.9.3.	Les sources _____	58
2.9.4.	Les polluants _____	58
2.9.5.	La météorologie _____	59
2.9.6.	Les différents types de calculs _____	59
2.9.7.	Les grandeurs calculées _____	60
<b>3.</b>	<b>Etude de sensibilité _____</b>	<b>61</b>
<b>3.1.</b>	<b>Rappel du comportement général d'un panache de polluants _____</b>	<b>62</b>
<b>3.2.</b>	<b>Influence des conditions de rejet _____</b>	<b>63</b>

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

3.2.1.	Le débit de la source _____	63
3.2.2.	Hauteur de la source _____	63
3.2.3.	Vitesse et température du rejet _____	65
3.2.4.	Le calcul de surhauteur _____	68
3.2.4.1.	Les différents modèles de surhauteur _____	68
3.2.4.2.	La modification du terme source _____	69
3.2.5.	Géométrie de la source _____	71
3.2.5.1.	Comportement du panache pour différentes tailles de source _____	71
3.2.5.2.	Comportement du panache pour différentes formes de sources _____	74
3.2.5.3.	Critère de représentation de sources complexes par des sources plus simples _____	77
3.2.5.4.	Exemples de représentation d'une source de géométrie complexe par une source ponctuelle _____	83
3.2.5.5.	Exemples de représentation d'une source de géométrie complexe par une source de géométrie plus simple _____	84
3.2.5.6.	Exemples de regroupement de sources multiples en une source ponctuelle : cas d'un site industriel réel _____	87
3.2.6.	Variabilité temporelle des conditions d'émission _____	89
3.2.6.1.	Description des données d'entrée et de la démarche utilisée _____	89
3.2.6.2.	Les caractéristiques du rejet sont constantes pour toutes les heures de l'année _____	90
3.2.6.3.	Modulation diurne des émissions _____	92
3.2.6.4.	Modulation hebdomadaire des émissions _____	95
3.2.6.5.	Modulation saisonnière des émissions _____	97
3.2.6.6.	Conclusion _____	100
<b>3.3.</b>	<b>Influence des conditions météorologiques _____</b>	<b>100</b>
3.3.1.	Vitesse du vent moyen _____	100
3.3.1.1.	Influence de la vitesse du vent moyen sur la concentration _____	100
3.3.1.2.	Paramètres influençant la vitesse du vent moyen _____	100
3.3.2.	Direction du vent _____	101
3.3.2.1.	Influence de la direction du vent sur la concentration _____	101
3.3.2.2.	Paramètres influençant la direction du vent _____	102
3.3.3.	La stabilité atmosphérique _____	103
3.3.3.1.	Influence de la stabilité atmosphérique sur la dispersion _____	103
3.3.3.2.	Paramètres influençant la stabilité de l'atmosphère _____	105
3.3.4.	Turbulence atmosphérique _____	105
3.3.4.1.	Influence de la turbulence atmosphérique sur la concentration _____	105
3.3.4.2.	Paramètres influençant la turbulence atmosphérique _____	107
3.3.5.	La couverture nuageuse _____	108
3.3.5.1.	Situation de jour _____	108
3.3.5.2.	Situation de nuit _____	111
3.3.6.	Hauteur de la couche limite _____	113
3.3.6.1.	Influence de la hauteur de la couche limite sur la concentration _____	113
3.3.6.2.	Paramètres influençant la hauteur de la couche limite atmosphérique _____	115
3.3.7.	Précipitations _____	115
3.3.8.	Représentativité des mesures météorologiques _____	117
3.3.9.	Variabilité des conditions météorologiques _____	117
<b>3.4.</b>	<b>Influence des caractéristiques du site _____</b>	<b>121</b>
3.4.1.	Présence du sol et processus de dépôt sec _____	121
3.4.2.	Rugosité du sol _____	123
3.4.3.	Relief _____	125
3.4.3.1.	Ecoulement stable _____	125
3.4.3.2.	Ecoulement neutre _____	131
3.4.4.	Obstacles _____	137
<b>3.5.</b>	<b>Synthèse des résultats de l'étude de sensibilité _____</b>	<b>144</b>
<b>4.</b>	<b>Présentation des résultats obtenus sur les cas tests _____</b>	<b>146</b>
<b>4.1.</b>	<b>La démarche d'évaluation des modèles sur les cas tests _____</b>	<b>146</b>
4.1.1.	Rappel des objectifs initiaux de l'évaluation des modèles sur des cas tests _____	146

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

4.1.2.	Présentation des cas tests _____	147
4.1.3.	La démarche d'évaluation _____	147
4.1.3.1.	Méthodologie de mise en œuvre des cas tests _____	147
4.1.3.2.	Choix des variables à comparer _____	148
4.1.3.3.	Calcul des paramètres statistiques _____	149
<b>4.2.</b>	<b>Le cas test de Prairie Grass _____</b>	<b>152</b>
4.2.1.	Présentation de l'expérience _____	152
4.2.2.	Elaboration des scénarios de simulation avec le logiciel ADMS et présentation des résultats _____	152
4.2.3.	Elaboration des scénarios de simulation avec ARIA IMPACT et présentation des résultats _____	155
4.2.4.	Elaboration des scénarios de simulation avec le modèle TRAMES et présentation des résultats _____	160
4.2.5.	Elaboration des scénarios de simulation avec le modèle SPRAY et présentation des résultats _____	164
4.2.6.	Comparaison des résultats des modèles gaussiens _____	166
4.2.7.	Conclusion _____	169
<b>4.3.</b>	<b>Le cas test d'Indianapolis _____</b>	<b>170</b>
4.3.1.	Présentation de l'expérience _____	170
4.3.2.	Elaboration des scénarios pour ADMS et présentation des résultats _____	170
4.3.3.	Elaboration des scénarios pour ARIA IMPACT et présentation des résultats _____	174
4.3.4.	Elaboration des scénarios pour le modèle TRAMES et analyse des résultats _____	177
4.3.5.	Elaboration des scénarios pour le modèle SPRAY et analyse des résultats _____	179
4.3.6.	Comparaison des modèles gaussiens _____	183
4.3.7.	Conclusion _____	185
<b>4.4.</b>	<b>Conclusion sur l'étude des cas tests _____</b>	<b>186</b>
<b>4.5.</b>	<b>Résumé sur l'étude des cas tests _____</b>	<b>187</b>
<b>5.</b>	<b>Etude des cas industriels _____</b>	<b>189</b>
<b>5.1.</b>	<b>Objectifs initiaux et réorientations de l'étude _____</b>	<b>189</b>
<b>5.2.</b>	<b>Démarche de modélisation des cas industriels _____</b>	<b>190</b>
5.2.1.	Définition de la situation physique à modéliser _____	190
5.2.1.1.	Les phénomènes météorologiques locaux _____	190
5.2.1.2.	La nature des polluants _____	193
5.2.1.3.	Les caractéristiques du rejet _____	194
5.2.2.	Inventaire des données disponibles _____	194
5.2.2.1.	Les données concernant le site _____	194
5.2.2.2.	Les caractéristiques du rejet _____	195
5.2.2.3.	Les caractéristiques du polluant _____	196
5.2.2.4.	La météorologie _____	197
5.2.3.	Le choix des hypothèses de modélisation _____	198
5.2.3.1.	Le choix du modèle _____	198
5.2.3.2.	Le choix des options de modélisation _____	199
5.2.3.3.	Le choix de la mise en œuvre du problème _____	200
<b>5.3.</b>	<b>Application de la méthodologie d'étude d'un cas réel à l'usine de La Chambre _____</b>	<b>201</b>
5.3.1.	Définition de la situation physique à modéliser _____	201
5.3.1.1.	Analyse du site et des phénomènes météorologiques locaux _____	201
5.3.1.2.	La nature des polluants _____	202
5.3.1.3.	Les caractéristiques du rejet _____	203
5.3.1.4.	La météorologie _____	203
5.3.1.5.	Analyse climatologique _____	205
5.3.2.	Application de plusieurs modèles de dispersion au cas industriel ATOFINA _____	212
5.3.2.1.	Le choix du modèle _____	212
5.3.2.2.	Application du modèle ADMS _____	212
5.3.2.3.	Application des logiciels MINERVE et SPRAY au cas réel de l'usine de La Chambre _____	215
5.3.2.4.	Application des logiciels MINERVE et HERMES au cas réel de l'usine de La Chambre _____	223
5.3.3.	Conclusion sur l'étude du cas réel de l'usine de La Chambre _____	228

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

<b>5.4.</b>	<b>Résumé sur l'étude des cas industriels</b>	<b>229</b>
<b>6.</b>	<b>CONCLUSION</b>	<b>230</b>
<b>7.</b>	<b>Annexes</b>	<b>231</b>
<b>7.1.</b>	<b>Annexe 1: présentation des résultats du modèle HERMES sur les cas test de Prairie Grass et d'Indianapolis</b>	<b>231</b>
7.1.1.	Elaboration des scénarios pour le cas test de prairie grass avec le modèle HERMES et présentation des resultats	231
7.1.2.	Elaboration des scénarios pour le cas test d'indianapolis avec le modèle HERMES et analyse des résultats	233
<b>7.2.</b>	<b>Annexe 2 : présentation des différentes formules de calcul de surhauteur</b>	<b>234</b>
7.2.1.	formule de Concawe	235
7.2.2.	formule de Briggs	235
7.2.3.	Formule de Anfossi	236
7.2.4.	Formule de Holland	237
7.2.5.	Formule de Stumke	237
7.2.6.	Formule de Cude	237
<b>8.</b>	<b>REFERENCES</b>	<b>238</b>
<b>8.1.</b>	<b>Scientifiques</b>	<b>238</b>
<b>8.2.</b>	<b>Adresses URL</b>	<b>238</b>

## 1. INTRODUCTION

### 1.1. CONTEXTE DE L'ETUDE

L'Association R.E.C.O.R.D. a confié au Laboratoire de Mécanique des Fluides et d'Acoustique de L'Ecole Centrale de Lyon (LMFA), une étude relative à la dispersion des émissions atmosphériques chroniques d'un site industriel correspondant à un fonctionnement normal des installations. Le contexte de l'étude concerne principalement la prise en compte de la modélisation du transport et de la dispersion des polluants atmosphériques dans les études réglementaires (études d'impact). Rappelons que l'objectif de la modélisation dans les études d'impact est en particulier de déterminer l'impact moyen et l'impact maximum au sol ou sur des cibles bien identifiées de rejets de polluants dans l'atmosphère. Plus précisément, il s'agit de localiser et de quantifier cet impact, soit pour des séquences météorologiques bien définies (impact à court terme), soit pour des périodes plus longues (impact à long terme).

Dans le cadre des études d'impact que les industriels doivent réaliser, il est donc important de pouvoir connaître la précision et les limitations des modèles mis en œuvre. Pour cela, il est nécessaire d'évaluer ces modèles afin de vérifier qu'ils feront bien les bonnes prédictions. L'évaluation doit porter sur les performances opérationnelles des modèles : est-ce qu'ils prédisent correctement les niveaux maximums de concentration, mais également sur la physique qu'ils contiennent : est-ce que le modèle est basé sur des principes physiques solides et est-ce qu'il donne de bonnes prédictions pour de bonnes raisons ? Enfin, l'évaluation doit permettre de pouvoir distinguer les performances entre différents modèles. Souvent dans les études d'impact, on ne va considérer que les performances opérationnelles des modèles en plaçant au second ordre la physique qu'ils renferment. Il existe pourtant de bonnes raisons pratiques à l'utilisation d'une physique bien adaptée au problème à modéliser. C'est en particulier de pouvoir faire confiance aux prédictions du modèle lorsqu'il est utilisé en dehors des plages correspondant aux données expérimentales existantes ou lorsqu'il est nécessaire de modéliser de nouvelles situations avec des conditions de dispersion différentes. L'évaluation des modèles que nous avons réalisée s'est faite en plusieurs étapes. Une première étape a consisté à analyser les principes physiques mis en œuvre dans les différents modèles et les avantages et les limites de chaque modélisation ; cette partie fait l'objet du chapitre 2. Ensuite, nous avons identifié la sensibilité des modèles aux paramètres d'entrée (chapitre 3). Nous avons aussi évalué les modèles sur des cas tests (deux campagnes de terrain), les résultats de cette évaluation sont présentés au 4<sup>ème</sup> chapitre. Enfin, nous avons utilisé les modèles sur des cas réels afin notamment de comparer l'intérêt d'une approche de modélisation par rapport à une autre (chapitre 5).

### 1.2. OBJECTIFS DE L'ETUDE PROPOSEE

Une première étude réalisée au cours des années 2001 et 2002 a permis d'établir un état de l'art dans le domaine de la modélisation du transport et de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel. Cet état de l'art comporte notamment des rappels théoriques sur la dispersion turbulente, la météorologie locale et la dispersion atmosphérique, ainsi que les modélisations associées. Cette étude a aussi permis de réaliser un inventaire des différents modèles de dispersion proposés sur le marché et de faire un bilan des bases de données expérimentales susceptibles de fournir des cas tests.

Le travail proposé sur la deuxième phase du projet avait pour principal objectif d'évaluer un nombre restreint de modèles sur des cas tests suffisamment documentés, représentatifs de situations typiques de dispersion dans l'atmosphère, et sur des cas réels plus proches des études d'impact réalisées par les industriels.

Ce travail permet de répondre à un certain nombre de questions que se posent les utilisateurs concernant d'une part les performances des modèles et d'autres part la mise en œuvre de ces modèles sur des cas réels.

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

Nous avons retenu cinq modèles.

- Un modèle de panache gaussien « deuxième génération » ADMS 3 distribué par NUMTECH
- Un modèle de panache gaussien « première génération » ARIA IMPACT
- Un modèle à bouffées gaussiennes TRAMES
- Un modèle lagrangien SPRAY
- Un modèle eulérien HERMES

Ces 4 derniers modèles sont distribués par ARIA Technologies. Nous avons souhaité travaillé avec un troisième fournisseur de logiciel, TRANSOFT, mais après plusieurs discussions, ils n'ont finalement pas souhaité participer au projet.

La première étape d'évaluation des modèles consiste à étudier les possibilités de simulation qu'ils offrent à l'utilisateur et quelles sont les modélisations physiques associées.

La deuxième étape d'évaluation des modèles est l'étude de deux cas tests représentant des situations relativement courantes : sol plat avec différentes stratifications (stable, neutre et instable). Elle permet de disposer de simulations commentées qui sont notamment utiles à la formation des utilisateurs et à la prise en main des modèles. Elle permet aussi d'établir une comparaison des possibilités et des fonctionnalités de chaque approche de modélisation et de réaliser un premier classement des modèles en fonction des problèmes à traiter. Elle permet enfin d'évaluer les modèles en fonction de leurs performances propres, sur des cas réels correspondant aux principaux phénomènes rencontrés.

Parallèlement à cette étude des cas tests, nous avons effectué une étude de sensibilité à partir des questions qui se posent à l'utilisateur quand il doit utiliser le modèle dans un cas concret. Elle permet notamment d'identifier et de quantifier les incertitudes sur les données de sortie en fonction de la qualité des données d'entrée dont on dispose pour réaliser les études.

Enfin, pour guider l'utilisateur dans sa démarche de modélisation d'un site industriel, nous avons élaboré une méthodologie d'analyse de la situation à modéliser. Cette méthode illustrée par l'étude d'un cas réel complexe permet en particulier aux industriels d'appréhender concrètement l'intérêt d'une approche de modélisation par rapport à une autre en fonction de la complexité de la situation à modéliser.



## 2. PRESENTATION DES MODELES RETENUS

L'objectif de ce chapitre est de présenter les différentes fonctionnalités des logiciels de dispersion que nous avons utilisés pour l'étude RECORD comme un nouvel utilisateur pourrait les découvrir. Nous analysons les différents modèles physiques qui sont appliqués pour calculer la dispersion. Enfin, nous présentons les données d'entrée nécessaires au modèle et comment l'utilisateur communique avec le logiciel.

### 2.1. ARIA IMPACT

#### 2.1.1. DESCRIPTION GENERALE DU MODELE

Le logiciel ARIA IMPACT est distribué par la société ARIA Technologies. C'est un modèle de panache gaussien qui permet de simuler la dispersion des polluants atmosphériques issus d'une ou de plusieurs sources pour des domaines de 1km à 30km de côté. Il permet de déterminer des concentrations de polluant uniquement au sol pour des situations météorologiques particulières et de simuler la dispersion de rejets sur le long terme. L'utilisateur communique avec le logiciel au moyen d'une interface graphique.

Les conditions d'obtention du logiciel sont disponibles auprès de la société ARIA Technologies.

#### 2.1.2. LES FONCTIONNALITES DU MODELE

##### 2.1.2.1. *Les sources*

Le logiciel ARIA IMPACT permet de prendre en compte des sources de différentes formes : elles peuvent être ponctuelles, linéiques, surfaciques ou volumiques. Il est aussi possible de faire un calcul avec plusieurs sources : le programme effectue un calcul pour chaque source et somme la contribution de chacune des sources

L'utilisateur définit le débit massique des sources et peut affecter une modulation temporelle au rejet.

Le logiciel ARIA IMPACT permet de calculer la surélévation du panache. Plusieurs modélisations sont proposées, elles seront détaillées dans le paragraphe 2.1.3.9.

##### 2.1.2.2. *Les polluants*

Il est possible de prendre en compte deux types de polluants : les effluents gazeux passifs et les poussières sensibles aux effets de la gravité. Dans ce cas, le logiciel permet de calculer les dépôts secs et humides de poussières.

##### 2.1.2.3. *La météorologie*

Le logiciel ARIA IMPACT permet de simuler l'état turbulent de l'atmosphère par un système de classes de stabilité.

Il contient un modèle à bouffées gaussiennes qui lui permet de prendre en compte les vents calmes.

Il est possible de calculer la variation verticale du vent et de la température. A partir des données de vent et de température définies à une certaine hauteur, le logiciel recalcule le vent et la température à la hauteur de la source.

Les effets de relief peuvent être pris en compte de manière simplifiée. La modélisation de ces phénomènes est décrite au paragraphe suivant. En revanche, les obstacles ne peuvent pas être pris en compte.

#### **2.1.2.4. Les différents types de calcul**

Le logiciel permet d'effectuer plusieurs types de simulation :

- un calcul académique à partir d'une situation météorologique particulière défini par l'utilisateur.
- un calcul statistique à long terme à partir d'une série météorologique. Il est alors possible de calculer la moyenne de concentration annuelle, la moyenne mensuelle, les fréquences de dépassement d'un seuil et les centiles.
- un calcul statistique à long terme à partir d'une rose des vents.

Le logiciel peut aussi calculer une rose des vents à partir d'une série météorologique.

#### **2.1.3. LES HYPOTHESES ET LES MODELISATIONS PHYSIQUES**

##### **2.1.3.1. Les hypothèses générales**

Pour tous les types de calculs, les hypothèses suivantes ont été retenues :

- La météorologie (vent, turbulence, température) est homogène sur tout le domaine. On considère que l'écoulement horizontal est uniforme et que la composante verticale du vent est négligeable devant la composante horizontale
- La densité des polluants est voisine de celle de l'air
- On considère une situation stationnaire.

##### **2.1.3.2. La modélisation de la stabilité**

Dans le logiciel ARIA IMPACT, la stabilité est définie sous forme de classe (cf Etat de l'art ch 3.2). Elle peut être définie par l'utilisateur au moment de la définition des paramètres météorologiques ou calculée par le logiciel. Ce sont les formulations de Pasquill qui sont utilisées par le modèle pour la détermination des classes mais il existe dans le logiciel des correspondances entre les différentes formulations (Pasquill, Doury et Brookhaven).

Le logiciel propose plusieurs méthodes de détermination de la classe de stabilité en fonction des paramètres météorologiques définis.

- **La méthode « rayonnement-vent »**

Cette méthode utilise la vitesse du vent et la valeur du rayonnement net le jour et la nébulosité la nuit pour déterminer la classe de stabilité.

Le jour, plus le rayonnement augmente plus l'atmosphère est instable. De même, plus le vent est faible plus l'atmosphère est instable. La stabilité diurne varie entre très instable et neutre.

La nuit, l'atmosphère est stable ou neutre.

- **La méthode de gradient de température**

Si on connaît la température à deux altitudes on peut calculer le gradient thermique. Il existe alors une correspondance entre la valeur du gradient et la classe de stabilité.

- **Méthode « sigma-direction »**

L'écart-type de la fluctuation de la direction du vent permet de déterminer la classe de stabilité.

Plus l'écart-type sur la direction est grand plus l'atmosphère est instable.

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

- **Méthode « gradient de température et humidité »**

Cette méthode permet d'affiner la méthode de détermination de la stabilité à partir du gradient thermique en ajoutant une condition sur l'humidité.

- **Méthode « nébulosité-vent »**

C'est la méthode la plus couramment utilisée car les données météorologiques disponibles contiennent souvent la nébulosité.

Dans cette méthode, on détermine un indicateur de rayonnement qui dépend de la nébulosité et de l'heure de la journée donc de la hauteur du soleil.

Le jour, plus le vent est faible, plus l'atmosphère est instable. De même, plus le rayonnement est fort, plus l'atmosphère est instable. La stabilité diurne varie entre très instable et neutre.

La nuit ou un jour couvert, l'atmosphère est stable ou neutre.

Commentaire :

Les méthodes de détermination de la classe de stabilité à partir des données météorologiques sont des méthodes semi-empiriques fondées sur les principes physiques suivants. La turbulence de l'atmosphère a 2 origines : l'une mécanique engendrée par le vent et ses fluctuations et l'autre thermique. D'un point de vue général, lorsque le vent est fort, la turbulence mécanique est prépondérante et l'atmosphère est neutre. Lorsque le vent est faible, si l'énergie thermique près du sol est importante et que la convection naturelle s'installe, l'atmosphère est instable. Sinon, l'atmosphère est stable.

Ces méthodes permettent d'avoir une estimation globale de la stabilité de l'atmosphère, mais elles ne permettent pas d'avoir une description de la structure verticale de l'atmosphère.

### 2.1.3.3. **Le calcul des profils verticaux de vent**

Les données de vent et de température fournies au logiciel sont généralement des données ponctuelles correspondant à une mesure à une hauteur donnée. Si cette hauteur est différente de la hauteur de la source, on peut calculer des profils de vent et de température afin d'estimer le vent et la température à la hauteur du rejet (cf Etat de l'art ch 3.2.2.1).

Le profil de vent est calculé suivant la loi d'Irwin valable sur 200m au-dessus du sol.

$$V(z) = U_0 \left( \frac{z}{z_0} \right)^b \quad (2.1)$$

Avec V la vitesse du vent à l'altitude z et U<sub>0</sub> la vitesse du vent à l'altitude z<sub>0</sub>.

Le coefficient b dépend de la classe de stabilité et de l'occupation des sols. Le modèle distingue deux types de sols (zone urbaine ou zone rurale).

Commentaires :

L'utilisation de cette formule expérimentale permet d'estimer le vent à la hauteur de la source.

### 2.1.3.4. **Calcul de la hauteur de la couche de mélange**

Pour une simulation à partir de données météorologiques séquentielles, le logiciel ARIA IMPACT calcule la hauteur de la couche de mélange. Ce calcul est effectué par le préprocesseur météo METPRO qui permet d'évaluer la hauteur de la couche limite ainsi que la longueur de Monin Obukhov et la vitesse de frottement. La hauteur de la couche limite est déterminée à partir du bilan énergétique à la surface du sol.

**2.1.3.5. La prise en compte des vents calmes**

Il est possible dans le cas des vents calmes de calculer la concentration au sol. Le logiciel ARIA IMPACT utilise pour cela un modèle à bouffées gaussiennes.

**2.1.3.6. La modélisation gaussienne**

Le logiciel ARIA IMPACT est fondé sur un modèle de panache gaussien (cf Etat de l'art ch 2.3.1.1), la concentration des polluants au sol dans un repère centré sur la source et orienté dans la direction du vent est donc déterminée de la manière suivante

$$C = \frac{Q_s}{\pi\sigma_y\sigma_zU} \exp\left(-\frac{1}{2}\left[\frac{H^2}{\sigma_z^2} + \frac{y^2}{\sigma_y^2}\right]\right) \quad (2.2)$$

Avec  $Q_s$  le débit massique de la source,  $H$  la hauteur du rejet,  $U$  la vitesse du vent à la hauteur du rejet  $H$ , et  $\sigma_y$  et  $\sigma_z$  les écarts-types du panache qui dépendent de la distance entre le récepteur et la source et de la stabilité.

**2.1.3.7. L'influence de la hauteur de la couche limite**

Si la hauteur de la couche limite est connue, l'utilisateur peut choisir de tenir compte du blocage du panache par le sommet de la couche (cf Etat de l'art ch 3.2.3). Dans le calcul de la concentration au sol, on suppose alors que le panache est réfléchi sur le sommet de la couche limite. La concentration au sol est donc modifiée de la manière suivante (premiers termes d'une série convergente) :

$$C = \frac{Q_s}{2\pi\sigma_y\sigma_zU} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left( \begin{array}{l} \exp\left[\frac{-H^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[\frac{-(2h-H)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \\ \exp\left[\frac{-(-2h+H)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[\frac{-(2h+H)^2}{2\sigma_z^2}\right] \end{array} \right) \quad (2.3)$$

Où  $h$  est la hauteur de la couche limite.

**2.1.3.8. Le calcul des écarts-types**

Le logiciel propose plusieurs formulations des écarts-types (cf Etat de l'art ch 4.1.3) :

- La formulation de Pasquill-Turner (1974) : les écarts-types sont fonction de la distance à la source et des 6 classes de stabilité de Pasquill. Cette formulation a été établie à partir des résultats de l'expérience de Prairie Grass.
- Les formulations de Briggs (1973) : il existe deux formulations suivant la rugosité du terrain. Les écarts-types sont fonction des classes de stabilité de Pasquill et de la distance à la source. Si la rugosité est inférieure à 0.5 m (site de campagne peu accidenté), on utilise les formules de Briggs Open Country et si la rugosité est supérieur à 0.5 m (site urbain) on utilise les formules de Briggs Urban. Ces relations empiriques pour décrire les écart-types de diffusion ont été obtenues à partir de résultats d'expériences menées à St-Louis aux Etats-Unis.
- La formulation de Doury recommandée par le CEA (1976) : les écart-types dépendent du temps et des 2 classes de stabilité de Doury : diffusion faible et diffusion normale.
- La formulation du Brookhaven National Laboratory : les écarts-types sont fonction de la distance à la source et des 4 classes de stabilité de Brookhaven.

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

### 2.1.3.9. Le calcul de la surhauteur

Lorsque les rejets ont une température supérieure à celle de l'air ambiant ou que leur vitesse d'éjection est importante, les panaches s'élèvent au-dessus de la cheminée (cf Etat de l'art ch 4.4.2). Pour calculer la concentration de polluants au sol, il convient de tenir compte de cette surhauteur. Le logiciel ARIA IMPACT propose plusieurs méthodes pour calculer la surélévation finale; ces méthodes tiennent compte soit des effets thermiques soit des effets dynamiques soit des deux méthodes (Tableau 1). Les différentes formules sont décrites en annexe.

Dans le calcul de la concentration au sol, la hauteur effective du rejet est la somme de la hauteur de la source et de la surélévation.

Formules	Sources	Stabilité atmosphérique	Vent	Distance à la source	Remarques
Holland	Petites cheminées Flux thermique modeste	Non	tous	Non prise en compte	Seuls les effets dynamiques sont pris en compte
Briggs (1986)	Toutes	Oui	tous	Prise en compte	Distinction entre les effets de flottabilité et les effets dynamiques
Anfossi	Toutes	Oui	tous	Prise en compte	
Concawe	Grosses cheminées, flux thermique important	Non	> 1m/s	Non prise en compte	Seuls les effets thermiques sont pris en compte
Stumke	Petites cheminées Flux thermique modeste	Non	> 1m/s	Non prise en compte	Seuls les effets dynamiques sont pris en compte
Cude	toutes	Non	> 2m/s	Prise en compte	Seuls les effets dynamiques sont pris en compte. Une déflexion du panache est calculé pour les gaz plus lourds que l'air.

Tableau 1 – Différentes formulations de la surhauteur contenues dans le logiciel ARIA IMPACT.

Commentaires :

Ces méthodes de modélisation permettent de prendre en compte les effets de surélévation du panache de manière plus ou moins simplifiée. La méthode semi-empirique de Briggs (1975) qui utilise un critère pour distinguer les effets thermiques des effets dynamiques est certainement la plus précise.

**2.1.3.10. Les rejets de particules**

Dans le cas d'un rejet de particules dont le diamètre  $d$  et la masse volumique  $\rho_p$  sont connus, les particules sont soumises aux effets de la gravité (cf Etat de l'art ch 4.3.2) et elles ont donc une vitesse de chute non nulle. Cette vitesse est calculée suivant la loi de Stokes :

$$V_g = \frac{d^2 g (\rho_p - \rho_a)}{18\mu} \quad (2.4)$$

Avec  $\rho_a$  la masse volumique de l'air et  $\mu$  la viscosité dynamique de l'air.

*Remarque* : habituellement, cette formule est valable pour des nombres de Reynolds inférieur à 1, donc pour des particules dont le diamètre est inférieur à 1 micron. Cependant, pour des particules de diamètre inférieur à 10 microns, la vitesse de chute est négligeable devant la vitesse d'advection. On considère donc que les petites particules se comportent comme un gaz. L'utilisation de cette formule pour des particules de tailles non négligeables surestime la vitesse de chute.

Cet effet de gravité modifie la hauteur effective  $H_p$  du panache :

$$H_p = H - V_g \frac{x}{U} \quad (2.5)$$

Où  $x$  est la distance à la source et  $U$  la vitesse du vent.

La formulation gaussienne de la concentration au sol devient donc :

$$C = \frac{Q_s}{\pi \sigma_y \sigma_z U} \exp\left(-\frac{1}{2} \left[ \frac{H_p^2}{\sigma_z^2} + \frac{y^2}{\sigma_y^2} \right]\right) \quad (2.6)$$

Le logiciel permet de calculer le dépôt sec de particules en tenant compte de l'appauvrissement du panache au cours de son évolution et le dépôt humide dû au lessivage par la pluie.

Commentaires :

Le calcul des dépôts est discrétisé suivant l'axe de propagation du panache.

**2.1.3.11. La prise en compte de la topographie**

Le logiciel ARIA IMPACT permet de prendre en compte le relief en aval de l'écoulement de manière simplifiée. Si le panache d'une hauteur  $H$  passe au-dessus d'un relief de hauteur  $H_t$  inférieure à  $H$  :

- En atmosphère neutre ou instable, la hauteur de l'axe du panache est  $H+H_{v/2}$
- En atmosphère stable, la hauteur de l'axe du panache reste constante.

Si le panache d'une hauteur  $H$  passe au dessus d'un relief de hauteur  $H_t$  supérieure à  $H$  :

- En atmosphère neutre ou instable, la hauteur de l'axe du panache est  $H_t+H/2$
- En atmosphère stable, la hauteur de l'axe du panache est fixée à 10m au dessus du sol.

C'est un modèle très simple, fondé sur un comportement qualitatif du panache en fonction de la stabilité, qui ne permet pas de représenter des zones de relief marqué. Ce modèle ne permet en aucun cas de décrire l'écoulement autour d'un relief.

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

#### **2.1.4. LES DONNEES D'ENTREE ET LES VARIABLES CALCULEES**

Le logiciel propose une organisation sous forme de « projet » dans lequel sont définis le domaine d'étude, les espèces, les sources et la météorologie. Les options de modélisation sont définies au moment du lancement du calcul.

##### **2.1.4.1. Définition du site**

La grille de calcul et les éléments comme les sources et les récepteurs peuvent être définis manuellement par l'utilisateur au moyen de l'interface ou importés du préprocesseur ARIA Relief qui permet de convertir des données de topographie type IGN ou USGS au format ARIA.

Il convient aussi de préciser le type de sol du site parmi les 10 catégories proposées (urbain, forêt, neige,...). Chaque catégorie correspond à une valeur de rugosité et de l'albédo.

La grille de calcul est définie par les coordonnées du point sud-ouest (au format géographique, Lambert II ou UTM) ainsi que par le nombre de points dans les directions x et y et la distance entre les points.

Les sources et les récepteurs sont définis par leurs coordonnées.

##### **2.1.4.2. Les données d'émissions**

Les sources sont localisées par l'intermédiaire de l'interface graphique. Elles peuvent être ponctuelles, linéiques, surfaciques ou volumiques. Il convient ensuite de préciser les caractéristiques de ces sources : dimensions géométriques, hauteur, vitesses et températures des rejets, débits de polluants ainsi que la modulation des émissions (horaire, hebdomadaire et mensuelle).

Il est aussi nécessaire de donner les caractéristiques des polluants : la masse volumique pour les gaz et la vitesse de dépôt, le diamètre et la masse volumique pour les poussières.

##### **2.1.4.3. La météorologie**

Pour un calcul et pour une situation météorologique particulière, l'utilisateur doit spécifier les données météorologiques via l'interface. Les données obligatoires sont la date et l'heure GMT du calcul, la vitesse et la direction du vent, la température et un paramètre permettant de déterminer la classe de stabilité atmosphérique par exemple la classe de Pasquill ou la nébulosité.

Pour un calcul depuis une rose des vents, l'utilisateur doit remplir un tableau d'occurrence correspondant à la rose des vents. Cette option permet uniquement de réaliser des calculs de concentration moyenne.

Pour un calcul statistique à partir d'un fichier météorologique, l'utilisateur doit importer un fichier contenant les paramètres suivants : les dates et heures, pour chaque date la vitesse et la direction du vent, la température et un paramètre permettant de déterminer la stabilité atmosphérique.

##### **2.1.4.4. Les paramètres de sorties**

Les différents paramètres calculés par ARIA IMPACT sont

- La concentration et éventuellement les dépôts au niveau du sol sur la grille définie par l'utilisateur et aux points récepteurs dans le cas d'un calcul académique.
- La concentration moyenne, les percentiles et les fréquences de dépassement de seuil pour un calcul statistique.

Le logiciel ARIA IMPACT crée plusieurs fichiers de sortie : un fichier binaire de résultat contenant la concentration au sol et les dépôts sur la grille définie par l'utilisateur, un fichier texte contenant les options de calcul et les concentrations aux points récepteurs, un fichier texte contenant les concentrations calculées sous l'axe du panache.

Il est possible de visualiser par l'interface graphique les résultats sous forme d'iso-contours sur la carte du domaine ou encore d'exporter les résultats aux formats suivants : Surfer, Mapinfo, Arcinfo ou texte. Il est aussi possible d'exporter les résultats vers le logiciel de visualisation SAVI3D.

## 2.1.5. L'INTERFACE

### 2.1.5.1. L'interface graphique

L'utilisateur peut construire et effectuer des simulations par l'intermédiaire d'une interface graphique. Des onglets permettent de définir les données d'entrées (le site, la météorologie, les polluants) et de lancer l'exécution d'un calcul. Un écran permet de visualiser le site défini avec les sources, les récepteurs et les éléments de cartographie ainsi que les résultats de la simulation sous forme d'iso-contours (Cf. Figure 1 et Figure 2).

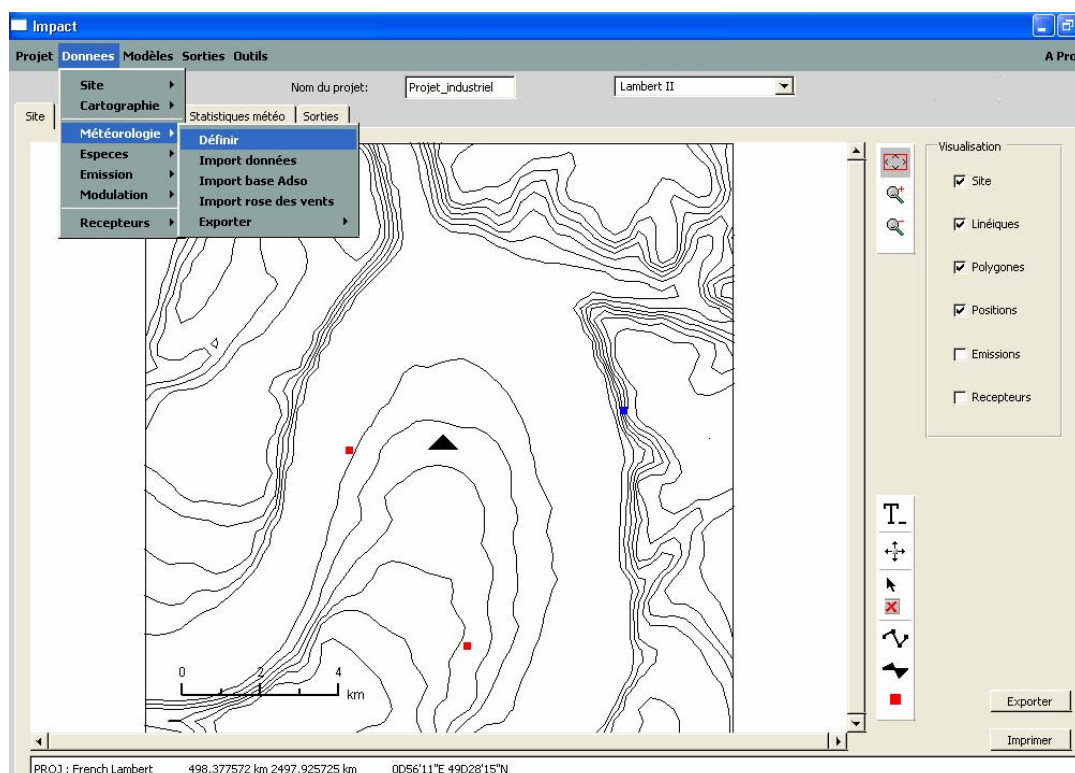


Figure 1 : Présentation de l'interface graphique d'ARIA IMPACT



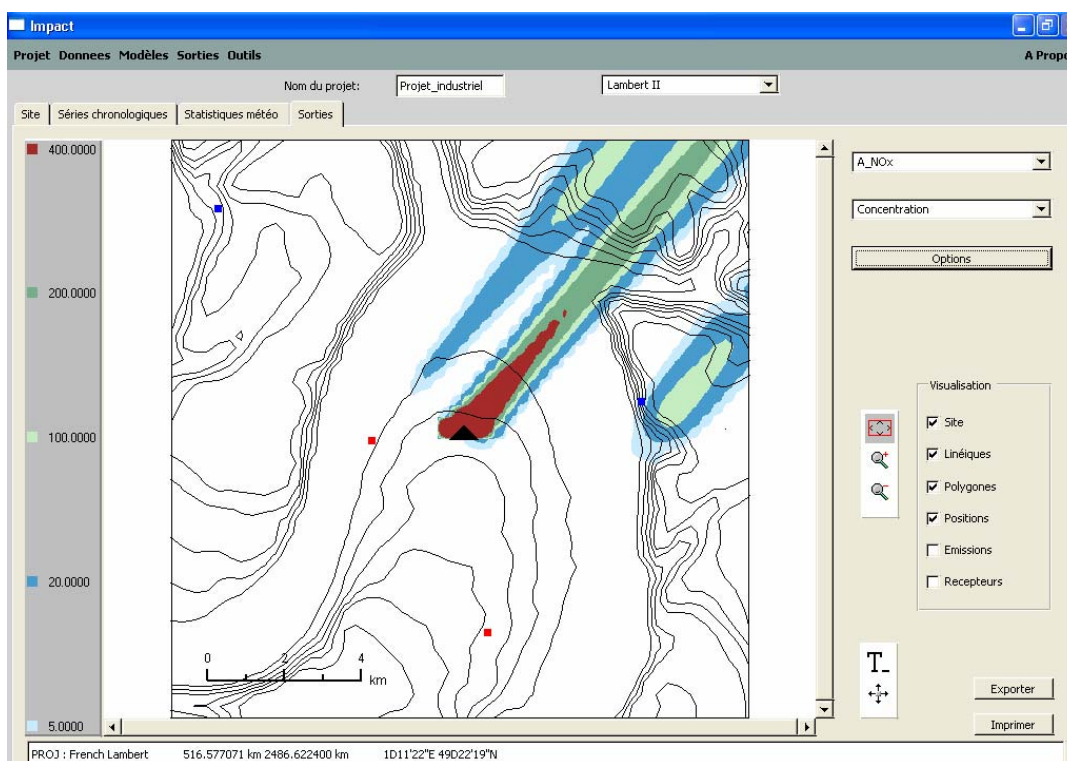


Figure 2 : Visualisation des concentrations au sol avec ARIA IMPACT

### 2.1.5.2. L'organisation des données

Les scénarios de simulations sont stockés sous forme de projet. Chaque projet contient plusieurs fichiers où sont définis les éléments du scénario (le site, les caractéristiques des sources et des polluants, la météorologie,...) ainsi que les options de modélisation. Par défaut, les fichiers de résultats sont stockés dans le même répertoire.

### 2.1.5.3. Le lancement de calcul en batch

Il est possible de lancer un ensemble de simulations en mode batch à partir du répertoire contenant les exécutable du logiciel en précisant le nom du projet et des fichiers de sorties.

## 2.1.6. LES PERFORMANCES ET LES LIMITATIONS

### 2.1.6.1. Les avantages

- Les temps de calculs du logiciel sont très courts, ce qui permet de faire des études statistiques sur des séries météorologiques dans un temps raisonnable. Pour étudier une source avec un an de données météorologiques séquentielles, avec un pentium 4 à 3GHZ et 1Go de RAM, il faut de 2 à 3 minutes.
- Le logiciel permet de prendre en compte différentes espèces : gaz ou particules.
- Le logiciel est capable d'exécuter des calculs sur plusieurs sources de formes différentes.
- Il permet de faire différents types de calcul : soit à partir d'une rose des vents, soit à partir d'une série météorologique.
- Il est possible de prendre en compte les vents calmes.

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

#### **2.1.6.2. Les limites**

- La paramétrisation de la stabilité de l'atmosphère n'est pas continue mais discrétisée sous forme de classe.
- La météorologie est homogène sur tout le domaine.
- Les bâtiments ne sont pas pris en compte.
- Les transformations chimiques ne sont pas prises en compte, mais dans la prochaine version, les transformations NO<sub>2</sub>-NO sont prises en compte.
- Les résultats des calculs de concentrations ne sont disponibles qu'au niveau du sol.

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

## **2.2. ADMS 3**

### **2.2.1. DESCRIPTION GENERALE DU MODELE**

Le logiciel ADMS 3.1 est distribué en France par la société NUMTECH. C'est un modèle de panache gaussien de nouvelle génération, développé par le Cambridge Environmental Research Consultants (CERC). Ce logiciel permet de simuler la dispersion atmosphérique d'un rejet industriel sur un domaine allant de quelques centaines de mètres de côté à 50km. Il est capable de simuler des évènements à court terme et de calculer des paramètres statistiques sur le long terme. ADMS permet de reproduire des effets atmosphériques simples liés par exemple à la stratification thermique ou à la présence d'obstacles. Une interface graphique permet à l'utilisateur de réaliser ses simulations.

Les conditions d'obtention du logiciel sont disponibles auprès de la société NUMTECH.

### **2.2.2. LES FONCTIONNALITES DU MODELE**

#### **2.2.2.1. Les sources**

Le logiciel ADMS permet de simuler des rejets issus de plusieurs sources. Ces sources peuvent être ponctuelles, linéiques, surfaciques, volumiques ou bien encore correspondre à des jets orientés, c'est-à-dire que la vitesse d'éjection des gaz a une composante horizontale.

L'utilisateur définit le débit massique de chaque polluant pour les différentes sources. Il a aussi la possibilité de moduler les émissions dans le temps soit par l'intermédiaire de l'interface graphique, soit en important un fichier de modulation.

La surhauteur du panache est prise en compte par ADMS en résolvant les équations de conservation de la quantité de mouvement et de la flottabilité.

#### **2.2.2.2. Les polluants**

Il est possible de prendre en compte plusieurs types de polluants : soit des gaz, soit des particules. Le calcul des dépôts secs et humides est possible. Certains polluants classiques sont prédéfinis dans ADMS mais l'utilisateur peut créer de nouvelles espèces en précisant leurs noms et leurs caractéristiques. Les polluants peuvent être radioactifs et un calcul de la décroissance radioactive et du débit de dose est possible.

Un modèle photochimique permet d'intégrer les réactions chimiques entre NO, NO<sub>2</sub> et O<sub>3</sub> dans le calcul de concentration.

#### **2.2.2.3. La météorologie**

Les données météorologiques peuvent être rentrées manuellement via l'interface graphique ou importées. Il est possible de préciser des caractéristiques du site météorologique différentes du site de la source. Par exemple, les mesures météorologiques peuvent provenir d'un site rural alors que la source est dans une zone urbaine. On peut alors préciser la rugosité, l'albédo, la longueur de Monin Obukhov minimale et les précipitations caractéristiques du site météorologique.

Le logiciel ADMS ne prend pas en compte les vents calmes, la valeur minimale du vent à 10 m est de 0.75 m/s. Dans le cas d'un vent inférieur à 0.75 m/s, le logiciel refuse de faire le calcul.

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

#### **2.2.2.4. Les différents types de calcul**

Le logiciel ADMS permet de simuler la dispersion sur le court terme d'un ou de plusieurs polluants à partir d'une situation météorologique précise définie par l'utilisateur via l'interface ou à partir d'un fichier météorologique importé.

ADMS permet aussi de faire un calcul sur le long terme de la concentration. L'utilisateur peut choisir le temps de moyennage ainsi que les percentiles qui l'intéressent.

Il est possible de calculer les dépôts de polluants en fonction des caractéristiques des espèces et des précipitations pour les dépôts humides.

Si on s'intéresse à des polluants radioactifs, il est possible de calculer le rayonnement gamma en des points définis par l'utilisateur.

Enfin il est aussi possible de modéliser la dispersion d'un rejet instantané. Le logiciel utilise alors un modèle à bouffées.

#### **2.2.2.5. La topographie et les bâtiments**

Les effets de topographie comme les collines ou les fronts de mer peuvent être pris en compte dans ADMS. Il est aussi possible de prendre en compte les variations de rugosité.

Le logiciel ADMS permet de prendre en compte l'effet d'un bâtiment proche de la source. Il est possible de spécifier jusqu'à 10 bâtiments. En revanche ce calcul n'est possible qu'avec une source ponctuelle.

#### **2.2.2.6. La visibilité du panache**

Le logiciel ADMS propose un calcul de visibilité du panache. Il est alors nécessaire de préciser le rapport de mélange du rejet, ainsi que l'humidité et la température de l'air ambiant.

#### **2.2.2.7. Les fluctuations de concentration et les phénomènes instationnaires**

Le logiciel ADMS peut calculer des fluctuations de concentration afin de répondre à des problématiques de calcul d'odeur. Un module spécifique fondé sur un modèle à bouffées gaussiennes permet aussi de modéliser des rejets instationnaires.

### **2.2.3. LES HYPOTHESES ET LES MODELISATIONS PHYSIQUES**

#### **2.2.3.1. Paramétrisation de la couche limite et calcul de la stabilité**

Dans ADMS, la stabilité de la couche limite atmosphérique n'est pas déterminée par une classe, mais de manière continue par le rapport de 2 paramètres : la hauteur de la couche limite et la longueur de Monin-Obukhov. (cf Etat de l'art ch 3.2.3.2) La longueur de Monin-Obukhov est définie par :

$$L_{MO} = \frac{-u_*^3 \rho C_p T_0}{\kappa F_{\theta 0}} \quad (2.7)$$

Avec  $u_*$  la vitesse de frottement,  $\kappa$  la constante de von Kaman,  $F_{\theta 0}$  le flux de chaleur à la surface,  $T$  la température de l'air près du sol,  $\rho$  la masse volumique et  $C_p$  la capacité thermique.

Dans des conditions instables, la longueur de Monin-Obukhov est négative. Dans des conditions stables, la longueur est positive et dans un cas neutre, la valeur absolue de la longueur est infinie.

Deux paramètres décrivent donc la structure de la couche limite :  $z/h$ , avec  $z$  l'altitude et  $h$  la hauteur du sommet de la couche limite et  $z/L_{MO}$ . Contrairement à la modélisation de Pasquill Gifford, les propriétés turbulentes de la couche limite varient donc avec l'altitude.

ADMS calcule aussi différentes variables qui varie en fonction de z : la vitesse horizontale, la température et la masse volumique, ainsi que des paramètres qui quantifient la turbulence : les écarts-types sur la vitesse, les échelles de longueurs turbulentes, l'énergie de dissipation, l'échelle de temps lagrangienne et la fréquence de flottabilité.

**2.2.3.2. Calcul des concentrations**

• **Dans les situations neutres et stables**

La concentration de polluant est calculée à partir de la formule gaussienne qui prend en compte la réflexion sur le sol et sur le sommet de la couche limite

$$C = \frac{Q_s}{2\pi\sigma_y\sigma_zU} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left( \begin{array}{l} \exp\left(\frac{-(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(\frac{-(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(\frac{-(z+2h-H)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \\ \exp\left(\frac{-(z-2h+H)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(\frac{-(z-2h-H)^2}{2\sigma_z^2}\right) \end{array} \right) \quad (2.8)$$

Avec Q<sub>s</sub> le débit massique de la source, U la vitesse du vent à la hauteur du rejet H, h la hauteur de la couche limite et σ<sub>y</sub> et σ<sub>z</sub> les écarts-types.

L'écart-type σ<sub>z</sub> est lié à la vitesse turbulente verticale σ<sub>w</sub> et au temps de parcours depuis la source t par la relation suivante : (cf Etat de l'art 4.1.3 et 4.2.2)

$$\sigma_z = \sigma_w t \left( \frac{1}{b^2} + \frac{N^2 t^2}{1+2Nt} \right)^{-0.5} \quad (2.9)$$

Où N est la fréquence de flottabilité et b un coefficient.

L'écart-type σ<sub>y</sub> est défini de la manière suivante :

$$\sigma_y^2 = \sigma_{yt}^2 + \sigma_{yw}^2 \quad (2.10)$$

Avec  $\sigma_{yt} = \sigma_v t (1 + (15.6)^{1/3} u_* t/h)^{-0.5}$  (2.11)

σ<sub>yw</sub> est égal à σ<sub>θ</sub>x où σ<sub>θ</sub> est l'écart-type sur la direction du vent moyen.

• **Dans le cas instable**

Le logiciel utilise des distributions de concentrations gaussiennes latérales. La concentration de polluant est alors la somme pondérée de deux termes : la concentration dans un cas neutre ou stable et la concentration de la couche limite convective. Le calcul des écarts-types est alors le suivant :

$$\sigma_{yc} = \sigma_{vc} t \left( 1 + \frac{t}{h} 0.75^{1/3} w_* \right)^{-1/2} \quad (2.12)$$

$$\sigma_{yn} = \sigma_{vn} t \left( 1 + \frac{t}{h} 15.6^{1/3} u_* \right)^{-1/2} \quad (2.13)$$

$$\sigma_y^2 = \sigma_{yn}^2 + \sigma_{yc}^2 + \sigma_{yw}^2 \quad (2.14)$$

Dans le cas instable, la distribution verticale de concentration est non gaussienne. cf (état de l'art ch 4.2.1).

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

Commentaires : cette détermination des écarts-types de diffusion permet de décrire à chaque instant et en tout point du domaine la concentration en polluant. Les travaux de recherches qui ont conduit à ces formulations ont été réalisés au cours des années 84-85. Il n'existe pas actuellement de formules plus récentes pour calculer les écart-types de diffusion.

#### **2.2.3.3. Calcul de la surélévation du panache**

Le logiciel ADMS calcule l'élévation du panache en utilisant un modèle intégral. Les équations intégrales de conservation de la masse, de la quantité de mouvement et de la chaleur sont résolues en supposant que le panache est continu et de section circulaire.

Ce modèle calcule donc la surélévation du panache par rapport à la source en tout point de l'axe du panache et prend en compte les effets de flottabilité et les effets dynamiques.

#### **2.2.3.4. Calcul des dépôts secs et humides**

Le dépôt sec de particules est proportionnel à la concentration près du sol (cf Etat de l'art ch 4.6). La constante de proportionnalité étant la vitesse de dépôt du polluant. Cette vitesse dépend de la nature du polluant et de la taille des particules.

Le dépôt humide de particules dépend du taux de lessivage du polluant par la pluie et de la concentration.

#### **2.2.3.5. Les polluants radioactifs**

Le logiciel permet de prendre en compte des polluants radioactifs et de modéliser la désintégration radioactive des éléments. La désintégration des isotopes est régie par l'équation suivante :

$$\frac{dN_i}{dt} = -\lambda_i N_i + \sum_{j \neq i} f_{ij} \lambda_j N_j$$

Avec  $N_i$  le nombre de moles de l'isotope  $i$ ,  $\lambda$  la constante radioactive et  $f_{ij}$  la fraction de l'isotope  $j$  dégradé en isotope  $i$  (cf état de l'art 4.3.3).

Il est aussi possible de calculer la dose de rayonnement gamma qui impacte le sol en un point défini par l'utilisateur.

Les isotopes utilisables dans ADMS sont limités.

#### **2.2.3.6. La prise en compte du relief**

Le logiciel ADMS peut prendre en compte les effets de relief et de changement de rugosité (cf Etat de l'art ch 4.5.1). En effet le modèle météo FLOWSTAR-D fondé sur un modèle diagnostique linéarisé (Carruthers 1991), calcule l'écoulement en tenant compte de la topographie, de l'occupation des sols et de la stratification thermique. Le calcul des écarts-types et de la concentration dépend ensuite de l'état de stabilité de l'atmosphère.

Le modèle d'écoulement a été testé avec des mesures de terrain et des expériences en soufflerie. Il n'est valable que pour des reliefs modérés (pentes inférieures à 33%). Une pente de 50% avec une zone de recirculation, pourrait entraîner des erreurs importantes dans le calcul de la concentration. Un changement de rugosité d'un facteur 10 est toléré par le modèle.

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

### **2.2.3.7. Les effets de bâtiments**

Il est possible de prendre en compte l'effet des bâtiments (au maximum 10) situé à proximité des sources. On modélise l'effet de la recirculation de l'air en aval du bâtiment par une concentration uniforme dans la zone de recirculation (cf Etat de l'art ch 4.5.2). Cette concentration dépend de la fraction du panache qui est entraînée dans cette zone.

La concentration en aval du bâtiment est alors la somme de deux contributions : le panache au niveau du sol issu de la zone de recirculation et le panache situé au-dessus des bâtiments.

L'effet de rabattement du panache est modélisé par une diminution de la hauteur du panache et une augmentation de la dispersion.

Pour les sources situées en aval du bâtiment, donc dans le sillage, la hauteur du panache est diminuée en fonction de la vitesse du vent à la cheminée et de la vitesse de rejet de la source.

L'effet de rabattement du panache n'a pas été entièrement validé par les expériences.

### **2.2.4. LES DONNEES D'ENTREE ET LES VARIABLES CALCULEES**

Le logiciel propose une organisation sous forme de « scénario » dans lequel sont définis le domaine d'étude et les caractéristiques du site, les espèces, les sources et la météorologie et les options de modélisation.

#### **2.2.4.1. Définition du site**

L'utilisateur doit tout d'abord préciser les caractéristiques du site : la latitude et la rugosité. Pour le cas d'un calcul qui tient compte du relief, l'utilisateur doit importer un fichier contenant les données de relief et de rugosité.

La grille de calcul et les coordonnées des récepteurs sont définies via l'interface. Deux systèmes de coordonnées sont disponibles : le système cartésien (x, y, z) et le système polaire (r,  $\theta$ , z). La grille ne peut excéder 10000 points et le nombre de récepteurs est limité à 100.

#### **2.2.4.2. Définition des sources et des émissions**

Les sources sont définies par l'intermédiaire de l'interface graphique, elles peuvent être ponctuelles, linéiques, surfaciques, volumiques ou des jets. Il convient ensuite de préciser les caractéristiques de ces sources : les coordonnées, la hauteur et le diamètre de la cheminée, les vitesses de rejet et les températures d'éjection. Il est aussi nécessaire de donner les caractéristiques du rejet : la masse volumique, la masse molaire, la capacité thermique. Enfin, il est possible d'ajouter une modulation sur les émissions, soit à la main, soit en important un fichier de modulation.

L'utilisateur définit aussi les polluants et leurs caractéristiques : débit massique, nature du polluant (gaz ou particule), le coefficient de lessivage et la vitesse de dépôt.

#### **2.2.4.3. La météorologie**

Les données météorologiques peuvent être définies par l'utilisateur via l'interface graphique. Les données obligatoires sont alors : la vitesse et la direction du vent, la date, l'heure et la couverture nuageuse ou la vitesse et la direction du vent, et le flux de chaleur à la surface. Il faut aussi préciser la hauteur de la mesure du vent. D'autres paramètres peuvent être précisés, mais ils ne sont pas obligatoires : la hauteur de la couche limite, la température, l'écart-type sur la direction horizontale du vent et l'humidité relative.

Il est aussi possible d'importer un fichier de données météorologiques. Ce fichier doit contenir au minimum les données décrites précédemment. Il est aussi possible de remplacer le flux de chaleur à la surface par l'inverse de la longueur de Monin-Obukhov.

#### 2.2.4.4. Les variables calculées

Pour un calcul sur le court terme, le logiciel ADMS calcule la concentration de polluants au sol sur les points de la grille définie et sur les points récepteurs. Le logiciel calcule aussi la concentration sur l'axe du panache. Il est également possible de connaître les écarts-types, les dépôts secs et humides, la hauteur moyenne du panache et la fraction de polluant qui traverse la couche limite.

Pour un calcul sur le long terme, le logiciel calcule sur la grille définie par l'utilisateur la concentration moyenne, les dépôts et les percentiles paramétrés par l'utilisateur.

le logiciel ADMS permet aussi de connaître les valeurs des variables calculées par le préprocesseur météorologique.

Tous les résultats sont stockés dans des fichiers au format texte. Il est possible depuis l'interface graphique de visualiser certaines courbes comme la concentration sur l'axe en fonction de la distance à la source. Le logiciel ADMS est interfacé avec le logiciel Surfer, il est donc possible de visualiser les résultats sous forme d'iso-contours.

#### 2.2.5. L'INTERFACE

##### 2.2.5.1. L'interface graphique

L'utilisateur peut construire et effectuer des simulations par l'intermédiaire d'une interface graphique. Des onglets permettent de définir les données d'entrées (le site, la météorologie, les polluants, les options de calcul) et de lancer l'exécution d'un calcul (Cf Figure 3). Un onglet permet de visualiser les résultats du calcul de certaines variables (Cf Figure 4 et Figure 5). Par exemple, on peut observer la concentration sur l'axe au sol ou à la hauteur du panache en fonction de la distance à la source.

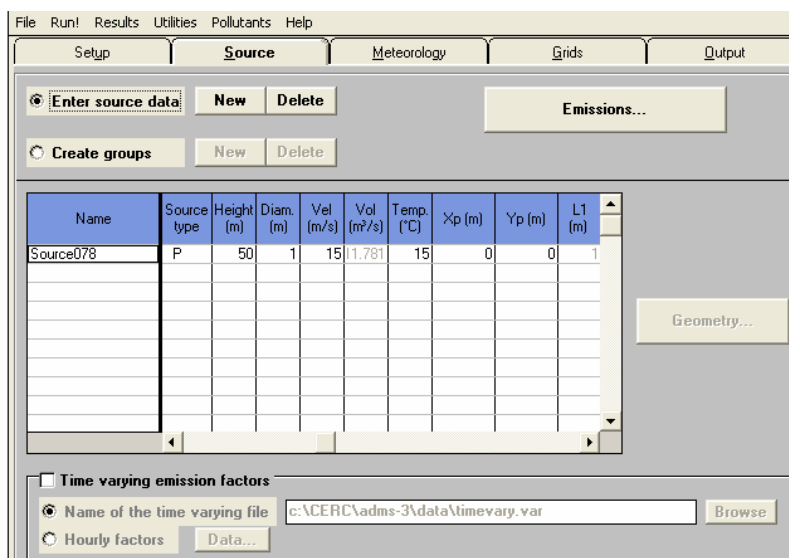


Figure 3 : Interface graphique d'ADMS



Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

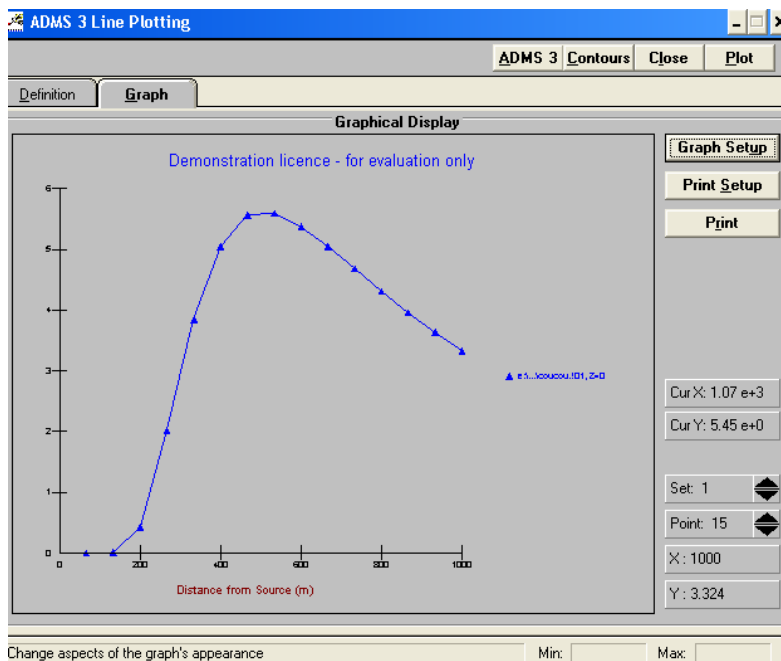


Figure 4 : Fenêtre de visualisation des résultats de la simulation

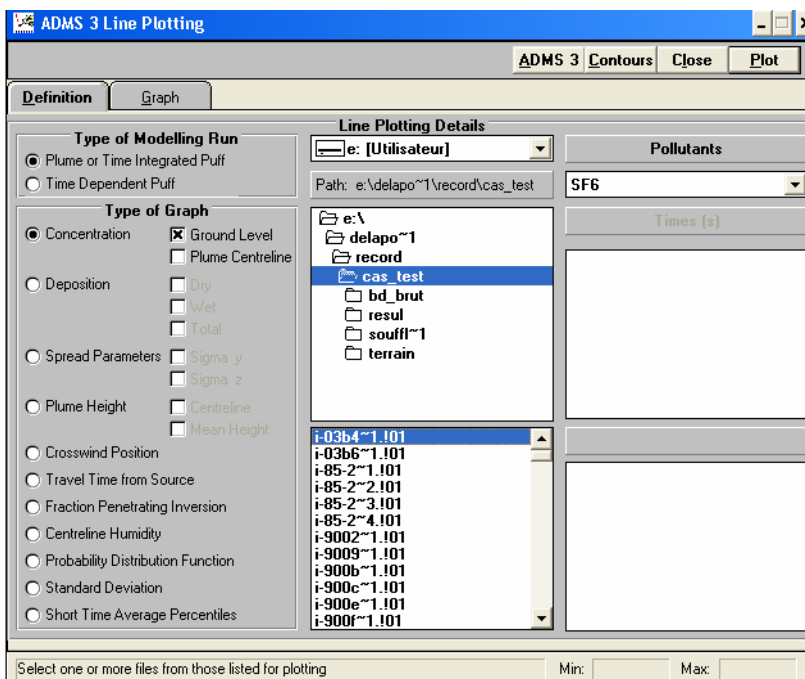


Figure 5 : Les différentes variables visualisables dans l'utilitaire graphique

### 2.2.5.2. L'organisation des données

Les scénarios de simulations sont stockés sous forme des fichiers textes avec l'extension .APL. Ces fichiers contiennent toute la définition de la simulation : les caractéristiques du site, les données météorologiques, les sources et les polluants, la grille de sortie et les options de modélisation retenues. Les fichiers de résultats sont stockés dans le même répertoire que le scénario de simulation.

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

### **2.2.5.3. Le lancement de calcul en batch**

Il est possible de lancer des simulations en mode batch en précisant le nom de l'exécutable ADMS et le nom du fichier d'extension .APL que l'on souhaite exécuter.

## **2.2.6. LES PERFORMANCES ET LES LIMITATIONS**

### **2.2.6.1. Les avantages**

- Le logiciel ADMS permet de simuler un grand nombre de phénomènes liés à des problématiques de dispersion atmosphérique.
- Il permet de simuler l'impact des rejets atmosphériques sur le long terme et sur le court terme et de calculer des statistiques dans un temps raisonnable. Pour étudier une source avec un an de données météorologiques séquentielles, avec un pentium 4 à 3GHZ et 1Go de RAM, il faut quelques minutes. Les temps de calculs augmentent si on choisit différentes options qui font appel au modèle Flowstar.
- Il permet de calculer l'évolution de la hauteur du panache depuis la source.
- Il permet de prendre en compte de manière précise des effets de topographie (à condition que les variations de relief soient modérées) ou de bâtiments en calculant la dispersion en présence de ces obstacles, les zones de recirculation,...
- Il est aussi possible d'intégrer les caractéristiques du site météorologique.
- Grâce à plusieurs modules spécifiques intégrés au logiciel, ADMS permet de répondre à des problématiques complexes comme le rejet de particules ou de polluants radioactifs ou encore les rejets discontinus, les problèmes d'odeur.

### **2.2.6.2. Les limites**

- Il est possible de visualiser la rose des vents correspondant à une série météorologique, mais il n'est pas possible de l'utiliser pour un calcul à long terme. Il est nécessaire de spécifier manuellement les directions, les vitesses et les fréquences d'occurrence pour faire un calcul à partir d'une rose des vents.
- Le logiciel ADMS est construit sur les bases d'un modèle gaussien. Il ne permet donc pas d'intégrer des écoulements complexes dans un site au relief très accidenté.
- Dans le module de relief, on ne peut intégrer qu'une seule mesure météorologique.
- Il n'est pas possible de prendre en compte les vents calmes.

### 2.3. LA PLATE-FORME ARIA INDUSTRY

La plate-forme ARIA INDUSTRY distribuée par la société ARIA Technologies propose 3 modèles de dispersion : un modèle à bouffées gaussiennes (TRAMES), un modèle eulérien (HERMES) et un modèle lagrangien (SPRAY). Ces modèles permettent de calculer la dispersion d'un polluant dans un champ de vent tridimensionnel. Contrairement au modèle gaussien classique, ces modèles permettent de décrire des situations instationnaires comme un rejet non continu et l'évolution du polluant au cours du temps. Ce logiciel propose aussi un modèle météorologique de type diagnostique : MINERVE, qui permet d'interpoler des mesures météorologiques sur un maillage à trois dimensions. Le modèle de météorologie et les 3 modèles de dispersion installés avec la plateforme ARIA Industry sont indépendants les uns des autres et les options de modélisation ne sont pas uniformisées entre les modèles. L'utilisateur communique avec le logiciel au moyen d'une interface graphique. Cette interface lui permet de préparer les données d'entrée pour simuler un problème de rejet de polluant dans l'atmosphère au moyen de différents préprocesseurs :

- Relief : ce préprocesseur permet de générer un fichier contenant les données de topographie au format ARIA à partir de données issue de l'IGN ou de l'USGS.
- Site manager : ce préprocesseur permet de définir les caractéristiques du site industriel (occupation des sols et définition des sources).
- Emission manager : ce préprocesseur permet de définir les espèces émises et les conditions de rejets (débit, modulation, température de rejet,...)

L'utilisateur peut ensuite utiliser le modèle MINERVE pour calculer les fichiers météorologiques qui seront utilisés par les modèles de dispersion. L'utilisation de ce modèle n'est pas obligatoire si l'utilisateur possède déjà des données météorologiques maillées au format ARIA.

L'interface graphique (Figure 6) permet ensuite à l'utilisateur d'appeler l'un des modèles de dispersion. Le choix du modèle de dispersion est entièrement laissé à l'utilisateur. Chaque modèle possède sa propre interface graphique qui permet à l'utilisateur de définir les paramètres de calcul et d'exécuter le calcul. Ces interfaces sont interactives, certaines options ne sont pas accessibles suivant les choix effectués par l'utilisateur. Les options de modélisation contenues dans ces interfaces ne sont malheureusement pas toujours très explicites pour l'utilisateur.

Il est aussi possible d'exécuter chacun des modèles en mode Batch, ce qui permet de faire un grand nombre de simulations de manière automatique.

Les résultats du modèle météorologique MINERVE et des 3 modèles de dispersion sont stockés dans des fichiers binaires. Un post-processeur permet de convertir ces fichiers dans un format lisible par le logiciel SAVI3D qui permet de visualiser en 3 dimensions des isocontours, des lignes de courants,...

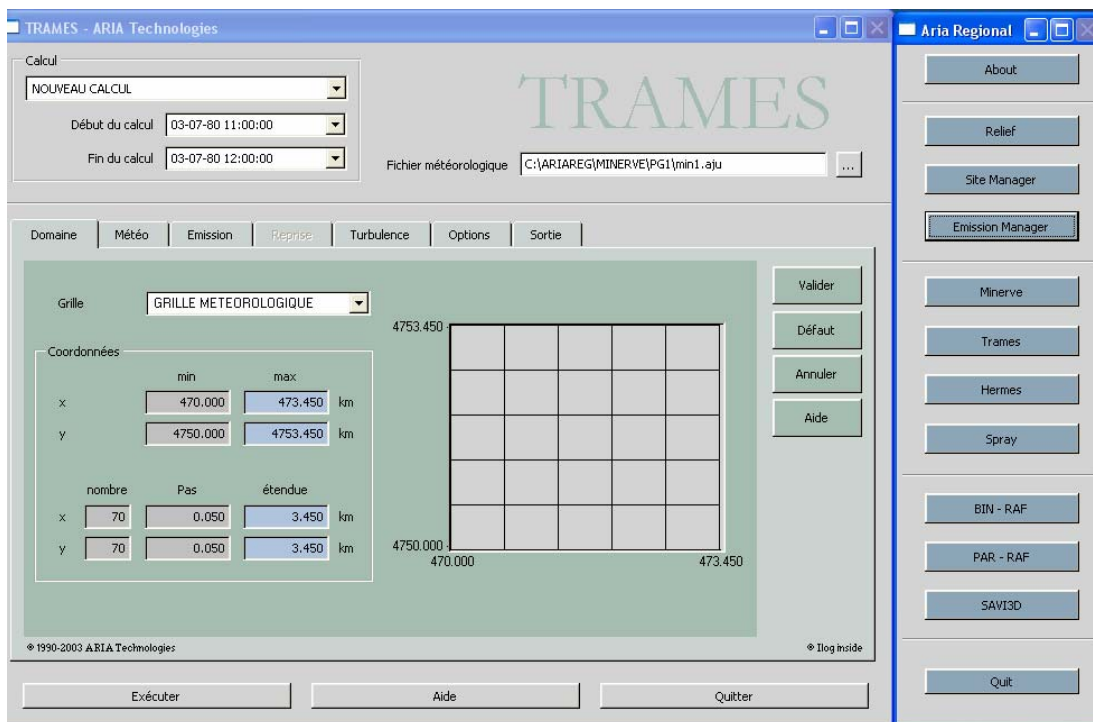


Figure 6 : exemple de l'interface graphique ARIA INDUSTRY

Il existe une documentation pour chaque modèle. Ces documentations ne sont pas très faciles d'emploi, entre les références aux variables Fortran et les options de l'interface graphique. De plus, elles ne sont pas toujours à jour et les descriptions techniques des modèles sont parfois imprécises et comportent quelques erreurs.

Ces modèles ont été validés au cours de plusieurs campagnes de mesures : notamment sur la région industrielle de l'Etang de Berre (A. Albergel, 2004), et le site de Notre-Dame de Gravenchon.

Dans la partie suivante, nous allons présenter le modèle météorologique, puis nous détaillerons les principes de calcul et les fonctionnalités des différents modèles tridimensionnels.

## 2.4. LE MODELE METEOROLOGIQUE MINERVE

Le modèle MINERVE est un modèle météorologique de type diagnostique qui permet, à partir d'une ou plusieurs mesures de vent et de température en surface et en altitude, de reconstituer par une méthode d'interpolation les champs de vent et de température sur un maillage tridimensionnel régulier. Le champ de vent interpolé est ensuite ajusté pour remplir la condition de conservation de la masse.

- **La topographie**

Le modèle MINERVE permet de calculer un champ de vent sur une zone au relief marqué. Il est aussi possible de préciser les variations d'occupations des sols sur la zone d'étude. Le modèle calcule alors le champ de vent en fonction de ces paramètres. En théorie, ce modèle s'applique sur tous les types de relief. Cependant la qualité du résultat dépend beaucoup des données d'entrée du modèle. En effet, si on possède un réseau important de mesures météorologiques au sol et en altitude, il est possible de reconstituer très fidèlement le champ de vent sur une zone de relief accidenté.

Le modèle MINERVE propose différentes méthodes d'interpolation des mesures sur le maillage, le choix étant laissé à l'utilisateur. Les résultats de ces méthodes sont dans l'ensemble équivalents.

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

- **Les obstacles**

Il n'est pas possible de prendre en compte les obstacles dans la version actuelle du modèle.

- **La turbulence**

Il est possible, en plus du champ de vent, de calculer les coefficients de diffusivité turbulente sur le maillage.

- **Les fichiers de sorties**

Les fichiers de sortie du modèle MINERVE sont des fichiers binaires contenant le vent et la température sur le maillage tridimensionnel et éventuellement la turbulence et l'humidité.

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

## **2.5. LE MODELE TRAMES**

### **2.5.1. DESCRIPTION GENERALE DU MODELE**

Le modèle TRAMES est intégré au logiciel ARIA Industry. C'est un modèle à bouffées gaussiennes qui permet de simuler en 3 dimensions la dispersion des polluants atmosphériques issus d'une ou de plusieurs sources. Le modèle est fondé sur le principe d'une formulation gaussienne qui permet de suivre dans l'espace et le temps l'évolution d'une bouffée.

### **2.5.2. LES FONCTIONNALITES DU MODELE**

#### **2.5.2.1. Les sources**

Le modèle TRAMES permet de prendre en compte des sources de différentes formes : elles peuvent être ponctuelles, linéiques, surfaciques ou volumiques. Il est aussi possible de faire un calcul avec plusieurs sources.

L'utilisateur définit la période d'émission de la source et les caractéristiques du rejet pendant cette période (température, vitesse, quantité émise pendant la période).

Le logiciel TRAMES permet de calculer la surélévation du panache. Plusieurs modélisations sont proposées analogues à celles proposées dans le modèle ARIA IMPACT.

#### **2.5.2.2. Les polluants**

Il est possible de prendre en compte plusieurs types de polluants : les effluents gazeux passifs, les poussières, les aérosols, les gaz lourds, les éléments radioactifs. Le logiciel calcule les dépôts secs et humides ainsi que la décroissance radioactive.

#### **2.5.2.3. La météorologie**

Le logiciel TRAMES utilise les champs météorologiques tridimensionnels issus d'un modèle spécifique (par exemple MINERVE). Les données indispensables sont le vent et la température sur un maillage à 3 dimensions.

Il est possible de préciser certaines variables comme la température au sol ou le taux de pluie, si ces données ne sont pas comprises dans le fichier météorologique 3D.

La turbulence peut être renseignée de 3 façons :

- l'utilisateur précise une classe de stabilité homogène sur tout le domaine (classe A de Pasquill, par exemple).
- la classe de stabilité est déterminée à partir du champ tridimensionnel de température
- les coefficients de diffusivité turbulente verticale et horizontale font partie des données météorologiques importées.

Le modèle TRAMES permet de prendre en compte des situations de vents calmes.

Les obstacles ne peuvent pas être pris en compte.

**2.5.2.4. Les différents types de calcul**

Le logiciel permet d'effectuer plusieurs calculs:

- La concentration instantanée
- La concentration intégrée sur la durée de la simulation
- La concentration maximale sur la durée de la simulation
- La concentration moyenne sur la durée de la simulation

Le logiciel ne permet pas de calculer directement les variables statistiques comme les percentiles ou les fréquences de dépassement de seuil.

**2.5.3. LES HYPOTHESES ET LES MODELISATIONS PHYSIQUES****2.5.3.1. Les hypothèses générales**

Le rejet de polluant est modélisé par des bouffées discrètes qui suivent l'écoulement et s'évalent au fur et à mesure qu'elles s'éloignent de la source.

On suppose que la bouffée est advectée uniformément, c'est-à-dire que la vitesse en tout point de la bouffée est égale à la vitesse du centre de masse de la bouffée. Cette hypothèse peut être limitante dans les situations de fort cisaillement (cf état de l'art, ch 2.2.5). En effet, lorsque la taille de la bouffée est importante, le vent peut être très différent dans le bas de la bouffée et dans le haut. Le modèle TRAMES ne tient alors pas compte de la déformation de la bouffée. Cette hypothèse est aussi pénalisante dans les cas de fort relief, la bouffée reste de forme sphérique pour contourner le relief ce qui ne représente pas la physique du problème.

**2.5.3.2. La modélisation du transport par le vent**

Le modèle TRAMES détermine la trajectoire des bouffées en se basant sur les champs de vent. Dans les directions horizontales, les bouffées ont la même vitesse que le vent. Dans la direction verticale, les particules ont la même vitesse que le vent moins une vitesse de chute due à la gravité. Pour les gaz, cette vitesse de chute est nulle et pour les particules, cette vitesse de chute est déterminée par la loi de Stokes, elle dépend des caractéristiques granulométriques des particules.

$$V_g = \frac{d^2 g (\rho_p - \rho_a)}{18 \mu}$$

Avec  $d$  le diamètre des particules,  $g$  la gravité,  $\mu$  la viscosité,  $\rho_p$  la masse volumique des particules et  $\rho_a$  la masse volumique de l'air.

*Remarque* : habituellement, cette formule est valable pour des nombres de Reynolds inférieur à 1, donc pour des particules dont le diamètre est inférieur à 1 micron. Cependant, pour des particules de diamètre inférieur à 10 microns, la vitesse de chute est négligeable devant la vitesse d'advection. On considère donc que les petites particules se comportent comme un gaz. L'utilisation de cette formule pour des particules de tailles non négligeables surestime la vitesse de chute.

Les équations utilisées pour décrire les trajectoires du centre de la bouffée sont les suivantes :

$$dx = u(x, y, z, t) dt$$

$$dy = v(x, y, z, t) dt$$

$$dz = [w(x, y, z, t) - V_g] dt$$

Ces 3 équations sont discrétisées suivant un schéma de Runge Kutta à l'ordre 3.

**2.5.3.3. La modélisation gaussienne de la dispersion du polluant**

Le rejet instantané du polluant est modélisé par une bouffée de forme gaussienne. Cette bouffée va suivre les trajectoires définies précédemment, de telle sorte que le centre de masse de la bouffée soit sur la trajectoire. Au fur et à mesure du temps, la bouffée va aussi s'étaler en fonction des caractéristiques diffusives de l'atmosphère.

A un instant donné, connaissant la position d'une bouffée  $(x_i, y_i, z_i)$  et sa masse  $M$ , on peut déterminer la concentration en polluant due à cette bouffée. On considère que les écarts-types dans les 2 directions horizontales sont égaux.

$$C = \frac{M}{(2\pi)^{3/2} \sigma_y^2 \sigma_z} \exp\left(-\frac{1}{2} \left[ \frac{(z - z_i)^2}{\sigma_z^2} + \frac{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2}{\sigma_y^2} \right]\right)$$

Avec  $\sigma_y$  et  $\sigma_z$  les écarts-types du panache qui dépendent de la distance entre la bouffée et la source et la stabilité.

Le modèle prend en compte la réflexion du panache sur le sol, la concentration due à une bouffée devient donc :

$$C = \frac{M}{(2\pi)^{3/2} \sigma_y^2 \sigma_z} \exp\left(-\frac{1}{2} \left[ \frac{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2}{\sigma_y^2} \right]\right) * \left( \exp\left(-\frac{1}{2} \left[ \frac{(z - z_i)^2}{\sigma_z^2} \right]\right) + \exp\left(-\frac{1}{2} \left[ \frac{(z + z_i)^2}{\sigma_z^2} \right]\right) \right)$$

La concentration en polluant à un instant  $t$  s'obtient en sommant la contribution de toutes les bouffées émises avant cet instant  $t$ .

*Remarque* : cette forme gaussienne présente des limites dans les périodes de convection. En effet, dans ce cas la distribution verticale de la concentration n'est plus gaussienne. Ce phénomène n'est pas pris en compte dans le modèle TRAMES. De même dans les cas de relief marqué ou dans le cas d'un écoulement fortement cisailé, la forme gaussienne des bouffées n'est pas adaptée.



#### 2.5.3.4. Les écarts-types

Le logiciel propose plusieurs formulations des écarts-types :

- Le modèle de diffusion turbulente : les écarts-types sont calculés à partir des coefficients de diffusivité turbulente déterminés par le modèle météorologique ou spécifié par l'utilisateur (cf Etat de l'art ch 4.1.3).

Dans le cas uniforme :

$$\sigma_h = \sqrt{2K_h(t - t_e)}$$

$$\sigma_v = \sqrt{2K_v(t - t_e)}$$

Avec  $K_h$  et  $K_v$  les coefficients de diffusivité horizontaux et verticaux calculés par le modèle météorologique.  $t_e$  est l'instant où la bouffée est émise.

Dans le cas où la diffusivité est variable le long des trajectoires,

$$\frac{1}{2} \sigma^2(t) = \int_{t_e}^t K(\tau) d\tau$$

- La formulation de Pasquill-Turner.
- Les formulations de Briggs.
- La formulation de Doury.
- La formulation du Brookhaven National Laboratory.

Ces formulations sont décrites dans le paragraphe concernant ARIA IMPACT, elles dépendent de la classe de stabilité définie par l'utilisateur ou déterminée par le logiciel. Si la classe de stabilité est définie par l'utilisateur, on considère qu'elle est uniforme sur tout le domaine. Dans le cas où la classe de stabilité est déterminée par le logiciel, la stabilité peut être différente suivant les zones. Celle-ci dépend des caractéristiques turbulentes de l'atmosphère et donc de l'occupation des sols et de la topographie.

#### 2.5.3.5. Les dépôts secs et humides

Les dépôts secs sont pris en compte par l'intermédiaire d'une vitesse de dépôt caractéristique du polluant et du sol. Cette vitesse de dépôt est homogène sur toute la zone. On peut alors calculer la perte de masse d'une bouffée par unité de temps.

Le lessivage par la pluie est modélisé par un taux de lessivage qui dépend de la nature du polluant et de l'intensité des précipitations.

Ces différents phénomènes physiques font diminuer la masse d'une bouffée. On tient compte par la suite de cette perte de masse dans les calculs. On parle d'appauvrissement des bouffées. Dans ce modèle, on considère que cette perte de masse concerne toute la bouffée de manière uniforme. Or, d'un point de vue physique, les particules déposées au sol sont celles qui se situent à proximité du sol et donc en bas de la bouffée. La perte de matière a donc lieu dans le bas de la bouffée, alors que le sommet de la bouffée n'est pas affecté par ce phénomène. Dans ce cas, la répartition du polluant dans la bouffée n'est plus gaussienne. Cette imprécision peut conduire à une surestimation des concentrations au voisinage du sol.

### **2.5.3.6. La hauteur de la couche limite**

La réflexion du panache sur le sommet de la couche limite est prise en compte par le modèle TRAMES mais la méthode utilisée n'est pas décrite dans la documentation.

### **2.5.3.7. Le calcul de la surhauteur**

Le logiciel TRAMES propose plusieurs méthodes pour le calcul de la surhauteur du panache. La surhauteur calculée est la surhauteur finale. Ces méthodes sont les mêmes que celles utilisées dans le logiciel ARIA IMPACT. La surhauteur est prise en compte en considérant une source virtuelle ayant les mêmes caractéristiques que la source réelle, mais située à une hauteur égale à la hauteur de la source initiale plus la surhauteur calculée.

## **2.5.4. LES DONNEES D'ENTREE ET LES VARIABLES CALCULEES**

### **2.5.4.1. Définition du site**

La grille de calcul initiale est importée depuis le modèle météorologique. Cette grille contient les coordonnées des points du maillage, les données de topographie et les niveaux verticaux. Il est possible de définir via l'interface graphique une grille horizontale plus fine incluse dans la grille météorologique mais le maillage vertical est toujours celui de la grille météorologique.

Il n'est pas nécessaire d'introduire de données d'occupation des sols.

### **2.5.4.2. Les données d'émissions**

Les sources et les espèces sont définies à partir de deux fichiers :

- Un fichier décrivant les espèces émises et leurs caractéristiques : nom, vitesse de dépôt, granulométrie, densité,...
- Un fichier décrivant les sources et leurs caractéristiques pour chaque échéance météo : type de source, coordonnées, géométrie, conditions de rejet (température, vitesse, débit), le nom des espèces émises,...

L'utilisateur doit aussi spécifier la cadence d'émissions des bouffées dt. Cette cadence doit être telle que le produit  $U \cdot dt$  est inférieur à la taille des mailles de la grille de calcul. Ce pas de temps doit aussi être tel que la condition de recouvrement des bouffées soit remplie dans la zone d'étude qui nous intéresse.

### **2.5.4.3. La météorologie**

Les données météorologiques sont lues dans le fichier binaire importé du modèle météorologique. Ces données contiennent le vent et la température sur le maillage de calcul et éventuellement des données de précipitation, de turbulence et d'humidité.

La hauteur de la couche limite peut être soit lue dans un fichier issu du modèle MINERVE, soit précisée par l'utilisateur.

Les précipitations peuvent être renseignées par l'utilisateur, elles sont alors uniformes et constantes pour toute la durée de la simulation.

Si les données de turbulence ne sont pas comprises dans le fichier de données météorologiques, l'utilisateur doit préciser une classe de stabilité pour le calcul, ou une valeur de coefficient de diffusivité turbulente.

#### 2.5.4.4. Les paramètres de sorties

Les différents paramètres calculés par TRAMES sont :

- La concentration instantanée sur tous les points du maillage
- Eventuellement les dépôts secs et humides instantanés
- La concentration intégrée sur la durée de la simulation
- Les dépôts intégrés
- La concentration maximale sur la durée de la simulation
- La concentration moyenne dans le temps

Ces paramètres peuvent être calculés sur la grille horizontale au niveau du sol, ou sur le maillage tridimensionnel. L'utilisateur peut choisir la cadence de stockage des résultats.

#### 2.5.5. L'INTERFACE

##### 2.5.5.1. L'interface graphique

Une interface graphique permet à l'utilisateur de spécifier les fichiers d'entrée et les options de calcul qui l'intéressent. Cette interface permet aussi d'exécuter un calcul.

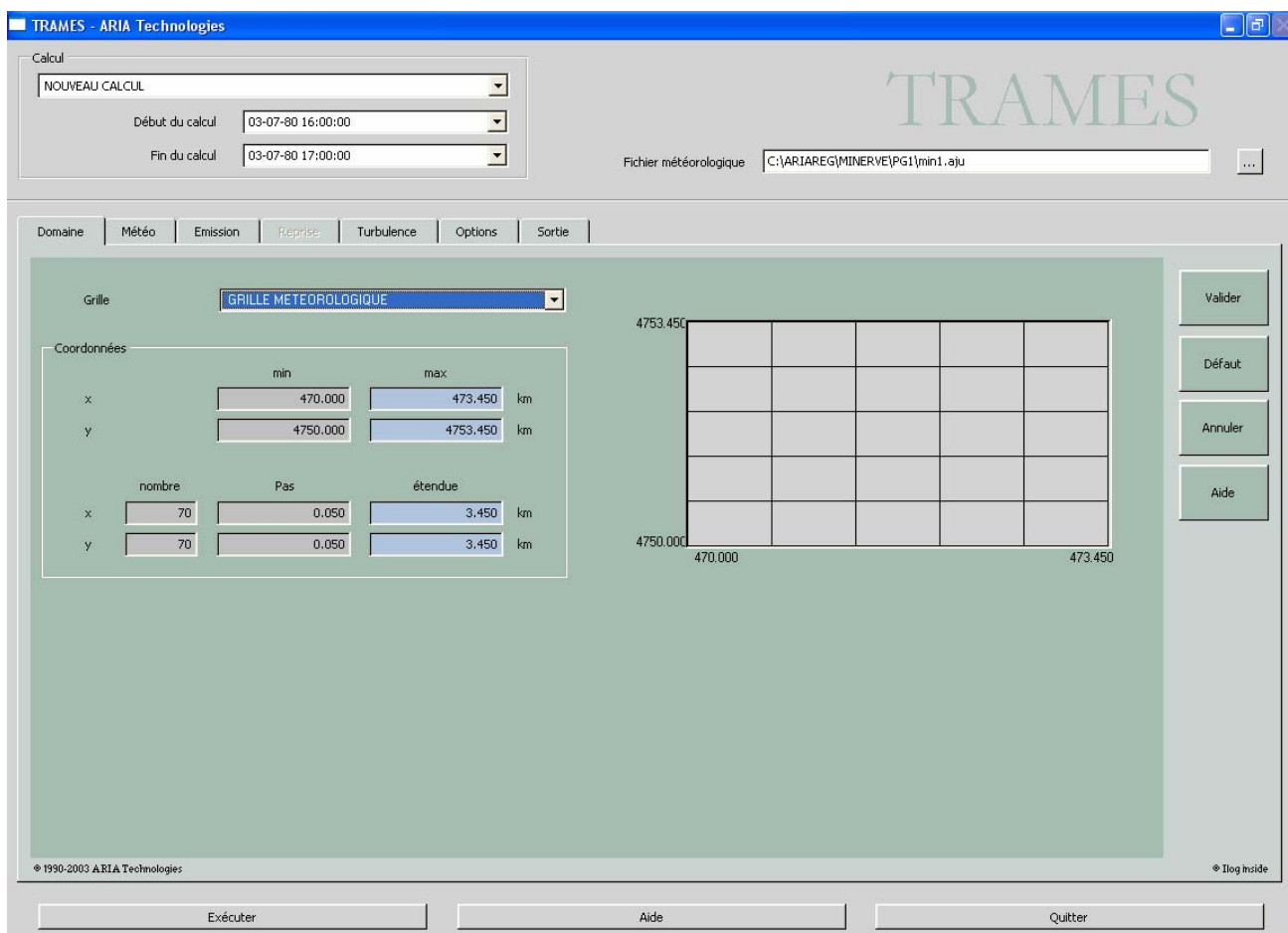
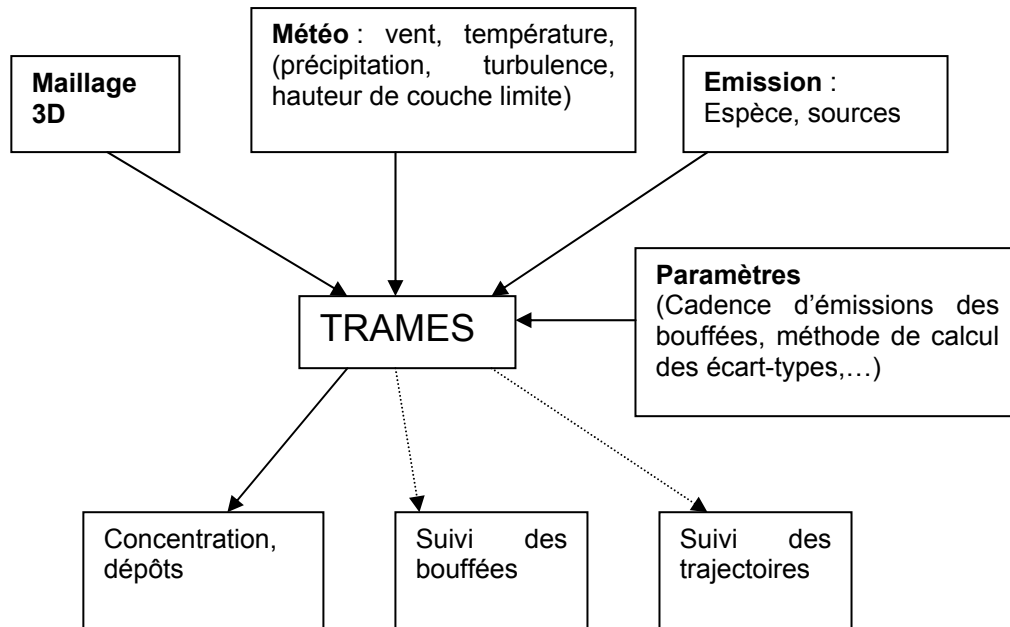


Figure 7 : interface graphique du modèle TRAMES

### 2.5.5.2. L'organisation des données

Les différentes données d'entrée et de sortie du modèle TRAMES sont présentées sur la figure ci-après.



### 2.5.5.3. Le lancement de calcul en batch

Il est possible de lancer un ensemble de simulations en mode batch à partir du répertoire contenant les exécutable du logiciel en précisant le nom du projet, les fichiers d'entrée (météo, émissions) et les fichiers de sortie.

## **2.5.6. LES PERFORMANCES ET LES LIMITATIONS**

### **2.5.6.1. Les avantages**

- Le modèle TRAMES est un modèle à bouffées gaussiennes, qui permet d'étudier la dispersion dans un écoulement relativement complexe et dans des situations instationnaires.
- Les temps de calculs du logiciel sont moyens. Pour étudier la dispersion issue d'une source ponctuelle sur un maillage de 200\*200 points sur une heure de météo, avec un pentium 4 à 3GHZ et 1Go de RAM, il faut 10 minutes environ. Le temps de calcul dépend du nombre de bouffées à traiter.
- Le logiciel permet de prendre en compte différentes espèces : gaz, particules ou éléments radioactifs et de calculer les dépôts secs et humides.

### **2.5.6.2. Les limites**

- Les situations de relief trop marqué sont difficiles à reproduire.
- Le champ de vitesse est uniforme à l'échelle de la bouffée. Par conséquent, les effets de cisaillement de vent ne sont pas pris en compte. Le modèle n'est pas adapté à un fort gradient vertical de vent.
- Le logiciel est capable d'exécuter des calculs sur plusieurs sources de formes différentes. Cependant, les temps de calculs sont considérablement augmentés si les sources sont nombreuses en raison du grand nombre de bouffées à traiter.
- Les concentrations au voisinage de la source sont mal modélisées. Le modèle est valable pour des distances supérieures à environ 100m de la source. Cette distance limite varie suivant la cadence d'émission des bouffées. Cette limite est inhérente à la modélisation gaussienne.
- Les bâtiments ne sont pas pris en compte.
- Les transformations chimiques ne sont pas prises en compte.

## **2.6. LE MODELE HERMES**

### **2.6.1. DESCRIPTION GENERALE DU MODELE**

Le modèle HERMES est intégré au logiciel ARIA Industry. Il contient un modèle météorologique hydrostatique qui permet de calculer l'écoulement sur un relief complexe à partir de données météorologiques issues d'un modèle à plus grande échelle ou d'observations. Le modèle HERMES permet aussi de calculer la dispersion des polluants atmosphériques dans un écoulement complexe en résolvant les équations de transport d'un scalaire passif sur un maillage à 3 dimensions. Le modèle HERMES s'applique à des domaines de 20 à 500 km. D'autres modèles eulériens permettent d'étudier des domaines plus petits. Le modèle HERMES est plutôt adapté à des études d'impact à l'échelle régionale. Au début de cette étude, nous souhaitions tester le modèle eulérien Fluid'in Panache distribué par la société Transoft. Malheureusement, cette entreprise n'a pas souhaité collaborer à ce projet. Nous proposons malgré tout de décrire les fonctionnalités et les principes de modélisation du modèle HERMES comme illustration des méthodes eulériennes de calcul de la dispersion.

Dans la suite de cette étude, nous étudierons uniquement la partie « dispersion » du modèle HERMES, les données concernant l'écoulement étant calculées avec le modèle MINERVE.

### **2.6.2. LES FONCTIONNALITES DU MODELE**

#### **2.6.2.1. Les sources**

Le modèle HERMES permet de prendre en compte des sources de différentes formes : elles peuvent être ponctuelles, linéiques, surfaciques ou volumiques. Il est aussi possible de faire un calcul avec plusieurs sources.

L'utilisateur définit la période d'émission de la source et les caractéristiques du rejet pendant cette période (température, vitesse, quantité émise pendant la période).

Le logiciel HERMES permet de calculer la surélévation du panache.

#### **2.6.2.2. Les polluants**

Il est possible de prendre en compte plusieurs types de polluants : les effluents gazeux passifs, les poussières, les aérosols liquides, les gaz lourds.

Le logiciel prend en compte les phénomènes de dépôts secs et humides pour les calculs d'appauvrissement du panache, mais la quantité de polluant déposée au sol n'est pas accessible à l'utilisateur. On ne s'intéresse qu'à la perte de « matière » dans l'atmosphère pour déterminer la concentration en polluant, mais pas à la quantité de polluant absorbée par le sol.

#### **2.6.2.3. La météorologie**

Le modèle HERMES utilise les champs météorologiques tridimensionnels issus du modèle MINERVE. Les données indispensables sont le vent et la température sur un maillage à 3 dimensions.

La turbulence est calculée par le modèle HERMES. Plusieurs modélisations sont possibles.

Le modèle HERMES permet de prendre en compte les vents calmes.

Les obstacles ne peuvent pas être pris en compte.

#### 2.6.2.4. Les différents types de calcul

Le logiciel calcule la concentration en polluant à chaque pas de temps. L'utilisateur choisit la fréquence de stockage des résultats (concentration instantanée).

Le logiciel ne permet pas de calculer directement les variables statistiques comme les percentiles ou les fréquences de dépassement de seuil.

#### 2.6.3. LES HYPOTHESES ET LES MODELISATIONS PHYSIQUES

##### 2.6.3.1. Les hypothèses générales

On considère que l'atmosphère est à l'équilibre hydrostatique. Ce qui signifie que dans l'équation qui régit la vitesse verticale du vent, tous les termes sont négligeables devant le gradient de pression verticale et le terme de gravité. Cette hypothèse est vérifiée dans les situations où l'accélération verticale est faible et donc dans les situations de relief modéré.

##### 2.6.3.2. Les équations qui régissent le problème

- La conservation d'un scalaire passif

$$\frac{\partial \rho C}{\partial t} + \frac{\partial \rho C u_i}{\partial x_i} = -\rho \frac{\partial \overline{C' u_i'}}{\partial x_i} + S_c$$

$u_i$  est la  $i^{\text{ème}}$  composante de la vitesse.  $S_c$  est la somme des termes sources et des termes puits pour le scalaire  $C$ .

Cette équation s'applique à la concentration d'un polluant.

##### 2.6.3.3. Les conditions aux limites

Pour résoudre les équations sur le maillage, il faut préciser les conditions aux limites du domaine. Pour la concentration au sol, le flux de polluant est nul si il n'y a pas de dépôts. Pour les bords du domaine, les flux de polluant entrant sont nuls et les flux de polluant sortant sont non nuls.

Au sommet de la couche limite, les flux turbulents sont nuls, il n'y a donc pas de polluant qui traverse la couche limite.

Ces conditions aux limites permettent de tenir compte de la réflexion sur le sol et le sommet de la couche limite de manière intrinsèque.

#### 2.6.3.4. La modélisation de la turbulence

Dans l'équation du transport de polluant, on cherche à modéliser le terme  $u'c'$  qui traduit le flux turbulent de polluant.

Dans le modèle HERMES, l'atmosphère est divisée verticalement en 2 zones

- La couche de surface

C'est la zone entre le sol et le premier niveau de calcul du modèle. D'après la théorie de Monin-Obukhov, on considère dans cette partie de l'atmosphère que le flux turbulent est constant suivant  $z$ . Deux paramétrisations permettent de déterminer ce flux : la paramétrisation de Businger-Dyer et la paramétrisation de Louis.

Cette étape permet de déterminer les conditions aux limites pour les flux turbulents.

- La couche limite

On définit  $K_c$  les coefficients de diffusivité turbulente. Ces coefficients lient les flux turbulents au gradient vertical de la concentration moyenne

$$\overline{c'w'} = -K_c \frac{\partial c}{\partial z}$$

Les coefficients  $K_c$  peuvent être déterminés par différentes méthodes :

- La formulation d'O'Brien

Cette formulation permet de décrire l'évolution du coefficient  $K_c$  en fonction de l'altitude  $z$  par une fonction polynomiale telle que au niveau de la couche de surface, le coefficient  $K_c$  est égal au coefficient calculé dans la couche de surface et au sommet de la couche limite,  $K_c$  prend des valeurs très faibles. Cette méthode est très robuste et s'applique à toutes les configurations. Cependant elle ne s'appuie pas sur les caractéristiques de l'écoulement local.

- La formulation de Louis

Les coefficients de diffusion turbulente sont fonctions du cisaillement vertical du vent horizontal moyen et de la stabilité et donc des caractéristiques locales de l'écoulement.

$$K_c = l^2 \left[ \left( \frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + \left( \frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 \right]^{1/2} f(R_i)$$

Où  $l$  est une longueur de mélange et  $f(R_i)$  est une fonction du nombre de Richardson qui traduit les effets locaux de la stabilité. Cette méthode de fermeture est couramment utilisée dans les modèles de Météo France et par le Centre Européen de Prévisions Météorologiques à Moyen Terme ; elle est plus précise que la méthode précédente.

- La formulation de Therry Lacarrère

Le coefficient  $K$  est lié au gradient vertical de l'énergie cinétique turbulente.

Les formulations d'O'Brien et de Louis permettent de faire un raccordement entre le flux turbulent dans la couche de surface et le flux turbulent au sommet du domaine de calcul.

La diffusion horizontale est déterminée par un coefficient qui ne dépend que du maillage et la topographie du site. On parle de diffusion numérique. Ce coefficient ne dépend pas des caractéristiques de l'écoulement. Cette méthode conduit à sous-estimer les concentrations dans les cas stables notamment au voisinage de la source.



### **2.6.3.5. Calcul de la hauteur de la couche limite**

La hauteur de couche limite peut être définie par l'utilisateur ou lue dans le fichier météorologique importé. Le logiciel peut aussi la calculer par plusieurs méthodes :

- La méthode intégrale.
- La hauteur de la couche limite est calculée en recherchant le minimum du flux de chaleur négatif sur chaque profil vertical de température calculé par MINERVE. Cette méthode de calcul s'appuie sur une observation des phénomènes physiques. Elle est rapide et facile à mettre en œuvre mais elle n'est pas équivalente à une méthode de calcul fondée sur l'évolution des paramètres météorologiques comme celle utilisée dans MINERVE.
- La méthode de Vautard qui utilise la température potentielle virtuelle. Cette méthode revient à simuler le rejet d'une bulle d'air chaud au niveau du sol et à constater à quelle altitude la bulle reste bloquée. Cette méthode est utilisée dans le modèle CHIMERE.

Ces deux méthodes dépendent très fortement de la qualité des données de température.

### **2.6.3.6. Les dépôts secs et humides**

Les quantités de polluant déposées au sol par des phénomènes de déposition sèche ou humide ne sont pas calculées. En revanche, le modèle tient compte de la perte de masse du panache par ces phénomènes. Cet appauvrissement du panache est pris en compte dans les équations par un terme puit qui dépend des caractéristiques du polluant et du taux de pluie. La perte de matière due aux dépôts secs ne concerne que le niveau au voisinage du sol, alors que le lessivage par la pluie entraîne une perte de matière dans tout le volume de calcul.

### **2.6.3.7. Le calcul de la surhauteur**

Le logiciel HERMES propose plusieurs méthodes pour le calcul de la surhauteur finale du panache. Ces méthodes sont les mêmes que celles utilisées dans le logiciel ARIA IMPACT.

La surhauteur est prise en compte en simulant le rejet issu d'une source virtuelle dont la hauteur est celle de la source réelle plus la surhauteur finale, toutes les autres caractéristiques étant les mêmes. Dans la méthode de Briggs itératif, le modèle HERMES fait l'hypothèse que la surhauteur finale du panache est atteinte lorsque le panache atteint la frontière de la maille dans laquelle se trouve le rejet. Cette hypothèse revient à sous-estimer les surhauteurs lorsque les mailles sont petites (inférieures à 200m).

### **2.6.3.8. La résolution numérique des équations sur le maillage**

Le maillage de résolution doit être régulier et la taille des mailles est la même dans les directions x et y. il n'est pas possible de raffiner le maillage autour d'un point.

Le schéma temporel de résolution des équations est un schéma explicite centré en temps et en espace (leapfrog). Le pas de temps de résolution des équations est déterminé par le modèle en fonction du maillage spatial et de la stabilité du schéma numérique.

## **2.6.4. LES DONNEES D'ENTREE ET LES VARIABLES CALCULEES**

### **2.6.4.1. Définition du site**

La grille de calcul initiale est importée depuis le modèle de topographie RELIEF. Cette grille contient les coordonnées des points du maillage, les données de topographie. Dans le modèle HERMES, le maillage horizontal doit être régulier, on ne peut pas raffiner le maillage autour des sources. Le maillage vertical est ensuite défini par l'utilisateur via l'interface graphique. Il doit préciser le nombre de niveaux verticaux et leur distribution, l'altitude du plafond de calcul et la hauteur de la couche de surface qui correspond à la hauteur du premier niveau.

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

L'utilisateur peut aussi importer un fichier d'occupation des sols ou préciser une valeur de la rugosité uniforme sur toute la zone.

#### **2.6.4.2. Les données d'émissions**

Les sources et les espèces sont définies à partir de deux fichiers :

- Un fichier décrivant les espèces émises et leur caractéristiques : nom, vitesse de dépôt, granulométrie, densité,...
- Un fichier décrivant les sources et leurs caractéristiques : type de source, coordonnées, géométrie, conditions de rejet (température, vitesse, débit), le nom des espèces émises,...

#### **2.6.4.3. La météorologie**

Les données météorologiques qui caractérisent l'écoulement sont lues dans le fichier binaire importé du modèle météorologique. Ces données contiennent le vent et la température sur un maillage identique au maillage de calcul et éventuellement des données d'humidité, de précipitation, de turbulence, la hauteur de la couche limite.

Si ces données ne font pas partie du fichier météo, l'utilisateur peut spécifier certaines variables comme le taux de précipitation. Dans ce cas, les valeurs sont uniformes sur toute la zone.

#### **2.6.4.4. Les paramètres de sortie**

Lors d'un calcul de concentration uniquement, les différents paramètres calculés par HERMES sur l'ensemble du maillage sont :

- Les caractéristiques de l'écoulement de l'air.
- La concentration instantanée sur tous les points du maillage.

L'utilisateur peut choisir la cadence de stockage des résultats.

## 2.6.5. L'INTERFACE

### 2.6.5.1. L'interface graphique

Une interface graphique permet à l'utilisateur de spécifier les fichiers d'entrée et les options de calcul qui l'intéressent. Cette interface permet aussi d'exécuter un calcul.

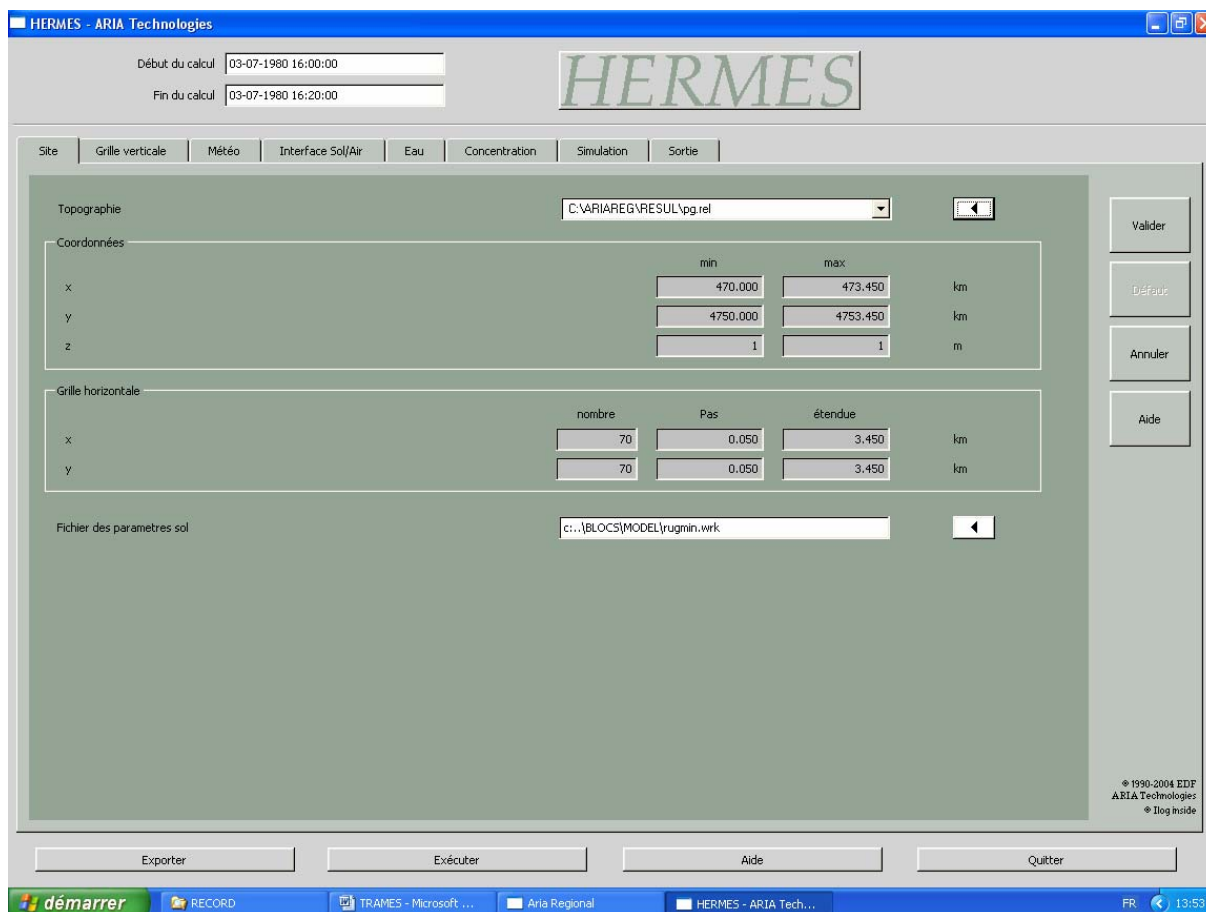
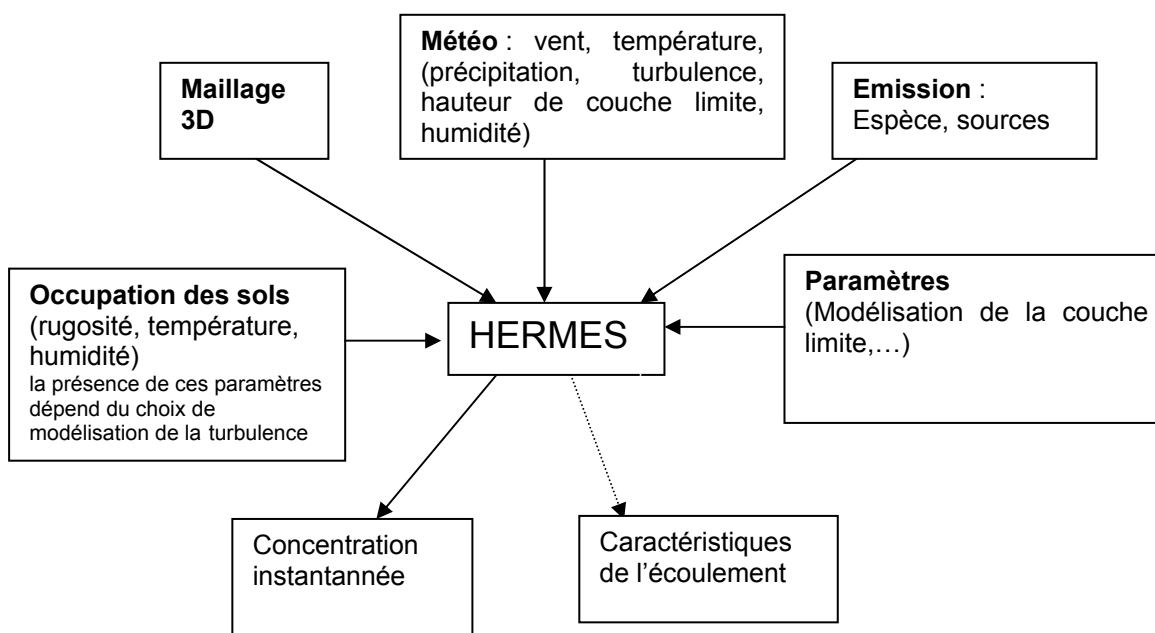


Figure 8 : interface graphique du modèle HERMES

### 2.6.5.2. L'organisation des données

Les différentes données d'entrée et de sortie du modèle HERMES sont présentées sur la figure ci-après.



### 2.6.5.3. Le lancement de calcul en batch

Il est possible de lancer un ensemble de simulations en mode batch à partir du répertoire contenant les exécutable du logiciel en précisant le nom du projet, les fichiers d'entrée (météo, émissions) et les fichiers de sortie

## 2.6.6. LES PERFORMANCES ET LES LIMITATIONS

### 2.6.6.1. Les avantages

- Le modèle HERMES est un modèle qui permet d'étudier la dispersion dans un écoulement complexe.
- Le logiciel permet de prendre en compte différentes espèces : gaz, particules ou éléments radioactifs.
- Le logiciel est capable d'exécuter des calculs sur plusieurs sources de formes différentes. Le temps de calcul des modèles eulériens est indépendant du nombre de source.
- Le logiciel est intéressant pour calculer des épisodes de pollution sur des durées relativement courtes.

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

#### **2.6.6.2. Les limites**

- Le champ de concentration au voisinage de la source est mal décrit car on ne peut pas représenter réellement une source ponctuelle, les émissions sont « diluées » dans toute la maille qui contient la source. D'autant plus que dans le modèle HERMES, on ne peut pas raffiner le maillage autour des sources. Suivant la taille des mailles, cette limite a un impact à une distance plus ou moins importante de la source. (cf étude de sensibilité géométrie de la source)
- Les bâtiments ne sont pas pris en compte. Dans le cas où l'écoulement tiendrait compte de la présence d'obstacle, le modèle HERMES ne serait cependant pas adapté car le maillage régulier et les conditions aux limites uniformes sur le domaine ne permettent pas de représenter convenablement l'effet d'un obstacle. D'autres modèles eulériens permettent cependant de réaliser ce type de calcul.
- Les transformations chimiques ne sont pas prises en compte dans le modèle HERMES
- Les temps de calcul sont beaucoup plus long qu'avec un modèle gaussien, mais ils ne dépendent que de la taille du maillage et pas du nombre de sources. Pour traiter une source ponctuelle sur un domaine de 200\*200 mailles de 50m et 25 niveaux verticaux, pour une heure de météo, il faut 15h de calcul avec un pentium 4, 3 Ghz et 3 Go de RAM.
- La documentation en notre possession n'est pas claire : elle correspond à une version du logiciel destinée à faire des études de risques industriels et des rejet de gaz lourds.
- Les modèles eulériens sont relativement compliqués, ils nécessitent une bonne connaissance des phénomènes physiques qui régissent la dispersion et les modélisations associées pour être utilisé dans de bonnes conditions.
- Le logiciel ne répond pas à une logique d'étude d'impact : il est nécessaire d'exploiter « à la main » les résultats pour calculer les concentrations en moyenne annuelle, les percentiles,...

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

## **2.7. LE MODELE SPRAY**

### **2.7.1. DESCRIPTION GENERALE DU MODELE**

Le modèle SPRAY est intégré au logiciel ARIA Industry distribué par la société ARIA-Technologies. C'est un modèle lagrangien qui permet de simuler le transport, la dispersion et les dépôts de polluant dans un champ météorologique complexe.

### **2.7.2. LES FONCTIONNALITES DU MODELE**

#### **2.7.2.1. Les sources**

Le modèle SPRAY permet de prendre en compte des sources de différentes formes : elles peuvent être ponctuelles, linéiques, surfaciques ou volumiques. Le rejet peut être continu ou discontinu. Il est aussi possible de faire un calcul avec plusieurs sources.

Le logiciel SPRAY permet de calculer la surélévation du panache.

#### **2.7.2.2. Les polluants**

Il est possible de prendre en compte plusieurs types de polluants : les effluents gazeux passifs, les poussières, les aérosols liquides, les éléments radioactifs. Le logiciel calcule les dépôts secs et humides et les décroissances radioactives.

#### **2.7.2.3. La météorologie**

Le logiciel SPRAY utilise les champs météorologiques tridimensionnels issus de MINERVE. Les données indispensables sont les champs de vent sur un maillage à 3 dimensions.

La turbulence est calculée par le modèle en fonction de la météorologie et de l'occupation des sols.

Le modèle SPRAY permet de prendre en compte les vents calmes.

Les obstacles ne peuvent pas être pris en compte.

#### **2.7.2.4. Les différents types de calcul**

Le logiciel permet de calculer la concentration sur le même maillage tridimensionnel que celui des données météorologiques ou les dépôts en polluant au sol à une fréquence définie par l'utilisateur. La concentration est moyennée sur une durée elle aussi définie par l'utilisateur. Il est aussi possible de calculer des doses.

Le logiciel ne permet pas de calculer directement les variables statistiques comme les percentiles ou les fréquences de dépassement de seuil.

### 2.7.3. LES HYPOTHESES ET LES MODELISATIONS PHYSIQUES

#### 2.7.3.1. Les hypothèses générales

Le rejet de polluant est discrétisé en un nombre fini de particules lagrangiennes portant chacune une certaine masse de polluant (cf Etat de l'art, ch 2.3.2). Chaque particule suit une trajectoire chaotique qui dépend de l'écoulement et de son état turbulent. Il faut un grand nombre de particules lagrangiennes pour décrire toutes les trajectoires possibles du polluant. A un instant t, la distribution spatiale de ces particules permet de déterminer la concentration de polluant.

On suppose que la diffusion moléculaire est négligeable devant la dispersion turbulente et que la concentration en polluant des particules lagrangiennes est constante.

La turbulence est inhomogène.

On suppose que lorsque le polluant atteint un niveau de mélange homogène, (well mixed solution), le polluant garde cet état. C'est-à-dire que les particules ne vont pas se regrouper en un point.

#### 2.7.3.2. Les équations qui régissent le problème

Le logiciel SPRAY est fondé sur un modèle stochastique, c'est-à-dire que les fluctuations temporelles et spatiales des variables météorologiques sont modélisées comme aléatoires.

- Les équations de Langevin

La trajectoire  $X(t)$  et la vitesse  $U(t)$  d'une particule sont définies par le modèle de Thomson (1987) :

$$\frac{dX(t)}{dt} = U(t)$$

$$dU(t) = a(X,U)dt + \sqrt{B_0(X)}d\mu$$

Avec  $\mu$  un terme gaussien aléatoire de moyenne nulle et de variance 1. Le terme  $B_0$  s'écrit :

$$B_0 = \frac{\sigma_u}{T_L}$$

avec  $T_L$  l'échelle de temps lagrangienne,

$$\sigma_u = \overline{U'^2}$$

le flux de turbulence cinématique.

- L'équation de Fokker Planck

Les deux équations lagrangiennes précédentes sont équivalentes à une équation eulérienne pour la densité de probabilité  $P(X,U,t)$ , probabilité qu'une particule se trouve au voisinage de la position  $X$  avec une vitesse voisine de  $U$  à un instant  $t$ .

Cette équation dite de Fokker Planck s'écrit :

$$U_x \frac{\partial P}{\partial x} + U_y \frac{\partial P}{\partial y} + U_z \frac{\partial P}{\partial z} = - \left( \frac{\partial(aP)}{\partial u_x} + \frac{\partial(aP)}{\partial u_y} + \frac{\partial(aP)}{\partial u_z} \right) + B_{0_x} \frac{\partial^2 P}{\partial u_x^2} + B_{0_y} \frac{\partial^2 P}{\partial u_y^2} + B_{0_z} \frac{\partial^2 P}{\partial u_z^2}$$

- La résolution des équations

Les équations de Langevin sont discrétisées suivant la méthode des différences finies.

La vitesse turbulente horizontale  $U'$  est alors définie par

$$U_i'(t + \Delta t) = \left[ 1 - \frac{\Delta t}{T_{L_i}(X, t)} \right] U_i'(t) + \frac{1}{2} \frac{\partial \sigma_{U_i}^2}{\partial X^2} \left( 1 + \frac{U_i'(t)^2}{\sigma_{U_i}^2} \right) \Delta t + \mu_i'(t) \sigma_{U_i} \sqrt{\frac{2\Delta t}{T_{L_i}}}$$

Avec  $i=x, y$ .

La vitesse turbulente verticale s'écrit :

$$U_z'(t + \Delta t) = a(U_z', X) + \mu_z' \sigma_{U_z} \sqrt{\frac{2\Delta t}{T_{L_z}}}$$

Le terme  $a$  est déterminé en utilisant la fonction de densité de probabilité de Gram-Charlier décrivant les fluctuations de la vitesse verticale.

$$P(x, z) = \frac{e^{-\frac{x^2}{2}}}{\sqrt{2\pi}} (1 + C_3 H_3 + C_4 H_4)$$

$$x = \frac{w}{\sigma_w}$$

Avec  $C_3$  et  $C_4$  des coefficients et  $H_3$  et  $H_4$  des polynômes.

Cette fonction de densité de probabilité non gaussienne est telle que la moyenne vaut 0 et l'écart-type vaut 1. Cette distribution traduit le fait que les vitesses verticales négatives sont nombreuses mais de faible intensité alors que les vitesses verticales positives sont moins nombreuses mais d'intensité plus forte.

La résolution de l'équation de Fokker Planck avec cette fonction permet de déterminer  $a$  :

$$a = \sigma_w \frac{\frac{1}{\tau}(T_1) + \frac{\partial \sigma_w}{\partial z}(T_2)}{T_3}$$

Avec  $T_1, T_2$  et  $T_3$  des fonctions de  $C_3, C_4$  et de  $x$ .

### 2.7.3.3. Les conditions aux limites

La définition des conditions aux limites revient à décrire le comportement des particules sur les limites du domaine. Pour les limites latérales et au sommet du domaine, les particules traversent ces surfaces. Le modèle « perd » donc ces particules.

Pour les conditions au sol, les particules qui atteignent le sol subissent un choc élastique. La partie aléatoire de la vitesse est recalculée à chaque choc. Cette condition est équivalente à la condition de réflexion pour les panaches gaussiens.



**2.7.3.4. La modélisation de la turbulence : le modèle TURKEY**

La paramétrisation de la turbulence dans le modèle SPRAY est celle développée par Hanna (1982), qui fait intervenir la longueur de rugosité  $z_0$ , la vitesse de frottement  $u^*$ , la longueur de Monin Obukhov  $L_{mo}$ , l'échelle de vitesse verticale  $w^*$  qui caractérise les mouvements verticaux en situation convective et  $h$  la hauteur de la couche limite. Ces paramètres sont calculés à partir des caractéristiques de l'occupation des sols et des variables météorologiques. Si ces paramètres ne sont pas renseignés par l'utilisateur, le modèle les calcule en utilisant le préprocesseur METPRO mis au point par l'EPA.  $u^*$  et  $L_{mo}$  sont calculés par la méthode de Holstag-Van Ulden pour les situations de jour et par la méthode de Venkatram pour les situations de nuit. La hauteur de la couche limite est déterminée en fonction du bilan radiatif au sol. En période de convection, la hauteur de la couche limite est fonction du flux de chaleur à la surface. En période stables ou neutres, la hauteur de la couche limite est paramétrée par  $L_{mo}$ ,  $u^*$  et le paramètre de Coriolis.

A partir de ces paramètres, le modèle TURKEY calcule les variables turbulentes suivantes :  $\sigma_{u_x}$ ,  $\sigma_{u_y}$ ,  $\sigma_{u_z}$ ,  $w'^3$ , et les échelles de temps lagrangienne :  $T_{L_x}$ ,  $T_{L_y}$ ,  $T_{L_z}$  en fonction de la stabilité de l'atmosphère.

Le domaine est séparé en 3 zones sur la verticale :

- La couche limite :  $z < h$
- La couche résiduelle  $h < z < h_{résiduelle}$
- Le haut du domaine  $h_{résiduelle} < z < z_{sommets}$ .

Dans la couche limite, les variables turbulentes se calculent comme suit.

- Conditions stables  $0 < L_{mo} < 300$

$$\sigma_u(z) = 2.0u_*(1 - z/h)$$

$$\sigma_v(z) = 1.3u_*(1 - z/h)$$

$$\sigma_{u_x} = \sigma_{u_y} = \sqrt{0.5(\sigma_u^2 + \sigma_v^2)}$$

$$\sigma_w(z) = 1.3u_*(1 - z/h)$$

$$T_{L_x}(z) = T_{L_y}(z) = 0.11 \left( \frac{h}{\sigma_{u_x}} \right) \left( \frac{z}{h} \right)^{0.5}$$

$$T_{L_z} = 0.11 \left( \frac{h}{\sigma_w} \right) \left( \frac{z}{h} \right)^{0.8}$$

$$w'^3 = 0$$

- Conditions neutres  $L_{mo} > 300$  ou  $L_{mo} < -300$

$$\sigma_u(z) = 2.0u_* e^{(-3fz/u_*)}$$

$$\sigma_v(z) = 1.3u_* e^{(-2fz/u_*)}$$

$$\sigma_{u_x} = \sigma_{u_y} = \sqrt{0.5(\sigma_u^2 + \sigma_v^2)}$$

$$\sigma_w(z) = 1.3u_* e^{(-2fz/u_*)}$$

$$T_{L_x}(z) = T_{L_y}(z) = T_{L_z}(z) = 0.5 \frac{z}{\sigma_w} \left( 1 + 15 \frac{fz}{u_*} \right)$$

$$w'^3 = 0$$

- Conditions instables  $-300 < L_m < 0$

$$\sigma_{U_x} = \sigma_{U_y} = u_* (12 - 0.5h/L)^{1/3}$$

$$\sigma_w(z) = \begin{cases} 0.763(z/h)^{0.175} & z \leq 0.4h \\ 0.722w_* (1 - z/h)^{0.207} & 0.4h < z \leq 0.96h \\ 0.37w_* & 0.96h < z \leq h \end{cases}$$

$$\overline{w^{*3}} = w_*^3 (1.4z/h) e^{(-2.5z/h)}$$

$$T_{L_x}(z) = T_{L_y}(z) = 0.15h / \sigma_{U_x}$$

$$T_{L_z}(z) = \begin{cases} 0.1z / [\sigma_w (0.55 + 0.38(z - z_0)/L)] & z \leq 0.1h \quad z < z_0 - L \\ 0.59z / \sigma_w & z \leq 0.1h \quad z \geq z_0 - L \\ 0.15(h / \sigma_w) [1 - e^{(-5z/h)}] & z > 0.1h \end{cases}$$

Dans la couche résiduelle, les variables sont calculées comme dans le cas neutre. Dans la dernière couche, les échelles de temps lagrangiennes sont constantes et les autres variables diminuent linéairement avec  $z$ , pour avoir la valeur 0 au sommet du domaine.

### 2.7.3.5. Les dépôts secs et humides

Le flux de polluant déposé au sol est proportionnel à la concentration au niveau du sol :

$$F_d = Cw_d$$

où  $w_d$  est la vitesse de déposition qui dépend de la nature du polluant et de la nature du sol.

Les dépôts humides sont calculés en fonction du taux de précipitation et du coefficient de lessivage par la pluie d'un polluant.

### 2.7.3.6. Les effets de gravité

Pour les rejets de particules solides, les effets de la gravité ne sont pas négligeables. La loi de Stokes permet de définir une vitesse de chute  $V_g$  qui s'ajoute à la vitesse verticale des particules (cf TRAMES).

### 2.7.3.7. Le calcul de la surhauteur

Le logiciel SPRAY permet de calculer la surhauteur instantanée du panache par la méthode de Briggs. L'évolution du panache est calculée à chaque instant. On modélise donc les effets de la surélévation du panache au voisinage de la source. On ne se contente pas seulement de décaler la hauteur du rejet et de modéliser les impacts de la surhauteur loin de la source.

## 2.7.4. LES DONNEES D'ENTREE ET LES VARIABLES CALCULEES

### 2.7.4.1. Définition du site

La grille de calcul, ainsi que les données de relief sont importées depuis les fichiers météo issus du modèle MINERVE.

L'occupation des sols (rugosité, albédo et rapport de Bowen) peut être définie par l'utilisateur via l'interface graphique, elle est alors uniforme sur tout le domaine. Il est aussi possible d'importer un fichier où l'occupation des sols est définie sur le maillage bidimensionnel.

#### **2.7.4.2. Les données d'émissions**

Les sources et les espèces sont définies à partir de trois fichiers :

- Un fichier décrivant les espèces émises et leur caractéristiques : nom, vitesse de dépôt, granulométrie, densité,...
- Un fichier décrivant les sources et leurs caractéristiques : type de source, coordonnées, géométrie, conditions de rejet (température, vitesse, débit), nom des espèces émises,...
- Un fichier optionnel décrivant les caractéristiques des particules de polluant utilisées dans le modèle. Ces données peuvent être définies par l'interface.

#### **2.7.4.3. La météorologie**

Le fichier de données météorologiques importé depuis MINERVE doit contenir au minimum les champs de vents sur le maillage tridimensionnel. Ce fichier doit aussi contenir les champs de température pour le calcul de la surhauteur et les données de précipitations pour un calcul de dépôt humide.

Ce fichier peut aussi contenir les paramètres décrivant l'état turbulent de l'atmosphère : la longueur de Monin Obukhov, la hauteur de la couche limite, la vitesse de frottement,...

Pour faire fonctionner le modèle de turbulence TURKEY, l'utilisateur doit aussi importer un fichier CROMET dans lequel sont définis les variables météorologiques horaires depuis minuit la veille de la date de l'épisode. Ces données concernent la température, le gradient de température, le flux de chaleur au sol, le rayonnement net, la nébulosité. Elles ne sont pas toutes obligatoires. Elles permettent de calculer les paramètres comme la longueur de Monin Obukhov ou la hauteur de la couche limite.

Il est aussi possible de calculer les variables turbulentes comme les échelles de temps lagrangiennes ou les écarts-types sur les vitesses avec un autre modèle de turbulence et de les intégrer aux paramètres météorologiques. Dans ce cas, le modèle TURKEY n'est pas activé.

#### **2.7.4.4. Les paramètres de sortie**

L'utilisateur doit préciser s'il souhaite avoir un calcul de la concentration, des doses, des dépôts. Il doit alors préciser la fréquence de calcul de la concentration ainsi que la durée de moyennage.

L'utilisateur peut aussi choisir d'enregistrer les trajectoires des particules et les caractéristiques turbulentes calculées par le modèle.

## 2.7.5. L'INTERFACE

### 2.7.5.1. L'interface graphique

Une interface graphique permet à l'utilisateur de spécifier les fichiers d'entrée et les options de calcul qui l'intéressent. Cette interface permet aussi d'exécuter un calcul.

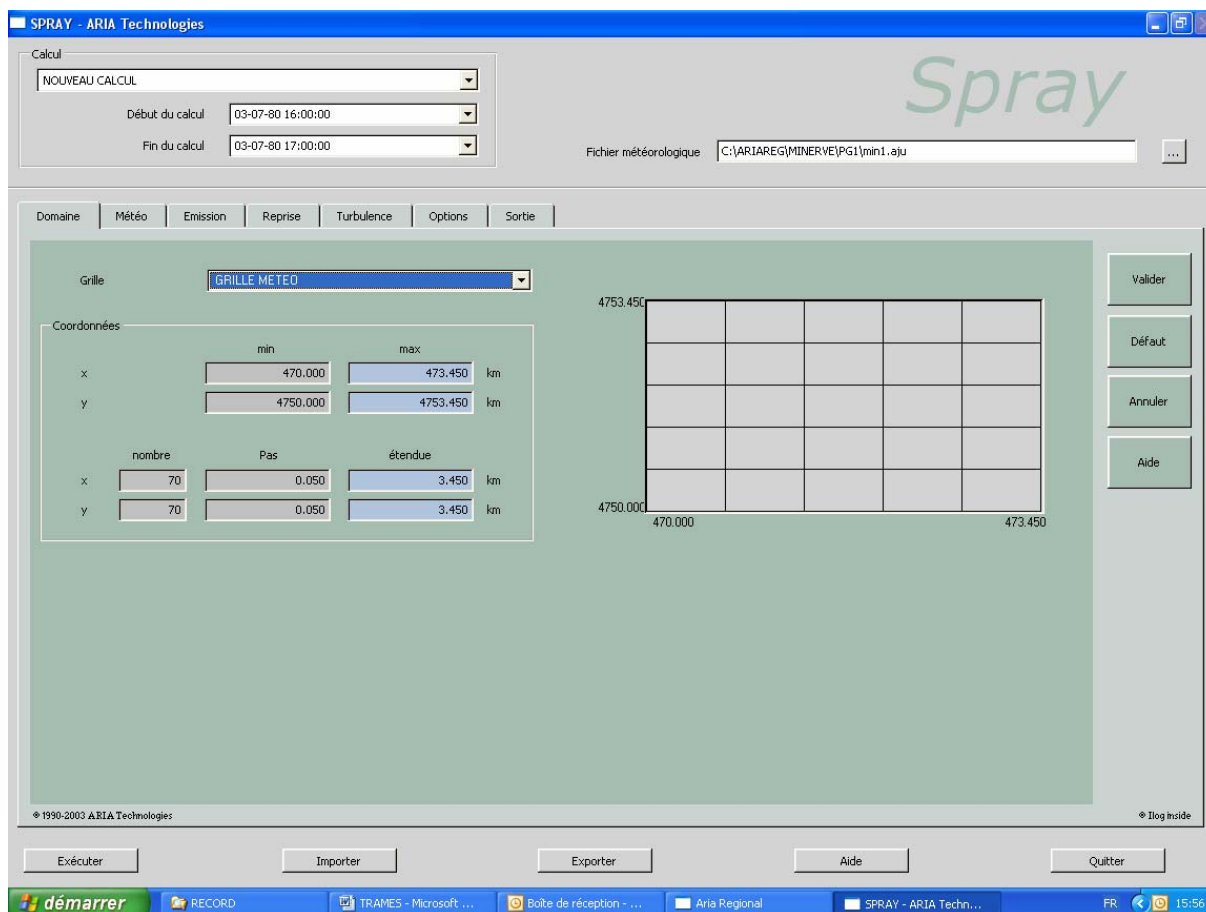
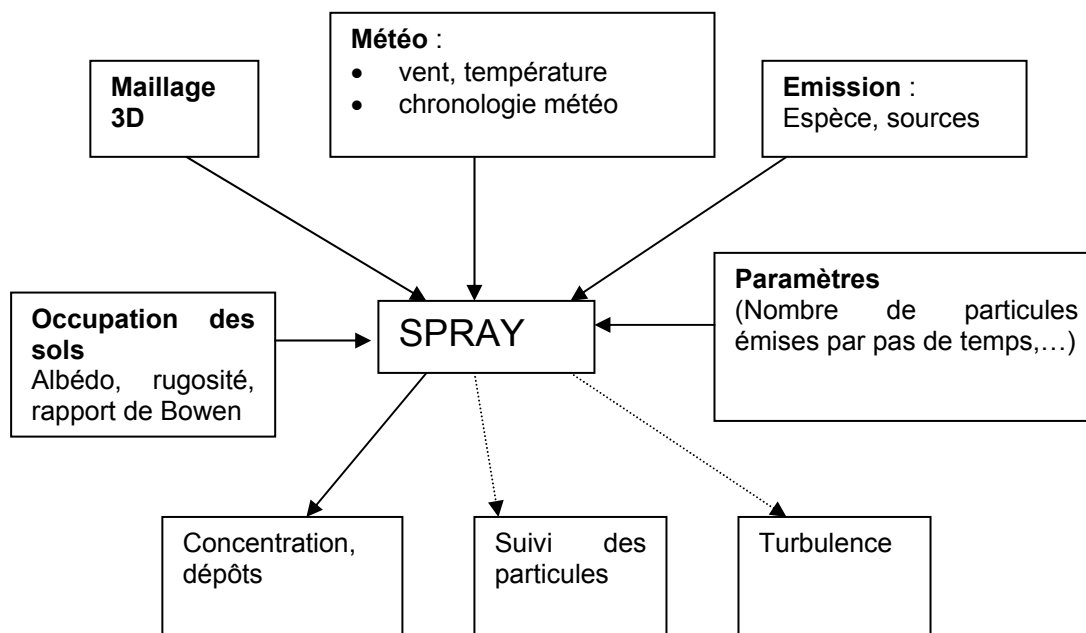


Figure 9 : interface graphique du modèle SPRAY

### 2.7.5.2. L'organisation des données

Les différentes données d'entrée et de sortie du modèle SPRAY sont présentées sur la figure ci-après.



### 2.7.5.3. Le lancement de calcul en batch

Il est possible de lancer un ensemble de simulations en mode batch à partir du répertoire contenant les exécutable du logiciel en précisant le nom du projet, les fichiers d'entrée (météo, émissions) et les fichiers de sortie

## **2.7.6. LES PERFORMANCES ET LES LIMITATIONS**

### **2.7.6.1. Les avantages**

- Le modèle SPRAY est un modèle lagrangien qui permet d'étudier la dispersion dans un écoulement complexe.
- Le logiciel permet de prendre en compte différentes espèces : gaz, particules ou éléments radioactifs.
- Le logiciel est capable d'exécuter des calculs sur plusieurs sources de formes différentes.
- La surhauteur du panache est calculée à chaque instant et la surélévation du panache est modélisée au voisinage de la source.

### **2.7.6.2. Les limites**

- Les bâtiments ne sont pas pris en compte.
- Les transformations chimiques ne sont pas prises en compte.
- Les temps de calcul sont très longs. Pour traiter une source ponctuelle modélisée par un rejet de 2000 particules toutes les 10 s, pour 1 heure de météorologie, il faut 30 minutes de calcul avec un pentium 4, 3Ghz et 3 Go de RAM.
- Le logiciel ne répond pas à une logique d'étude d'impact : il est nécessaire d'exploiter les résultats pour calculer les concentrations en moyenne annuelle, les percentiles,...
- L'interaction avec le modèle MINERVE n'est pas optimisée notamment pour le calcul de la turbulence.

## **2.8. LE TRAITEMENT STATISTIQUE DES RESULTATS**

Les modèles de la plateforme ARIA Industry ne permettent pas de faire des calculs statistiques à long terme. L'utilisateur doit exploiter les résultats « à la main » si il souhaite calculer des concentrations moyennes ou des percentiles. ARIA Industry met à la disposition des utilisateurs un utilitaire qui permet d'extraire un fichier de résultat bidimensionnel au format ASCII ou grd (compatible avec Surfer) à partir du fichier binaire de résultat tridimensionnel. Cet utilitaire permet donc d'extraire le champ de concentration au sol calculé par le modèle. Il est donc relativement facile de stocker les champs de concentration au sol pour différentes échéances et de faire des calculs statistiques « à la main » à partir de ces différents fichiers.

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

## 2.9. RESUME DES CARACTERISTIQUES DES MODELES RETENUS

Ce chapitre compare les différentes fonctionnalités des modèles de dispersion qui ont été utilisés dans cette étude.

### 2.9.1. GENERALITES

	Type de modélisation	Domaine d'application	Dispersion
<b>ARIA IMPACT</b>	Panache gaussien	Quelques km	Ecart-types de diffusion définis suivant des classes de stabilité (Pasquill, Briggs, Doury,...)
<b>ADMS</b>	Panache gaussien	Quelques km	Ecart-types de diffusion continus fonction de la turbulence de l'atmosphère
<b>TRAMES</b>	Bouffées gaussiennes	Quelques km	Ecart-types de diffusion définis suivant des classes de stabilité
<b>HERMES</b>	Eulérienne	De 20 à 500 km	Résolution des équations de Navier-Stokes sur un maillage 3D
<b>SPRAY</b>	Lagrangienne	Illimité	Particules lagrangiennes suivant les trajectoires turbulentes de l'écoulement

### 2.9.2. LE SITE

	Occupation des sols	Relief	Obstacles
<b>ARIA IMPACT</b>	Uniforme	Oui, très simplifié	non
<b>ADMS</b>	Uniforme ou 2 zones distinctes	Oui, modèle d'écoulement FLOWSTAR. Limité à des pentes de 20°	oui
<b>TRAMES</b>	Uniforme ou maillées	Oui, modèle d'écoulement MINERVE. Limité à des pentes de 20° pour éviter les cisaillements trop importants	non
<b>HERMES</b>	Uniforme ou maillées	Oui, modèle d'écoulement MINERVE.	non
<b>SPRAY</b>	Uniforme ou maillées	Oui, modèle d'écoulement MINERVE.	non

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

### 2.9.3. LES SOURCES

	Ponctuelles	Multiples	Linéiques, surfaiques, volumiques	Jet	Surhauteur	Modulation des émissions
<b>ARIA IMPACT</b>	oui	oui	oui	non	Oui, plusieurs formulations	oui
<b>ADMS</b>	oui	oui	oui	oui	oui	oui
<b>TRAMES</b>	oui	oui	oui	non	oui	oui
<b>HERMES</b>	oui	oui	oui	non	oui	oui
<b>SPRAY</b>	oui	oui	oui	non	oui	oui

### 2.9.4. LES POLLUANTS

	Gaz passif	Particules	Chimie	Radioactivité
<b>ARIA IMPACT</b>	oui	oui	non	non
<b>ADMS</b>	oui	oui	oui	oui
<b>TRAMES</b>	oui	oui	non	oui
<b>HERMES</b>	oui	oui	non	oui
<b>SPRAY</b>	oui	oui	non	oui



Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

### 2.9.5. LA METEOROLOGIE

	Uniforme	Maillée	Données	Turbulence	Vents calmes
<b>ARIA IMPACT</b>	oui	non	Vent, température, élément de calcul de la stabilité	Classe de stabilité	oui
<b>ADMS</b>	Oui si pas de relief	Oui si relief	Vent, température, élément de calcul de la stabilité	Calcul à partir de la météo et de l'occupation des sols	non
<b>TRAMES</b>	non	Oui, issue de MINERVE	Vent au sol et profil vertical, température au sol et profil vertical,	Classe de stabilité	oui
<b>HERMES</b>	non	Oui, issue de MINERVE	Vent au sol et profil vertical, température au sol et profil vertical,	Les flux turbulents sont proportionnels au gradient vertical de concentration	oui
<b>SPRAY</b>	non	Oui, issue de MINERVE	Vent au sol et profil vertical, température au sol et profil vertical,	Calcul à partir de la météo et de l'occupation des sols	oui

### 2.9.6. LES DIFFERENTS TYPES DE CALCULS

	Court terme	Long terme	Temps de calcul
<b>ARIA IMPACT</b>	Oui	Oui, percentiles, fréquences de dépassement d'un seuil	Très court
<b>ADMS</b>	Oui	Oui, percentiles, fréquences de dépassement d'un seuil	Très court, dépendant de la prise en compte du relief
<b>TRAMES</b>	Oui	non	Moyen, dépend du nombre de bouffées
<b>HERMES</b>	Oui	non	Long, dépend de la finesse du maillage mais indépendant du nombre de source
<b>SPRAY</b>	Oui	non	Long, dépend du nombre de particules

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

### 2.9.7. LES GRANDEURS CALCULEES

	Concentration moyenne	Concentration intégrée	Dépôt sec	Dépôt humide
<b>ARIA IMPACT</b>	Oui, au sol	non	oui	oui
<b>ADMS</b>	Oui, au sol et sur des récepteurs	non	Non, mais pris en compte dans le calcul de la concentration	Non, mais pris en compte dans le calcul de la concentration
<b>TRAMES</b>	Oui, en 3d	oui	oui	oui
<b>HERMES</b>	Oui, en 3d	non	Non, mais pris en compte dans le calcul de la concentration	Non, mais pris en compte dans le calcul de la concentration
<b>SPRAY</b>	Oui, en 3d	non	oui	oui

### 3. ETUDE DE SENSIBILITE

L'étude de sensibilité des processus de dispersion atmosphérique constitue une étape dans la démarche d'évaluation des modèles mise en place dans le cadre de cette étude. Si l'on fait l'inventaire des sources d'erreurs rencontrées dans la mise en œuvre d'un modèle de dispersion, on peut en distinguer trois principaux types :

- Les erreurs liées au modèle proprement dit, à savoir les hypothèses de modélisation (formulation mathématique du modèle), les erreurs de résolution numérique (passage du modèle mathématique au modèle algorithmique) ou encore les erreurs de programmation du logiciel (mise en œuvre informatique).
- Les erreurs dues aux incertitudes ou à la connaissance partielle des données d'entrée du modèle.
- Les erreurs liées au manque d'expérience de l'utilisateur qui peut conduire à une mauvaise utilisation du modèle par rapport au problème à traiter.

L'étude de sensibilité effectuée a pour objectif d'aider à la quantification ou à la réduction de ces trois types d'erreurs :

- Concernant les erreurs dues au modèle, l'étude de sensibilité permettra d'évaluer l'influence des différents phénomènes physiques sur la concentration en polluants, afin de déterminer les conséquences d'une non prise en compte de ces phénomènes dans les modèles.
- L'étude de sensibilité permettra également d'évaluer l'impact sur les concentrations calculées d'une erreur ou d'une incertitude sur les données d'entrée du modèle.
- Cette étude permettra enfin aux utilisateurs des modèles d'acquérir une expérience des phénomènes influençant la dispersion, afin de minimiser leurs erreurs dans la mise en œuvre de ces outils.

De plus, cette étude de sensibilité vise à évaluer l'influence de différentes méthodologies de mise en œuvre des modèles sur les résultats finaux. Il s'agit par exemple de s'interroger sur l'impact d'un regroupement de plusieurs sources en une source unique équivalente ou encore d'évaluer l'effet d'une prise en compte par une rose des vents de la variabilité météorologique. De ce point de vue, l'étude de sensibilité fournira aux industriels des éléments de réponse concernant les approches de mise en œuvre des modèles sur des cas réels.

Sur le plan pratique, l'étude de sensibilité consiste à évaluer l'impact sur la concentration des différents paramètres caractérisant le problème étudié : émissions, météorologie, site. L'étude sera donc menée en considérant successivement ces trois grandes familles de paramètres. La démarche est cependant rendue complexe par l'interdépendance entre les différents paramètres. D'une part, la sensibilité à certains paramètres dépend de la valeur prise par d'autres paramètres (nous verrons en particulier les interactions possibles entre le phénomène de surhauteur et la hauteur de la couche limite atmosphérique). D'autre part, certains paramètres (dits "primaires") agissent directement sur le comportement du panache alors que d'autres paramètres (dits "secondaires") agissent sur la concentration en modifiant les paramètres primaires (exemple de la rugosité qui agit sur la vitesse du vent et sur la turbulence). Dans le cadre de cette étude, nous essaierons, dans la mesure du possible, de mettre en évidence les relations entre les paramètres considérés.

Pour quantifier la sensibilité de la concentration aux différents paramètres du problème, une démarche idéale consisterait à mesurer directement dans l'atmosphère l'impact de ces paramètres sur le comportement d'un panache. Malheureusement, ce type de mesures est très difficile à réaliser et il est donc plus simple d'utiliser les modèles, théoriques ou empiriques, disponibles dans la littérature, en considérant que ces modèles constituent l'état des connaissances scientifiques actuelles. Dans cette optique, nous utiliserons pour mener à bien l'étude de sensibilité des modèles analytiques simples, mais également des outils logiciels tels que ADMS ou ARIA IMPACT, qui intègrent également ce type de modèles.

Pour réaliser cette étude de sensibilité, nous avons utilisé, dans la mesure du possible, des données réelles fournies par les industriels afin d'illustrer de manière concrète les différents points que nous avons abordés.

### 3.1. RAPPEL DU COMPORTEMENT GENERAL D'UN PANACHE DE POLLUANTS

Si on observe l'allure d'un nuage de polluant issue d'une source ponctuelle, on peut noter trois effets majeurs (Figure 10 et Figure 11) :

- Le panache s'étire dans la direction du vent. Le vent transporte le polluant en aval de la source.
- Le panache s'étaie dans les directions transversales par diffusion turbulente. La distribution transversale de concentration est approximativement gaussienne. Cette distribution est caractérisée par le débit de la source, la vitesse du vent et les écart-types horizontaux et verticaux. Ces écart-types augmentent quand on s'éloigne de la source sous l'effet du mélange par la turbulence atmosphérique. Au fur et à mesure que le panache s'étaie, la concentration sur l'axe diminue.
- Le panache de polluant s'élève au dessus de la source par des effets thermiques et dynamiques.

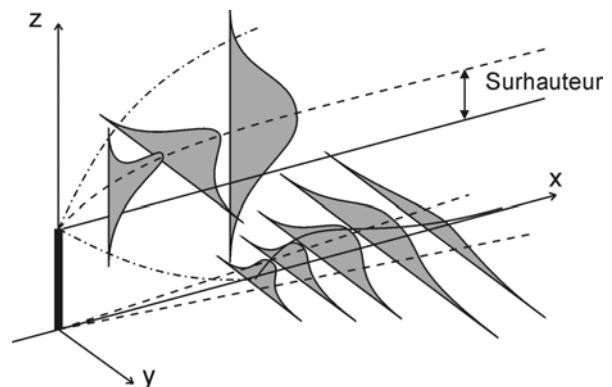


Figure 10 : allure d'un panache issue d'une source ponctuelle

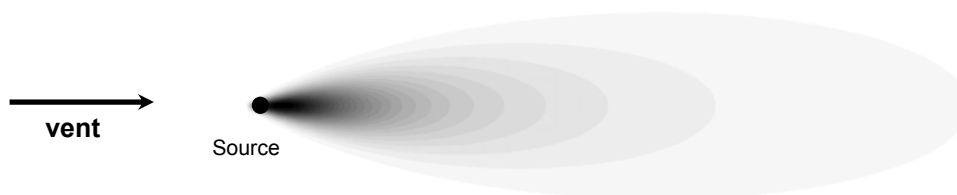


Figure 11 : concentration sur l'axe du panache

Ce comportement théorique d'un panache est compliqué par une multitude d'effets liés aux caractéristiques du site et du polluant et aux caractéristiques de l'écoulement.

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

### 3.2. INFLUENCE DES CONDITIONS DE REJET

#### 3.2.1. LE DEBIT DE LA SOURCE

La concentration d'un polluant issu d'une source est directement proportionnelle au débit de la source.

#### 3.2.2. HAUTEUR DE LA SOURCE

L'objectif est d'évaluer l'influence de la hauteur de la source sur le niveau de concentration au sol et sur la distance entre la source et le point de concentration maximale au sol. Les tests suivants ont été réalisés à partir d'un modèle gaussien.

On considère une situation météorologique neutre qui correspond à la classe D de la classification de Pasquill (Cf. Tableau 2).

Vitesse (m/s)	Direction du vent (°)	Flux de chaleur (wm <sup>-2</sup> )	Hauteur de la couche Limite (m)
5	270	0	800

Tableau 2

Les principales caractéristiques de la source étudiée sont reportées dans le Tableau 3. La hauteur de la couche limite est suffisamment haute pour ne pas avoir d'influence sur la dispersion du panache.

Source: cheminée	Diamètre (D)	hauteur (H)	Vitesse des rejets (W)	Température (T)	Débit de la source (Q)	Rugosité (R)	Hauteur de la couche limite h
Ponctuelle	1 m	Varie (m)	5 ms <sup>-1</sup>	20 °C	1 gs <sup>-1</sup>	0.1 m	800 m

Tableau 3

Les différentes hauteurs de la cheminée étudiées sont 0, 20, 40, 50, 60, 80m. On trace pour chaque hauteur, les concentrations au sol sur l'axe du panache. Les résultats sont présentés sur la Figure 12 et la Figure 13

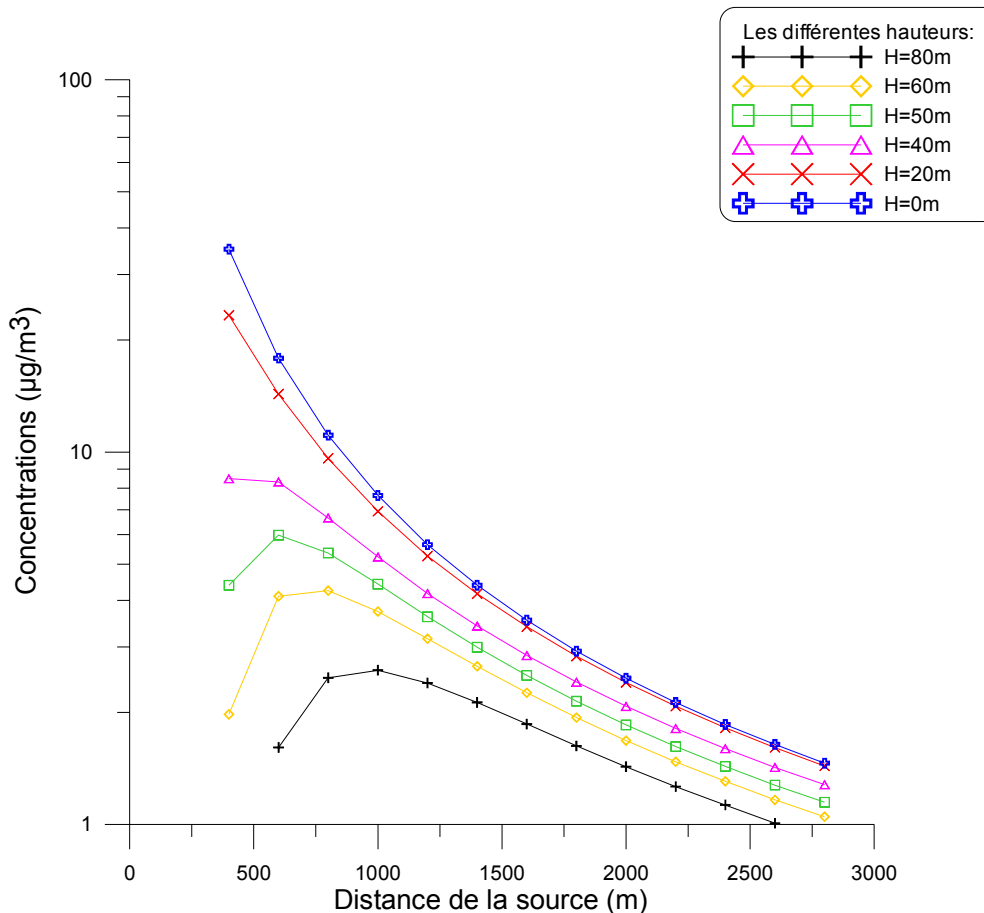


Figure 12 : Concentration au sol sur l'axe du panache pour différentes hauteurs de rejet

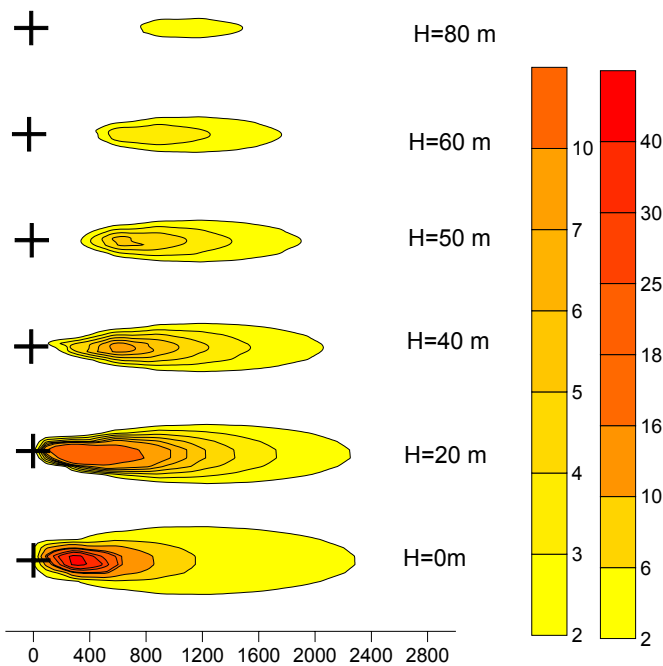


Figure 13 : Impact au sol (concentration en µg/m³) pour différentes hauteurs de rejet

D'après ces résultats, plus la hauteur de la cheminée est grande plus les concentrations sont faibles. De plus, le maximum des concentrations s'éloigne de la source au fur et à mesure que la hauteur de la source croît. Cela s'explique par le terme  $\exp(-H^2/2\sigma_z^2)$  dans la formulation gaussienne (Cf. équation 2.2).

### 3.2.3. VITESSE ET TEMPERATURE DU REJET

#### Vitesse verticale du rejet

La source étudiée possède les caractéristiques suivantes (Cf. Tableau 4).

Source: ponctuelle	Diamètre (D)	Hauteur (H)	Vitesse de rejets (W)	Température (T)	Débit de la source (Q)	Rugosité (R)	Hauteur de la couche limite atmosphérique (H <sub>cl</sub> )
Cheminée centrée	1m	50m	Varie (m.s <sup>-1</sup> )	50°C	1g.s <sup>-1</sup>	0.1m	800m

Tableau 4

La vitesse d'éjection du gaz varie entre 1 et 30 m.s<sup>-1</sup>. Les concentrations au sol sur l'axe du panache et la surhauteur due aux différentes vitesses d'éjections de la cheminée sont représentées sur la Figure 14 et la Figure 15.

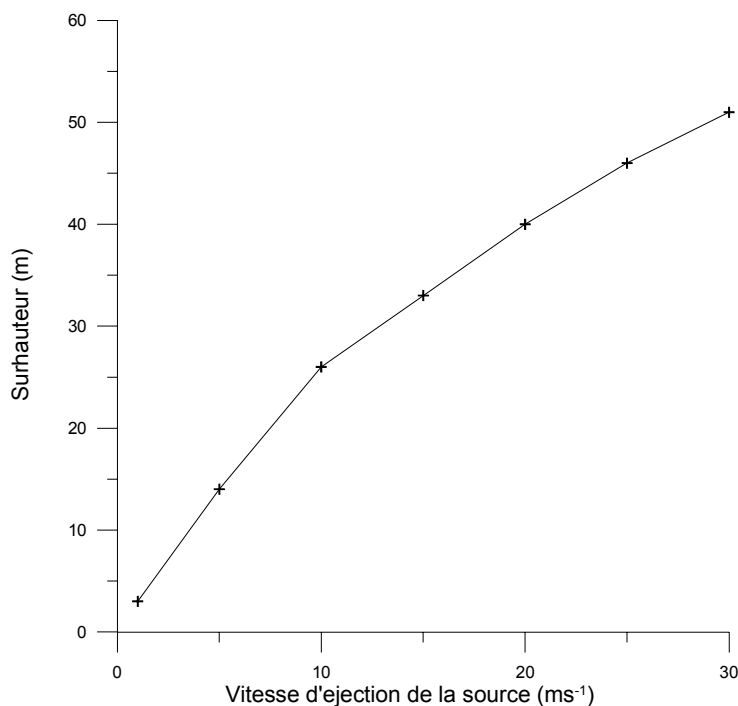


Figure 14 : Evolution de la surhauteur en fonction de la vitesse d'éjection

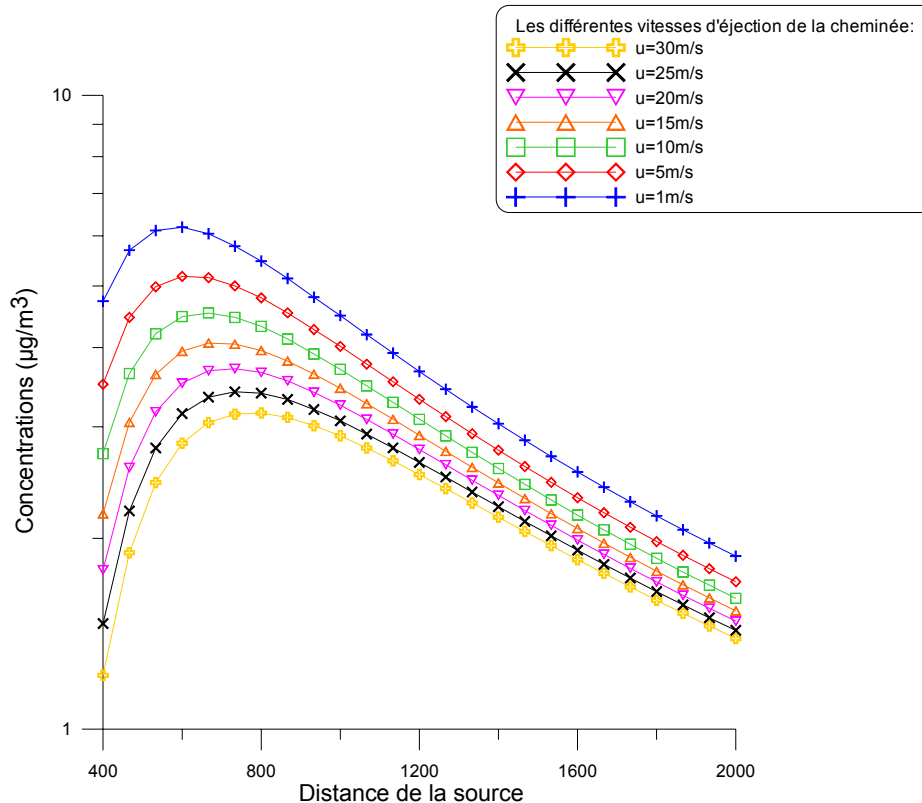


Figure 15 : Concentration au sol sur l'axe du panache pour différentes vitesses de rejet

On observe sur ces figures que lorsque la vitesse d'éjection des polluant diminue, la concentration au sol augmente et que le point d'impact correspondant à la concentration maximale ( $C_{max}$ ) se rapproche de la source. Cela est dû à une diminution de la surhauteur qui conduit à une diminution de la hauteur finale du panache. Ce résultat est en accord avec l'influence de la hauteur de la source illustrée sur la Figure 12 et la Figure 13

**Température du rejet**

Les caractéristiques de la source étudiée sont regroupées dans le Tableau 5.

Source: ponctuelle	Diamètre (D)	Hauteur (H)	Vitesse de rejets (W)	Température (T)	Débit de la source (Q)	Rugosité (R)	Hauteur de la couche limite atmosphérique (H <sub>cla</sub> )
cheminée	1m	50m	5 (ms <sup>-1</sup> )	Varie	1g.s <sup>-1</sup>	0.1m	800m

Tableau 5

Les températures d'éjections de la cheminée varient entre 0 et 300°C. Les concentrations au sol sur l'axe du panache et la surhauteur en fonction de la température sont représentées sur la Figure 16 et la Figure 17.



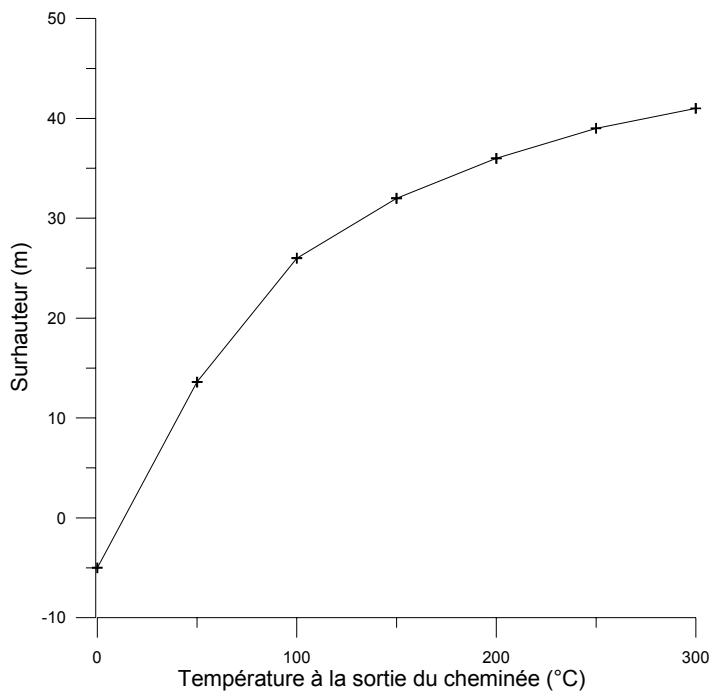


Figure 16 : Evolution de la surhauteur en fonction de la température du rejet

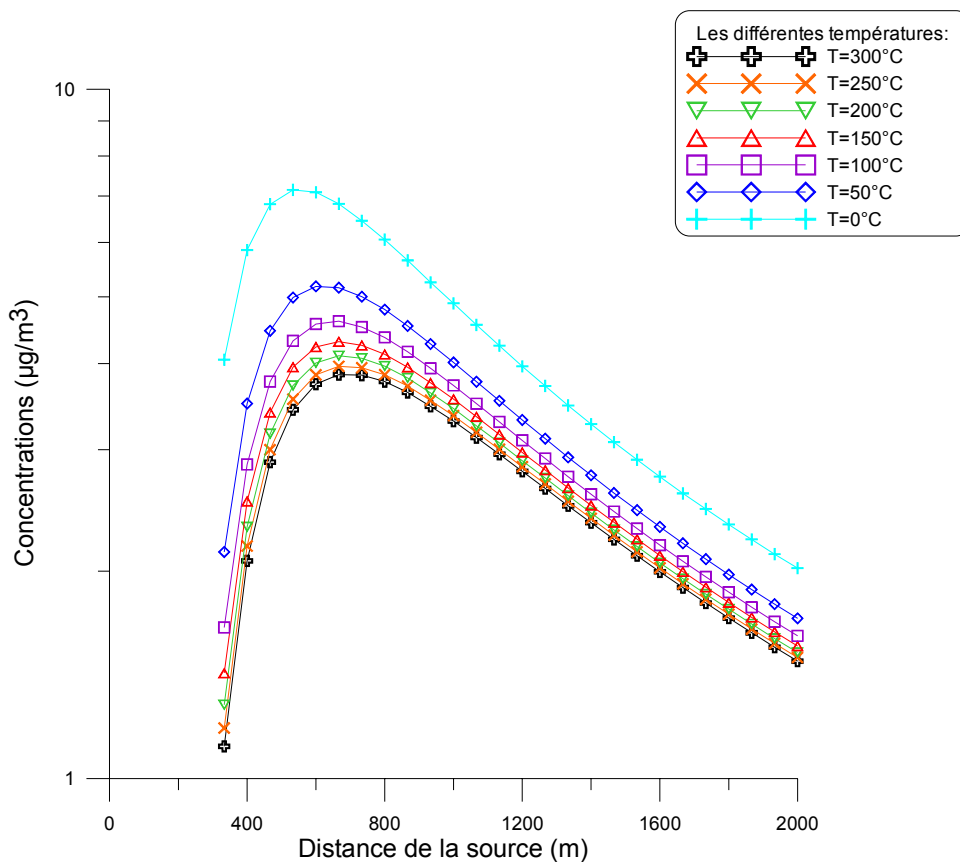


Figure 17 : Concentration au sol sur l'axe du panache pour différentes températures de rejet

On montre sur ces résultats que lorsque la température d'éjection diminue, la surhauteur diminue. Cela conduit à une augmentation des concentrations au sol et à une diminution de la distance entre le point de concentration maximale au sol ( $C_{max}$ ) et la source.

### 3.2.4. LE CALCUL DE SURHAUTEUR

#### 3.2.4.1. Les différents modèles de surhauteur

Il existe plusieurs méthodes pour calculer la surhauteur d'un panache. Le logiciel ARIA IMPACT propose 5 méthodes différentes fondées sur des formules semi-empiriques qui permettent de déterminer la surhauteur finale. Le logiciel ADMS propose une méthode de calcul de la surhauteur instantanée en résolvant les équations de conservation de la quantité de mouvement, de la masse et de l'énergie thermique à chaque instant pour une section du panache. La valeur retenue de surhauteur calculée par ADMS pour comparer les différentes méthodes est la surhauteur finale.

Nous avons étudié ces différentes méthodes pour un rejet de NO<sub>2</sub> issue d'une cheminée de 10m ayant un diamètre de 1m. Le vent est uniforme et de 3m/s, les conditions atmosphériques sont neutres et la température est de 15 °C.

Nous avons étudié 3 types de rejet :

- un rejet chaud ayant une vitesse de rejet de 1m/s et une température de 100°C.
- un rejet dynamique ayant une vitesse de rejet de 20 m/s et une température de 15°C
- un rejet chaud et dynamique ayant une vitesse de rejet de 20 m/s et une température de 100°C

Nous obtenons les résultats suivants pour les surhauteurs finales :

	ADMS	Concawe	Briggs	Anfossi	Holland	Stumke	Cude
Rejet chaud	15 m	10 m	5 m	3.3 m	0.7 m	41 m	1 m
Rejet dynamique	20 m		10 m		10 m	49 m	20 m
Rejet chaud et dynamique	90 m	42.5 m	30 m	20 m	14 m	51 m	18 m

Tableau 6 : résultat des calculs de surhauteur par différentes méthodes

On remarque que les résultats des différentes méthodes sont assez différents. Le modèle ADMS semble surestimer les surhauteurs, notamment dans le cas du rejet chaud et dynamique. Cependant, la méthode de calcul de la surhauteur implémentée dans le logiciel ADMS est théoriquement la plus fine car elle est fondée sur une résolution des équations de conservation de la quantité de mouvement. Alors que les autres formulations sont fondées sur des analyses empiriques. De même parmi les différentes formulations, la formule de Briggs a fait l'objet de nombreux travaux de recherche et elle s'applique à tous les cas possibles de rejet et de conditions météorologiques.

A partir des formules de Briggs, nous avons établi un abaque (Figure 18) qui permet de représenter l'évolution de la surhauteur finale en fonction de la température pour différentes vitesses de rejet.

Ces abaques ont été calculés pour un rejet issu d'une cheminée ayant un diamètre de 2 m, la vitesse d'écoulement est de 3 m/s et la température extérieure de 20°C, les conditions atmosphériques sont neutres.

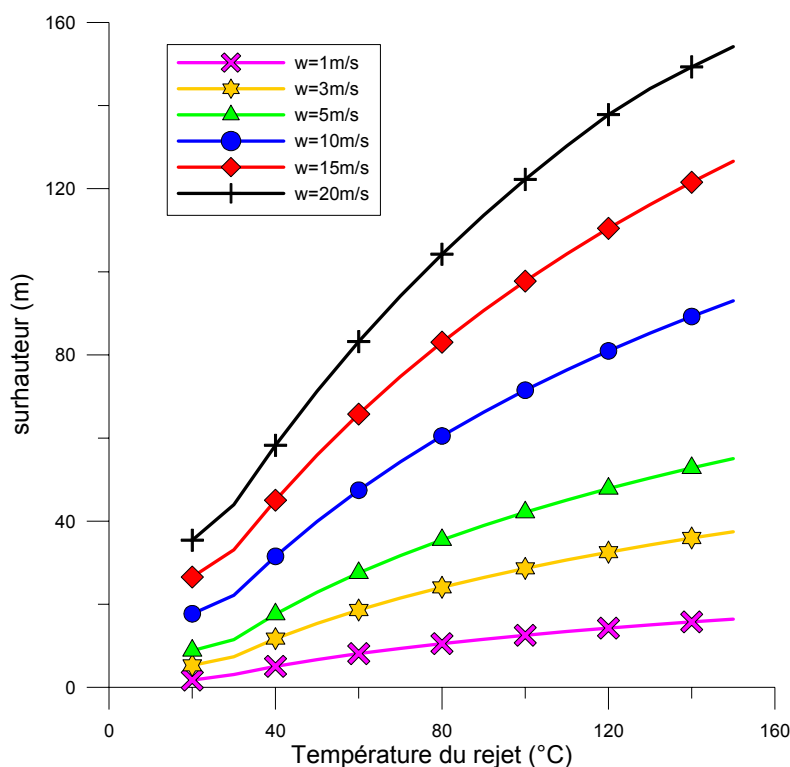


Figure 18 : évolution de la surhauteur finale d'un panache en fonction de la température et de la vitesse du rejet

### 3.2.4.2. La modification du terme source

Il existe 2 méthodes pour modéliser l'impact de la surhauteur sur le panache de polluant :

- on tient compte de la phase d'élévation du panache au voisinage de la source en calculant point par point la position du centre du panache.
- on ajoute à la hauteur de la source la surhauteur finale calculée par le modèle et on considère que l'axe du panache est à une altitude égale à la hauteur plus la surhauteur.

Cette deuxième hypothèse revient à sous-estimer la concentration au voisinage de la source.

Pour comprendre ce phénomène, nous avons modélisé avec ADMS une source de 10 m rejetant un gaz à la vitesse de 5 m/s et à une température de 50 °C. La surhauteur finale du panache calculée par ADMS est de 30 m et elle est atteinte à une distance de 4000m de la source. Nous avons comparé la concentration au sol d'un tel rejet avec la concentration au sol d'un même rejet issu d'une cheminée de 40m sans surhauteur (Figure 19).

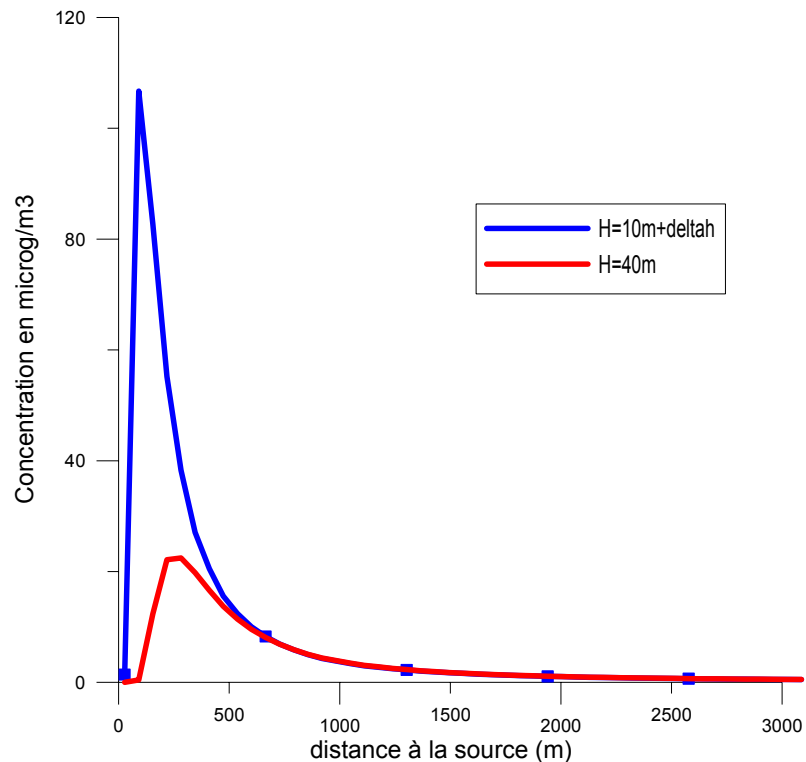


Figure 19 : évolution de la concentration au sol pour 2 types de rejet

On remarque que dans ce cas précis, pour une distance inférieure à 600m de la source, la concentration du rejet à 40m sans surhauteur est plus faible que la concentration du rejet à 10m avec surhauteur. Cet exemple permet de montrer que le choix de la méthode de prise en compte de la surhauteur peut avoir un impact sur la concentration au sol. En revanche, la distance à partir de laquelle les deux méthodes sont équivalentes dépend des conditions de rejet et des conditions de l'écoulement.

### 3.2.5. GEOMETRIE DE LA SOURCE

La plupart des modélisations effectuées dans le cadre de cette étude ont porté sur le cas de sources ponctuelles où l'on néglige la géométrie exacte de l'exutoire de polluants. Cela correspond au cas fréquent d'un rejet collecté dans une cheminée. Or dans un certain nombre de situations, les rejets se font de façon plus diffuse :

- Soit parce que l'émission s'effectue le long d'une ligne ou à travers une surface (exemple du dégazage d'un stockage de déchets, de l'envol de poussière dans une carrière)
- Soit parce que l'émission est constituée d'une multitude de sources ponctuelles qu'il n'est pas possible d'identifier individuellement (exemple de fuites multiples dans une unité chimique)

Le champ de concentration en aval d'une source de géométrie quelconque dépend bien évidemment de cette géométrie et il est impossible de décrire en détail toutes les géométries que l'on peut rencontrer dans la pratique. L'objectif de l'étude de sensibilité sur la géométrie des sources a donc été :

- De présenter le champ de concentration en aval de quelques géométries caractéristiques afin d'illustrer les modifications que l'on est susceptible d'observer (paragraphe 3.2.5.1 et 3.2.5.2).
- D'évaluer à partir de quelle distance le panache issu d'une source complexe peut être représenté par une source plus simple, voire par une source ponctuelle (paragraphe 3.2.5.3 à 3.2.5.6).

#### 3.2.5.1. *Comportement du panache pour différentes tailles de source*

Nous avons tout d'abord comparé sur la Figure 21 et la Figure 20 les concentrations en aval de sources surfaciques circulaires de même débit et de rayon variant progressivement de 0 à 100 m. Dans le cas de la source ponctuelle ( $r=0m$ ) les écart-types tendent vers 0 à la source. On observe que la dimension de la source modifie le champ de concentration sur la source elle-même et en aval. Plus la source est étalée, plus les niveaux de concentration sur la source sont faibles. Le maximum de concentration est systématiquement observé sur le bord aval de la source. Dans le sillage de la source, le panache est d'autant plus large (et la concentration d'autant plus faible) que la source est étalée. A une grande distance de la source, les différents panaches ont un comportement qui se rapproche du panache issu de la source ponctuelle.

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

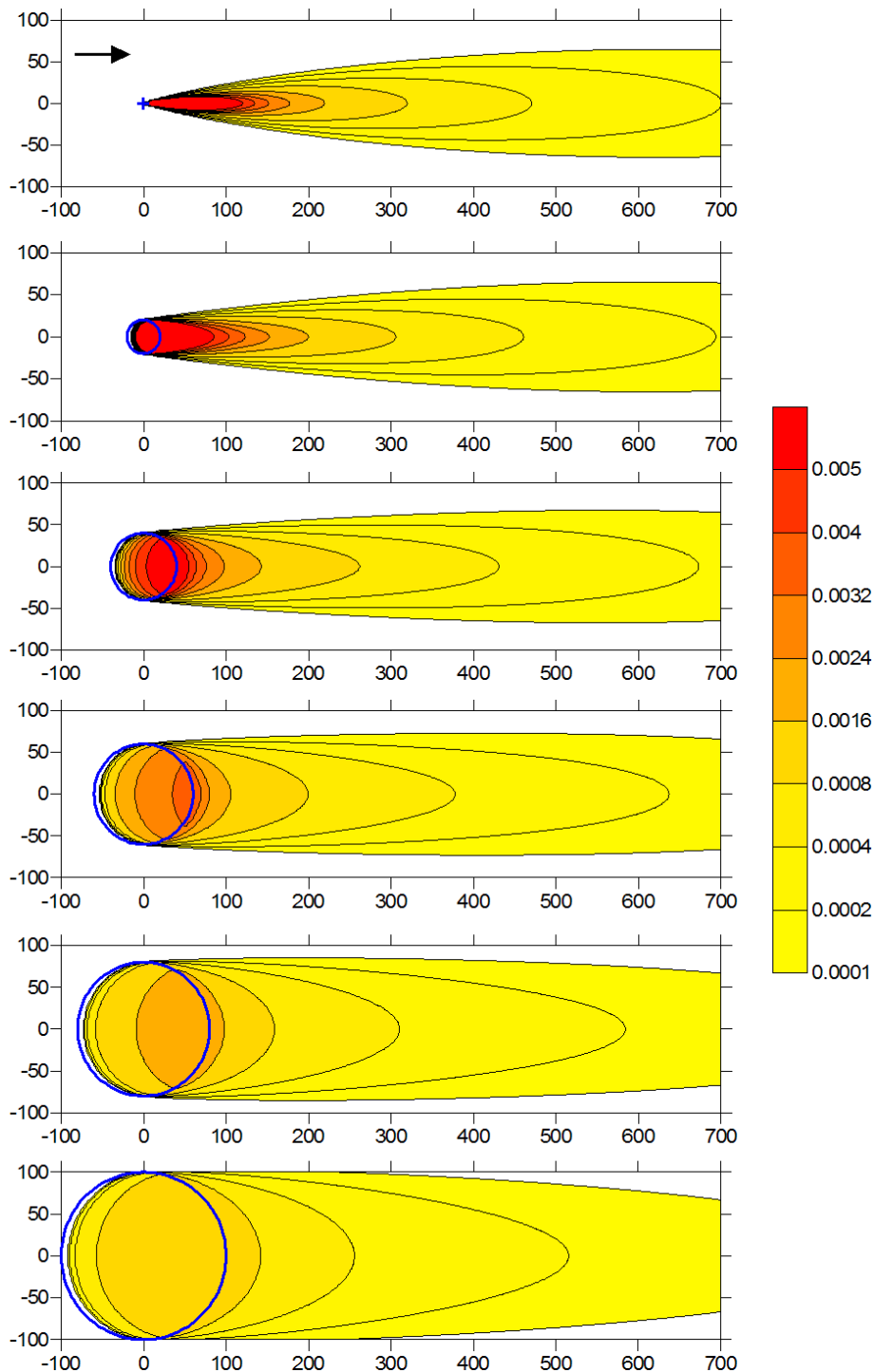


Figure 20 : comparaison des panaches de concentration issus de sources surfaciques circulaires de différents rayons  $R$  mais de même débit. Les sources sont représentées en bleu. Les panaches représentés correspondent au plan de la source.

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

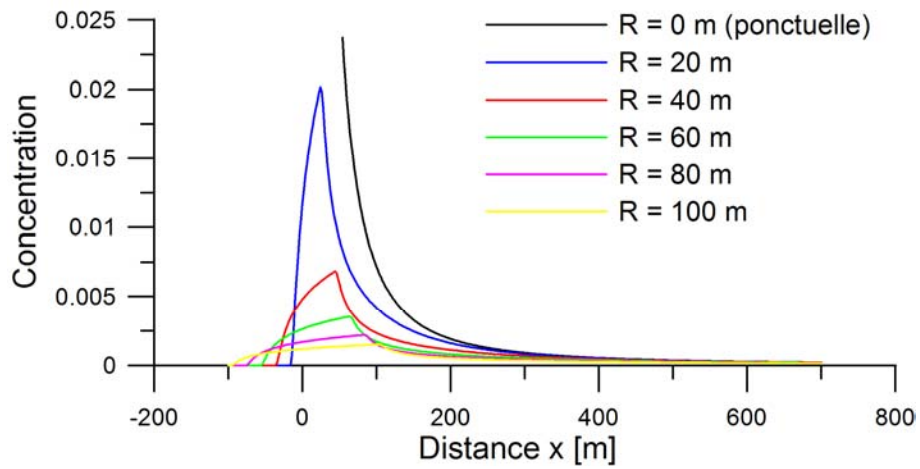


Figure 21 : comparaison des concentrations sur l'axe de panaches issus de sources surfaciques circulaires de différents rayons R mais de même débit.

### 3.2.5.2. Comportement du panache pour différentes formes de sources

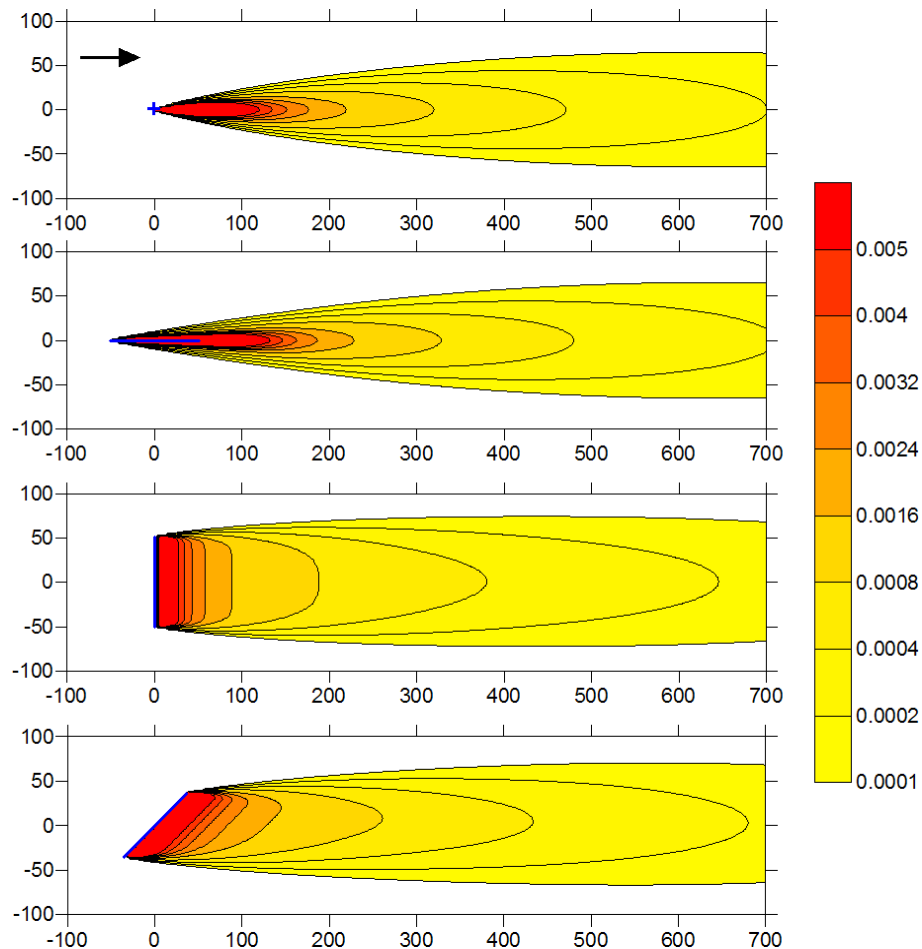


Figure 22 : comparaison des panaches de concentration issus de sources linéiques avec un panache issu d'une source ponctuelle de même débit. Les sources sont représentées en bleu. Les panaches représentés correspondent au plan de la source.



Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

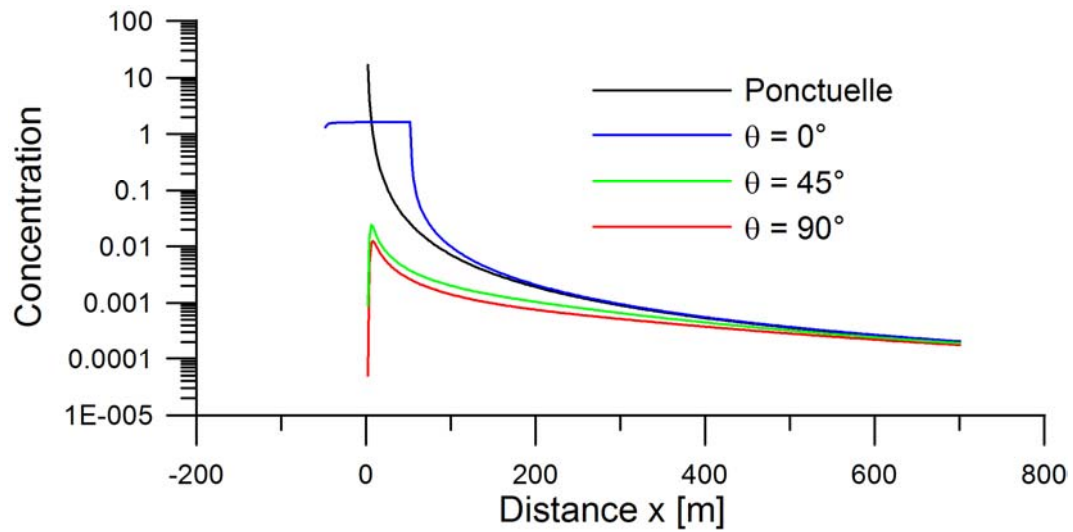


Figure 23 : comparaison des concentrations sur l'axe de panaches issus de sources linéiques avec le cas d'un panache issu d'une source ponctuelle de même débit.

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

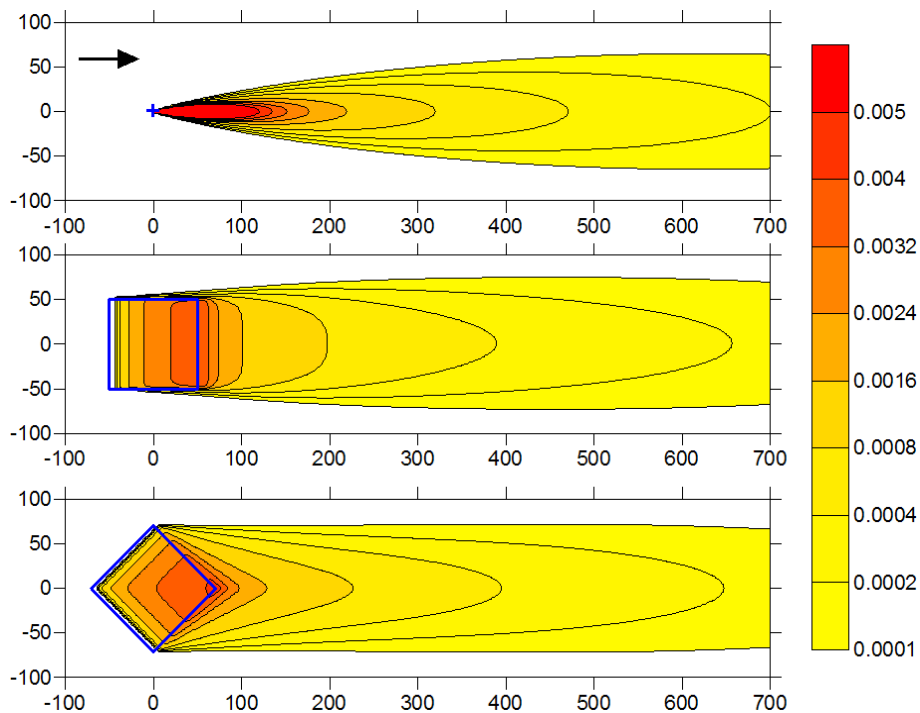


Figure 24 : comparaison des panaches de concentration issus de sources surfaciques avec un panache issu d'une source ponctuelle de même débit. Les sources sont représentées en bleu. Les panaches représentés correspondent au plan de la source.

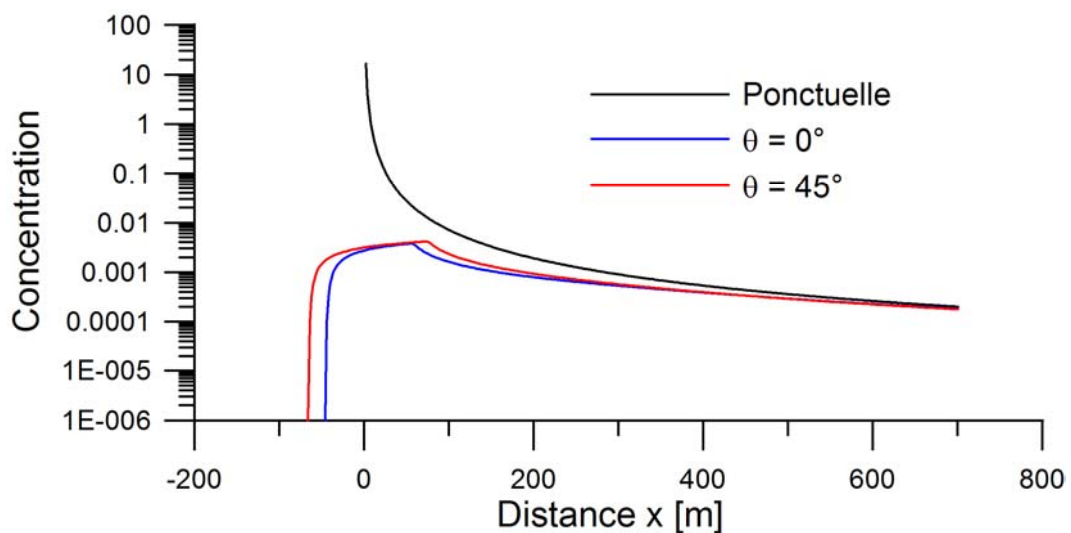


Figure 25 : comparaison des concentrations sur l'axe de panaches issus de sources surfaciques avec le cas d'un panache issu d'une source ponctuelle de même débit.

Nous avons représenté sur la Figure 22 et sur la Figure 24 les panaches issus de sources linéiques et surfaciques simples (segments de droite et carrés de différentes orientations), en comparaison avec le panache issu d'une source ponctuelle de même débit. Les concentrations sur l'axe des panaches dans ces différents cas sont représentées sur la Figure 23 et la Figure 25.

De manière générale, on constate que la forme de la source a une influence non négligeable sur l'allure du champ de concentration en aval de celle-ci. Cependant, on peut remarquer que l'importance de cet effet dépend de la direction dans laquelle s'étend la source :

- Lorsque l'extension de la source est principalement dans la direction de l'écoulement (cas de la source linéique alignée avec le vent), on constate que le champ de concentration se rapproche rapidement du cas de la source ponctuelle lorsque l'on s'éloigne de la source.
- Lorsque la source s'étend dans la direction transversale à l'écoulement, la modification du champ de concentration est plus importante.

Les différences entre l'extension longitudinale de la source et l'extension transversale seront expliquées quantitativement au paragraphe 3.2.5.3 mais il apparaît d'ores et déjà qu'un étalement transversal aura plus d'effet qu'un étalement longitudinal. Il faut noter que la direction longitudinale et la direction transversale dépendent de l'orientation du vent ; ainsi, dans le cas d'une source allongée, l'allure du panache sera très différente selon que le vent sera parallèle ou perpendiculaire à l'axe du bâtiment. Les conclusions sur l'effet de la géométrie devront donc être adaptées en fonction de l'orientation du vent.

Les cas de sources surfaciques permettent également d'observer le champ de concentration sur la source elle-même. Il apparaît que la concentration augmente jusqu'au bord aval de la source où l'on atteint la valeur maximale de concentration dans l'écoulement.

### 3.2.5.3. **Critère de représentation de sources complexes par des sources plus simples**

Les logiciels de modélisation de la dispersion atmosphérique ne permettent pas tous de décrire des sources de géométrie quelconque. Ils permettent tous de traiter des sources ponctuelles et un certain nombre d'entre eux permettent de traiter des sources linéiques, surfaciques ou volumiques simples (segment de droite, rectangle, parallélépipède). Lorsque la source que l'on souhaite modéliser est plus complexe que cela, ou lorsque l'on souhaite simplifier la source pour faciliter le traitement, il est nécessaire de déterminer comment passer d'une source complexe à une source plus simple. Dans ce paragraphe, nous allons proposer une approche permettant de déterminer les caractéristiques d'une source ponctuelle équivalente à une source complexe et d'évaluer l'erreur occasionnée par cette simplification.

#### **Barycentre et écarts-types d'une source complexe**

Pour modéliser une source complexe par une source ponctuelle équivalente, il semble naturel de localiser cette source ponctuelle au barycentre de la distribution de débit de la source réelle.

Dans le cas où la source réelle est constituée d'un ensemble de sources ponctuelles de débits différents, nous allons déterminer un certain nombre de formules pour caractériser la source équivalente. Soit N sources de coordonnées  $(x_i, y_i, z_i)$  et de débit  $Q_i$ , où i varie de 1 à N. Le débit total de la source équivalente s'obtient alors en sommant tous les  $Q_i$  :

$$Q = \sum_{i=1}^N Q_i$$

On calculera alors les coordonnées du barycentre G de la source par les relations :

$$\begin{cases} x_G = \frac{1}{Q} \sum_{i=1}^N x_i \cdot Q_i \\ y_G = \frac{1}{Q} \sum_{i=1}^N y_i \cdot Q_i \\ z_G = \frac{1}{Q} \sum_{i=1}^N z_i \cdot Q_i \end{cases}$$

Afin de quantifier l'erreur occasionnée par l'utilisation de cette source équivalente, il est nécessaire d'estimer l'extension de la source réelle dans les différentes directions. Pour cela, nous allons utiliser la notion d'écart-type de la distribution d'émission. Les écarts-types de la source dans les différentes directions sont notés  $d_x$ ,  $d_y$  et  $d_z$ . Ils sont fournis par les relations suivantes :

$$\begin{cases} d_x = \sqrt{\frac{1}{Q} \sum_{i=1}^N (x_i - x_G)^2 \cdot Q_i} \\ d_y = \sqrt{\frac{1}{Q} \sum_{i=1}^N (y_i - y_G)^2 \cdot Q_i} \\ d_z = \sqrt{\frac{1}{Q} \sum_{i=1}^N (z_i - z_G)^2 \cdot Q_i} \end{cases}$$

Ces différentes formules ont été illustrées sur la Figure 26 pour la détermination du barycentre et des écarts-types d'un ensemble de sources ponctuelles.

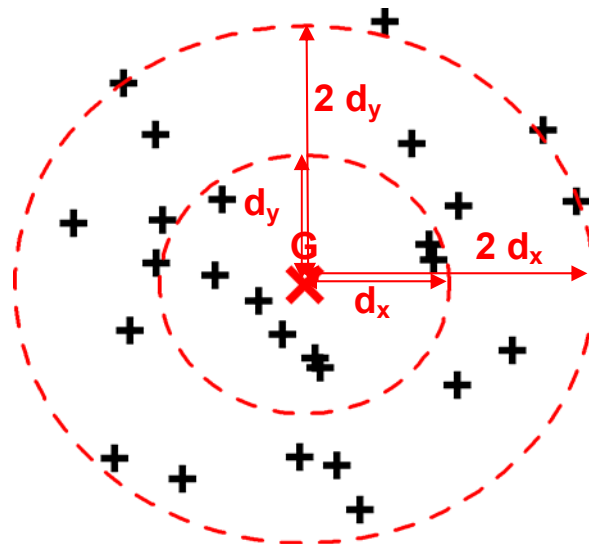


Figure 26 : exemple du barycentre (croix rouge) et des écarts-types (représentés par des ellipses rouges) d'un ensemble de sources (croix noires) de mêmes débits.

Afin d'étendre ce formalisme au cas de sources diffuses (sources linéiques, surfaciques ou volumiques), nous allons généraliser les formules précédentes en remplaçant les sommes par des intégrales volumiques. Considérons la densité volumique d'émission  $q_v(x,y,z)$ . Cette densité, exprimée en  $\text{kg.m}^{-3}.\text{s}^{-1}$ , représente le débit d'émission dans un volume unitaire autour du point de coordonnées  $(x,y,z)$ . Les nouvelles formules exprimant le débit total, les coordonnées du barycentre et les écarts-types sont alors :

$$Q = \iiint q_v(x,y,z) dv$$

$$\begin{cases} x_G = \frac{1}{Q} \iiint x \cdot q_v(x,y,z) dv \\ y_G = \frac{1}{Q} \iiint y \cdot q_v(x,y,z) dv \\ z_G = \frac{1}{Q} \iiint z \cdot q_v(x,y,z) dv \end{cases}$$

$$\begin{cases} d_x = \sqrt{\frac{1}{Q} \iiint (x - x_G)^2 \cdot q_v(x,y,z) dv} \\ d_y = \sqrt{\frac{1}{Q} \iiint (y - y_G)^2 \cdot q_v(x,y,z) dv} \\ d_z = \sqrt{\frac{1}{Q} \iiint (z - z_G)^2 \cdot q_v(x,y,z) dv} \end{cases}$$

Nous fournissons ci-dessous les valeurs de ces paramètres pour quelques géométries simples :

- Segment de droite de longueur L orienté dans la direction x :

$$\begin{cases} \text{G est le centre du segment} \\ d_x = \frac{L}{2\sqrt{3}} \\ d_y = d_z = 0 \end{cases}$$

- Disque horizontal de rayon R :

$$\begin{cases} \text{G est le centre du disque} \\ d_x = d_y = \frac{R}{2} \\ d_z = 0 \end{cases}$$

- Carré horizontal de côté L et d'axes x et y :

$$\begin{cases} \text{G est le centre du carré} \\ d_x = d_y = \frac{L}{2\sqrt{3}} \\ d_z = 0 \end{cases}$$

Nous avons donc convenu d'utiliser comme source équivalente une source ponctuelle, placée au barycentre de la distribution de débit d'émission. La question qu'il reste à aborder est de savoir quelle est l'erreur occasionnée par cette simplification et comment cette erreur dépend de l'étalement de la source réelle (quantifié par les écarts-types  $d_x$ ,  $d_y$  et  $d_z$ ). Pour cela, nous allons établir un critère simple sur un modèle à deux sources ponctuelles et généraliser ce modèle à des sources quelconques

### **Représentation de deux sources par une source équivalente**

Pour déterminer notre critère d'erreur, il est impossible d'envisager toutes les géométries possibles de source et il est donc impossible a priori de déterminer un critère universel. Notre démarche va donc consister à évaluer un critère pour un cas assez pénalisant et à appliquer ce critère à différents cas pour vérifier qu'il est bien englobant. Le critère ainsi obtenu, même s'il n'est peut-être pas universel, permettra une bonne estimation de l'erreur occasionnée par l'utilisation d'une source ponctuelle équivalente.

Considérons une source réelle constituée de deux sources ponctuelles A et B, de même débit Q et distantes d'une longueur L. La source ponctuelle équivalente à cette source réelle est située au centre du segment [AB] et a pour débit 2Q. Ce cas peut être considéré comme assez défavorable car les deux sources réelles sont nettement distinctes. Pour évaluer l'écart entre le champ de concentration réel et le champ de concentration équivalent, nous allons utiliser un modèle de dispersion gaussien pour chaque source ponctuelle, décrit par la relation :

$$C = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y-y_s}{\sigma_y}\right)^2\right] \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z-z_s}{\sigma_z}\right)^2\right]$$

pour un panache orienté dans la direction x. Lorsque les deux sources réelles A et B sont alignées dans la direction transversale y, on peut montrer que l'erreur relative au centre du panache (position où elle est maximale) entre la source réelle et la source équivalente est donnée par la relation :

$$\text{Err}_y = \exp\left[\frac{1}{2}\left(\frac{d_y}{\sigma_y}\right)^2\right] - 1$$

où  $d_y$  représente l'écart-type de la source réelle dans la direction y (en l'occurrence,  $d_y = L/2$ ) et  $\sigma_y$  l'écart-type du panache dans la direction y et à la distance x considérée. Etant donné que  $\sigma_y$  augmente avec la distance à la source, on peut en conclure que l'erreur relative diminue au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la source. L'erreur  $\text{Err}_y$  est représentée sur la Figure 28. Sur cette figure, la partie gauche correspond aux abaques de dispersion de Briggs (milieu rural) et la partie droite à la formule précédente pour  $\text{Err}_y$ . Pour utiliser cette figure, on se donne une distance x par rapport à la source, un écart-type  $d_y$  de cette source et une classe de stabilité. En reportant la distance x dans la partie gauche de la figure et en utilisant la courbe correspondant à la valeur de stabilité donnée, on détermine dans un premier temps l'écart-type  $\sigma_y$  du panache à la distance x. Connaissant maintenant  $\sigma_y$  et  $d_y$ , on utilise la partie droite de la figure pour déterminer l'erreur relative  $\text{Err}_y$ .

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

De même, on peut montrer que lorsque les deux sources réelles A et B sont alignées dans la direction verticale z, l'erreur relative maximale entre la source réelle et la source équivalente est donnée par la relation :

$$\text{Err}_z = \exp \left[ \frac{1}{2} \left( \frac{d_z}{\sigma_z} \right)^2 \right] - 1$$

où  $d_z$  représente l'écart-type de la source réelle dans la direction z (en l'occurrence,  $d_z = L/2$ ) et  $\sigma_z$  l'écart-type du panache dans la direction z et à la distance x considérée. L'erreur  $\text{Err}_z$  est représentée sur la Figure 29.

Lorsque les deux sources réelles A et B sont alignées dans la direction du vent x, on obtient (moyennant quelques hypothèses sur les écarts-types de dispersion) une relation différente pour l'erreur relative maximale :

$$\text{Err}_x = \left( \frac{d_x}{x} \right)^2$$

où  $d_x$  représente l'écart-type de la source réelle dans la direction x (en l'occurrence,  $d_x = L/2$ ). L'erreur  $\text{Err}_x$  est représentée sur la Figure 27.

#### **Généralisation au cas d'une source quelconque**

Dans le cas d'une source de géométrie quelconque, nous supposons que les trois expressions précédentes de l'erreur pourront s'appliquer. Nous vérifierons dans les paragraphes suivants que ces expressions majorent effectivement l'erreur observée. Si la source réelle est caractérisée par des écarts-types  $d_x$ ,  $d_y$  et  $d_z$ , l'erreur relative totale sera approximativement égale à la somme des 3 erreurs relatives  $\text{Err}_x$ ,  $\text{Err}_y$  et  $\text{Err}_z$  :

$$\text{Err}_{\text{Tot}} = \text{Err}_x + \text{Err}_y + \text{Err}_z$$

Cette approximation est valable tant que les erreurs relatives ne dépassent pas quelques dizaines de pourcents.

**Voici donc un résumé de la démarche que nous proposons pour la modélisation des sources complexes par une source ponctuelle équivalente :**

- **Calcul de la position et du débit de la source équivalente au moyen des expressions barycentriques.**
- **Calcul des écarts-types  $d_x$ ,  $d_y$  et  $d_z$  de la source réelle.**
- **Evaluation, pour une distance donnée, des erreurs relatives dans les trois directions au moyen des formules ou des abaques.**
- **Somme des trois erreurs relatives pour obtenir l'erreur relative totale.**

**Il est important de noter que l'erreur relative dépend de la distance à la source, de l'état de stabilité et, dans le cas d'une source anisotrope, de la direction du vent.**

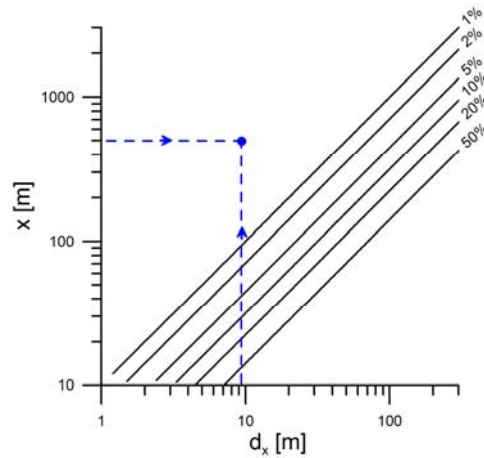


Figure 27 : Représentation de  $Err_x$  en fonction de l'écart-type de la source  $d_x$  et de la distance  $x$ .

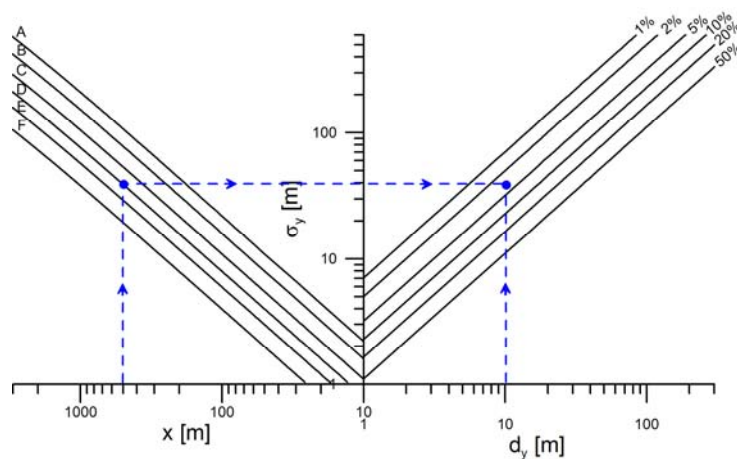


Figure 28 : Représentation de  $Err_y$  en fonction de l'écart-type de la source  $d_y$  et de la distance  $x$  et de la classe de stabilité (courbes obtenues avec le modèle de Briggs en milieu rural)

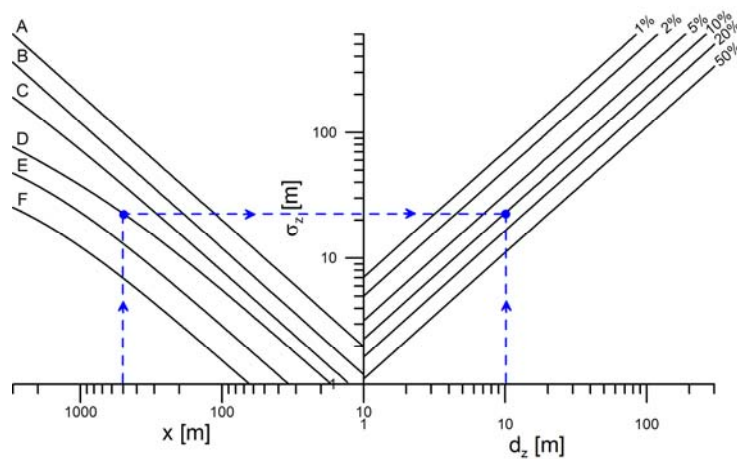


Figure 29 : Représentation de  $Err_z$  en fonction de l'écart-type de la source  $d_z$  et de la distance  $x$  et de la classe de stabilité (courbes obtenues avec le modèle de Briggs en milieu rural)



**Exemple d'application de la démarche**

Considérons une source complexe dont les écarts-types dans les 3 directions sont  $d_x = d_y = d_z = 10$  m. On souhaite connaître l'erreur que l'on commet à 500 m de la source si l'on modélise cette source par une source ponctuelle équivalente. On se place dans des conditions de dispersion neutre (classe D de Pasquill).

En utilisant les abaques de la Figure 27, de la Figure 28 et de la Figure 29, on obtient les valeurs suivantes pour les différentes erreurs relatives (La démarche d'utilisation des abaques est représentée par les pointillés bleus) :

$$\left. \begin{array}{l} \text{Err}_x \ll 1\% \\ \text{Err}_y \approx 4\% \\ \text{Err}_z \approx 10\% \end{array} \right\} \Rightarrow \text{Err}_{\text{Tot}} \approx 14\%$$

On obtient ainsi une erreur total de 14%.

**Limitations de la démarche**

La démarche proposée fournit une estimation de l'erreur commise lors de l'utilisation d'une source ponctuelle équivalente. Cette approche présente un certain nombre de limitations :

- L'approche est basée sur la généralisation d'un cas simple si bien que l'estimation de l'erreur est majorante.
- La démarche suppose de connaître les écarts-types de dispersion à la distance considérée. Les abaques présentées ci-dessus on été obtenues à partir du modèle de dispersion de Briggs pour un milieu rural. Ces abaques pourrait être refaites avec tout autre modèle.
- La démarche s'appuie sur un modèle de dispersion simple, qui suppose un écoulement uniforme. De nombreux processus non pris en compte (surhauteur de panache, relief, bâtiments) pourraient modifier l'erreur associée à l'utilisation d'une source ponctuelle équivalente. Le résultat fournit pas cette méthode doit donc être considéré à titre indicatif.

**3.2.5.4. Exemples de représentation d'une source de géométrie complexe par une source ponctuelle**

Nous avons présenté, sur la Figure 20, la Figure 22 et la Figure 24 des panaches issus de sources linéiques ou surfaciques de formes et d'orientation diverses. Pour chaque type de source, nous avons déterminé, avec la méthode proposée au paragraphe précédent, la source ponctuelle équivalente, ainsi que la distance estimée au-delà de laquelle l'erreur relative devrait être inférieure à 5% en utilisant cette source équivalente. Nous avons comparé cette distance estimée avec la distance effective à laquelle on atteint ce seuil de 5%. Les résultats sont présentés dans le Tableau 7 :

Type de source	Distance estimée par la méthode proposée, à laquelle l'erreur devient inférieure à 5%	Distance effective à laquelle l'erreur devient inférieure à 5%
Source circulaire R = 20 m	410 m	398 m
Source circulaire R = 40 m	834 m	812 m
Source circulaire R = 60 m	1276 m	1240 m
Source circulaire R = 80 m	1730 m	1690 m
Source circulaire R = 100 m	2217 m	2155 m
Source linéique (L = 100 m) à 90°	1224 m	1020 m
Source surfacique carrée (L = 100 m) à 0°	1224 m	865 m

Tableau 7 : Comparaison des distances estimées et effectives à laquelle on obtient une erreur de 5% avec une source ponctuelle équivalente.

On constate que la méthode proposée fournit une bonne estimation de l'erreur effective en étant toujours majorante comme nous l'avions presupposé. De manière plus générale, ces résultats illustrent une fois de plus que l'erreur se ressent d'autant plus loin que la source est étalée.

### 3.2.5.5. Exemples de représentation d'une source de géométrie complexe par une source de géométrie plus simple

Dans un certain nombre de cas, on souhaite représenter une source complexe par une source plus simple mais qui n'est pas nécessairement ponctuelle. Pour déterminer l'erreur commise dans cette situation, nous proposons d'appliquer les expressions de l'erreur proposées précédemment, en utilisant pour les écarts-types  $d_x$ ,  $d_y$  et  $d_z$  les distances caractéristiques des différences entre la source réelle et la source plus simple. Pour mieux comprendre ce principe, considérons deux sources "complexes", l'une linéique et l'autre surfacique, que l'on souhaite modéliser par une source plus simple (cf. Figure 30).

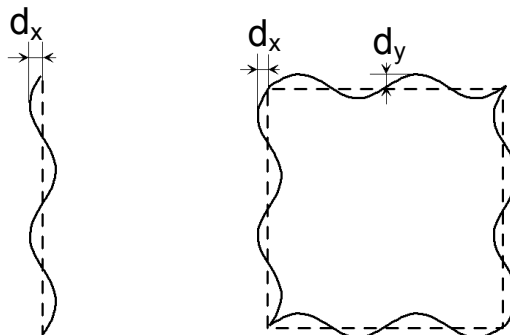


Figure 30 : Représentation de sources complexes (trait plein) par des sources de forme géométrique plus simple (pointillés)

La dispersion des panaches et les profils de concentration sur l'axe, correspondant à ces deux configurations, sont représentés de la Figure 31 à la Figure 34.

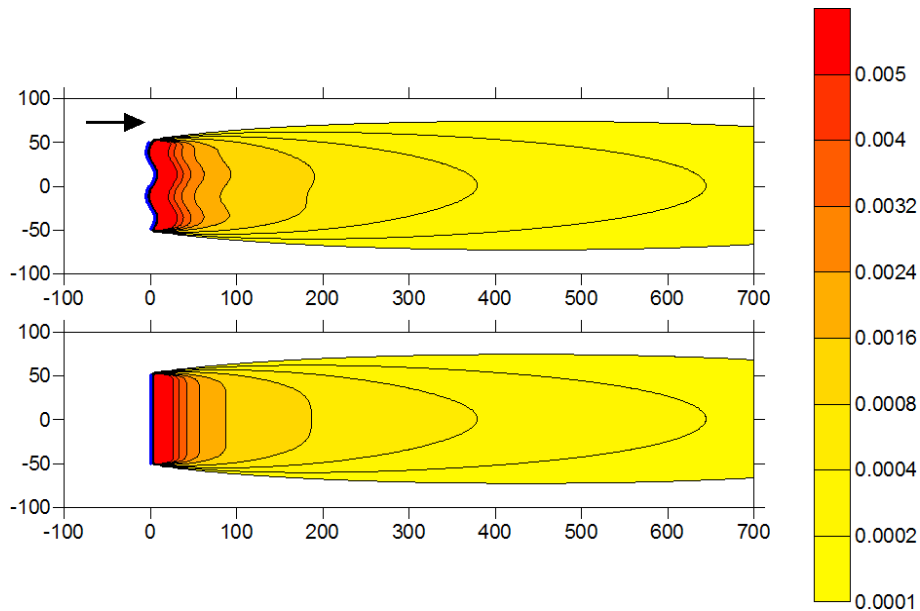


Figure 31 : comparaison des panaches de concentration issus d'une source linéique complexe et d'une source rectiligne de même débit. Les sources sont représentées en bleu. Les panaches représentés correspondent au plan de la source.

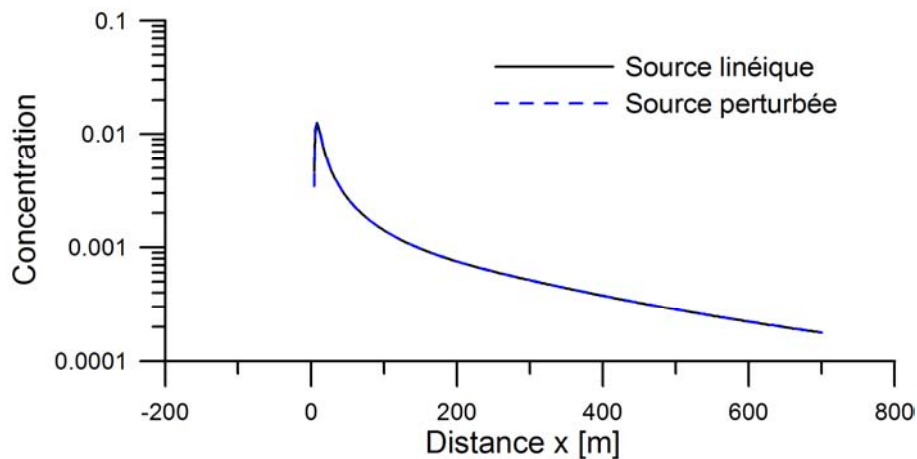


Figure 32 : comparaison des concentrations sur l'axe de panaches issus d'une source linéique complexe et d'une source rectiligne de même débit.

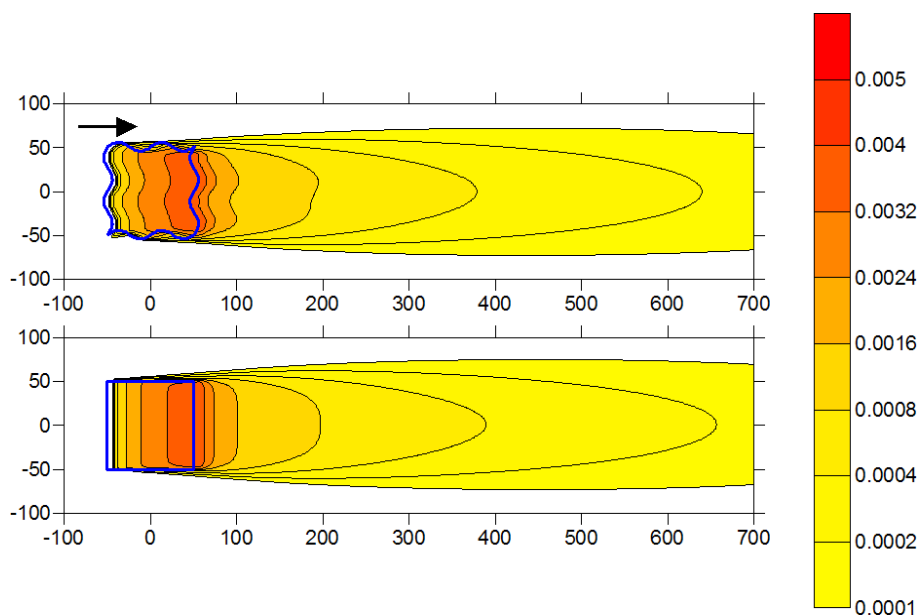


Figure 33 : comparaison des panaches de concentration issus d'une source surfacique complexe et d'une source carrée de même débit. Les sources sont représentées en bleu. Les panaches représentés correspondent au plan de la source.

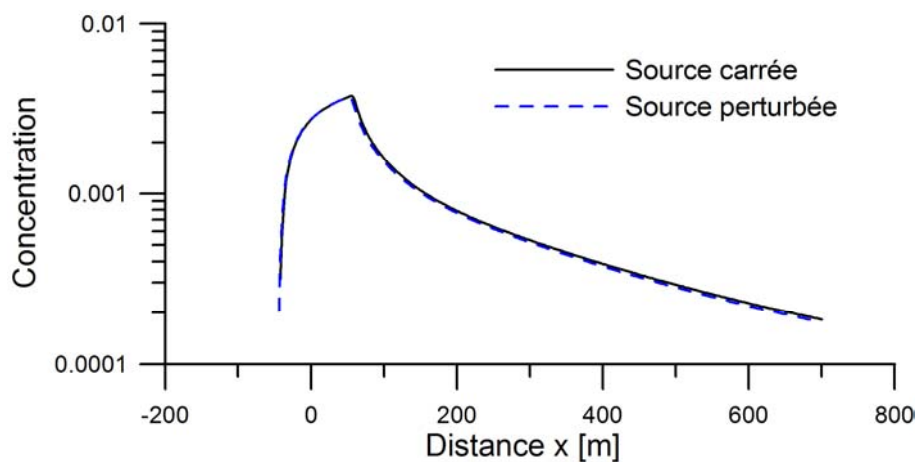


Figure 34 : comparaison des concentrations sur l'axe de panaches issus d'une source surfacique complexe et d'une source carrée de même débit.

On constate dans les deux cas que le panache issu de la source simplifiée devient rapidement très proche du panache réel. Comme dans les cas précédents, nous avons estimé la distance à laquelle l'erreur relative devient inférieure à 5% (estimée à partir des valeurs de  $dx$  et  $dy$  obtenues sur la Figure 30) et nous avons comparé cette distance avec la distance effective à laquelle on atteint cette erreur. Les résultats sont présentés dans le Tableau 8.

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

Type de source	Distance estimée par la méthode proposée, à laquelle l'erreur devient inférieure à 5%	Distance effective à laquelle l'erreur devient inférieure à 5%
Source linéique complexe / source rectiligne	9,3 m	8 m
Source surfacique complexe / source carrée	101 m	78 m

Tableau 8 : Comparaison des distances estimées et effectives à laquelle on obtient une erreur de 5% avec une source simple équivalente.

On constate, comme on pouvait s'y attendre, que les distances sont relativement courtes par rapport aux distances obtenues pour une modélisation par une source ponctuelle. L'estimation fournie par notre méthode est proche de la distance effective et elle est là-encore majorante.

### 3.2.5.6. Exemples de regroupement de sources multiples en une source ponctuelle : cas d'un site industriel réel

Pour illustrer l'intérêt de la méthode proposée sur un exemple concret, nous avons étudié le regroupement des sources sur un site industriel, illustré sur la Figure 35.

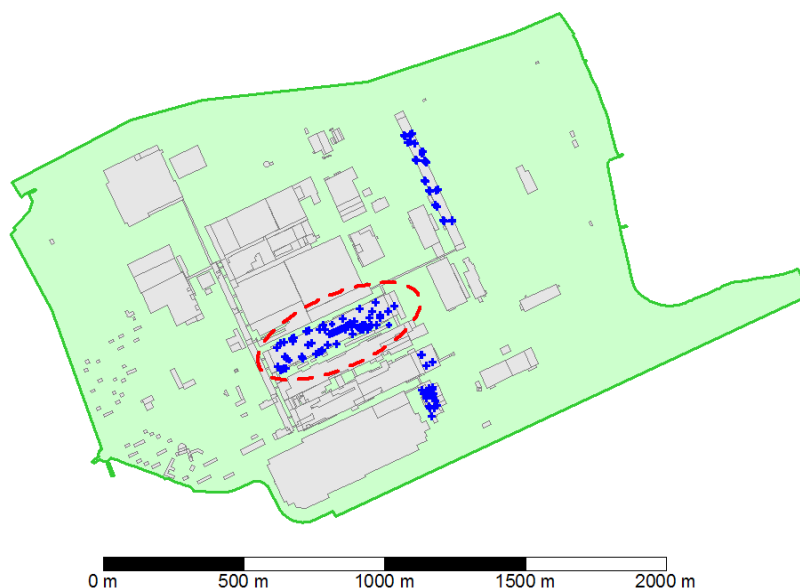


Figure 35 : Site industriel pour l'étude du regroupement des sources. Le cercle en pointillés rouges correspond au bâtiment étudié.

Nous nous sommes intéressé en particulier au bâtiment entouré sur la Figure 35. Ce bâtiment comprend en réalité 31 sources de débits différents. Nous avons étudié une situation de stabilité neutre et de vent d'ouest. Après avoir déterminé le barycentre de la source ponctuelle équivalente, nous avons simulé la dispersion dans les deux cas et les résultats sont illustrés sur la Figure 36 et la Figure 37.

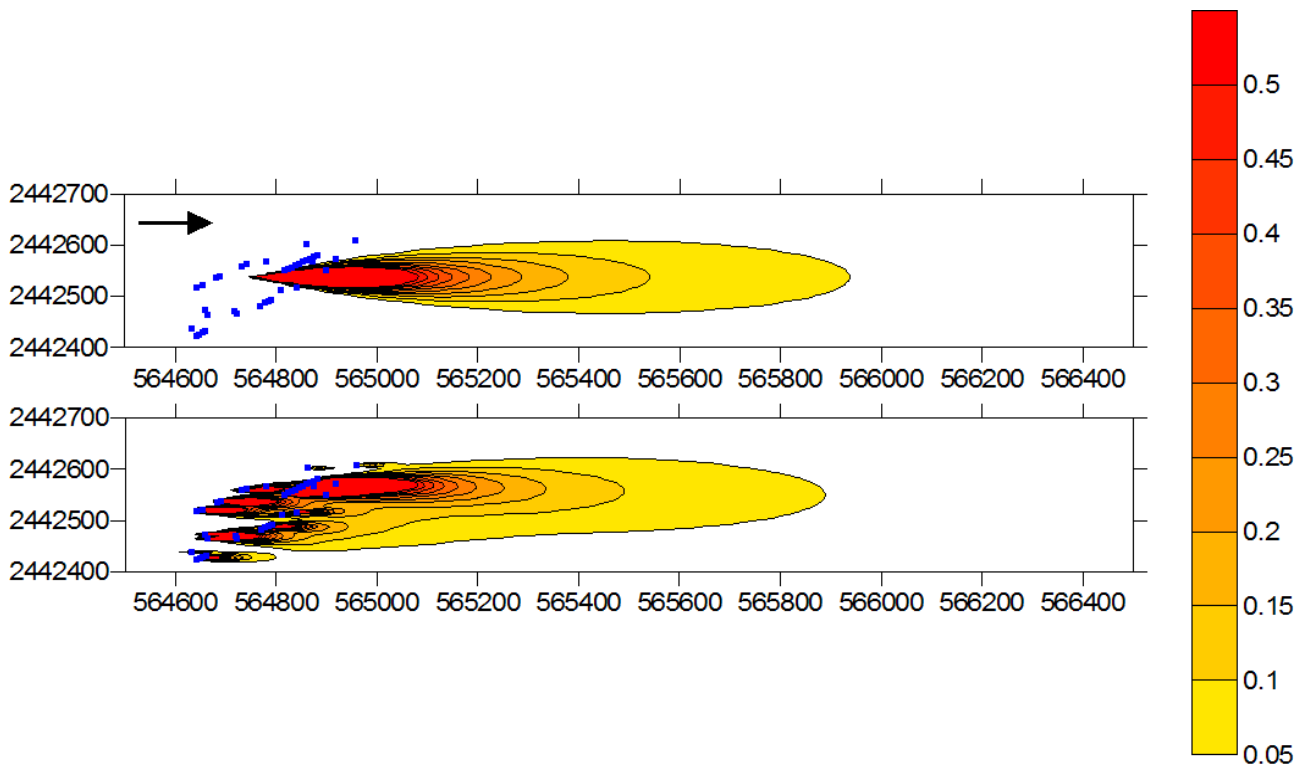


Figure 36 : comparaison des panaches de concentration issus des sources réelles et d'une source ponctuelle équivalente. Les sources sont représentées en bleu. Les panaches représentés correspondent au plan de la source.

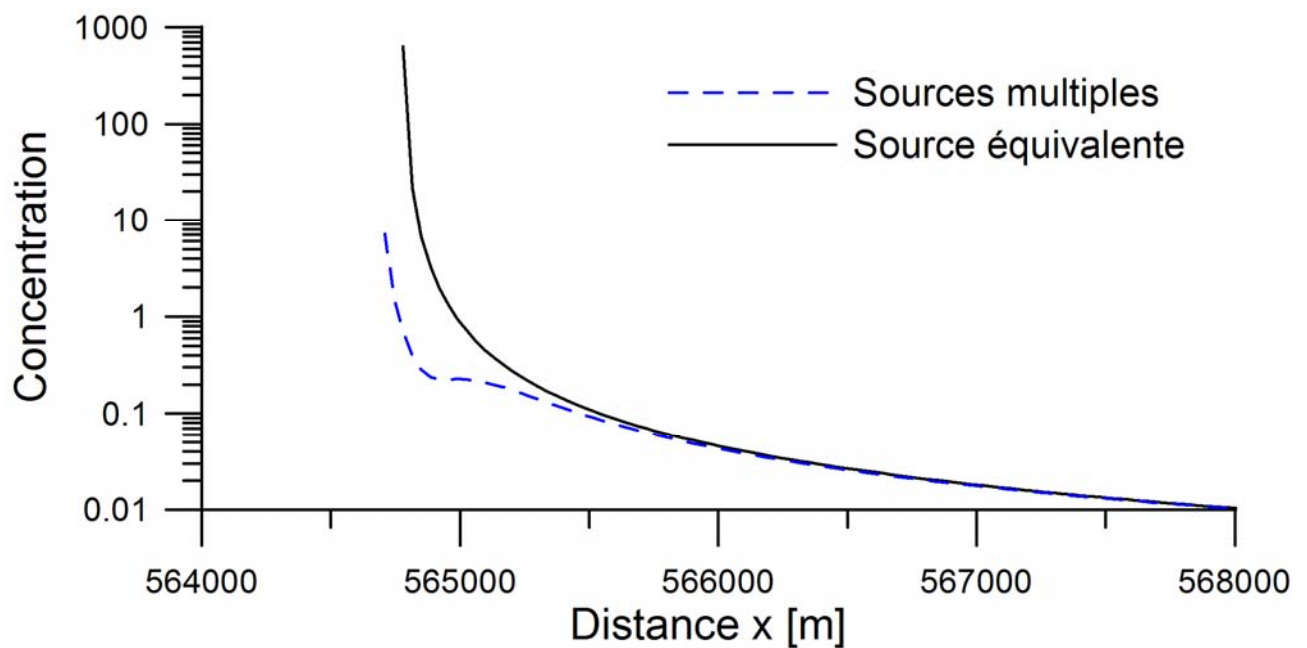


Figure 37 : comparaison des concentrations sur l'axe de panaches issus des sources réelles et d'une source ponctuelle équivalente.

On observe sur ces résultats qu'il faut une distance supérieure à 1 km en aval avant que la source ponctuelle ne représente correctement le comportement du panache.

Afin d'estimer l'erreur relative d'un point de vue quantitatif, nous avons évalué les écarts-types de la source réelle et l'on obtient  $d_x = 95$  m et  $d_y = 39$  m. À partir de ces valeurs, nous avons estimé la distance à laquelle l'erreur relative devient inférieure à 5%. On obtient une distance estimée de 1723 m. Cette distance est relativement importante et nous indique que la modélisation par une source ponctuelle n'est certainement pas adaptée si l'on s'intéresse à des impacts en champ proche.

Dans ce cas, la distance effective à laquelle on atteint une erreur de 5% est de 1478 m, ce qui nous indique que notre estimation était majorante et du bon ordre de grandeur.

### **3.2.6. VARIABILITE TEMPORELLE DES CONDITIONS D'EMISSION**

#### **3.2.6.1. Description des données d'entrée et de la démarche utilisée**

Pour décrire les conditions de rejet d'un site industriel, plusieurs méthodes sont possibles :

- On peut considérer les valeurs moyennes des caractéristiques du rejet (débit, température et vitesse).
- On peut moduler les caractéristiques en fonction du fonctionnement du site.

Nous allons montrer sur un exemple particulier l'impact de la modulation des émissions sur un calcul à long terme de la dispersion d'un polluant.

Pour réaliser cette étude, nous avons utilisé les données météorologiques horaires de la ville de Lyon pour l'année 2003. Les variables utilisées sont le vent à 10 m en vitesse et en direction, la température, la couverture nuageuse et les précipitations.

La source modélisée est une cheminée de 10 m de hauteur, de diamètre 1m, rejetant des oxydes d'azote sur un terrain plat de rugosité 0.1m. La température du rejet est constante et égale à 15°C et la vitesse du rejet est de 5m/s.

Nous avons étudié 4 scénarios différents :

- Les caractéristiques du rejet sont constantes tout au long de l'année.
- Le débit de polluant varie suivant les heures de jour et les heures de nuit.
- Le débit de polluant varie suivant les jours ouvrables et les jours de week-end.
- Le débit de polluant varie suivant les saisons.

Pour comparer ces différents scénarios, les modulations sont choisies de telle sorte que le débit de polluant en moyenne annuelle est de 1g/s.

Pour chaque scénario, nous présenterons les caractéristiques météorologiques du site, la concentration au sol en moyenne annuelle ainsi que le percentiles 98.

### 3.2.6.2. Les caractéristiques du rejet sont constantes pour toutes les heures de l'année

La météorologie à Lyon est très particulière : les vents dominants sont du nord et du sud (Figure 38). La proportion de vents calmes est assez importante : 500 heures dans l'année.

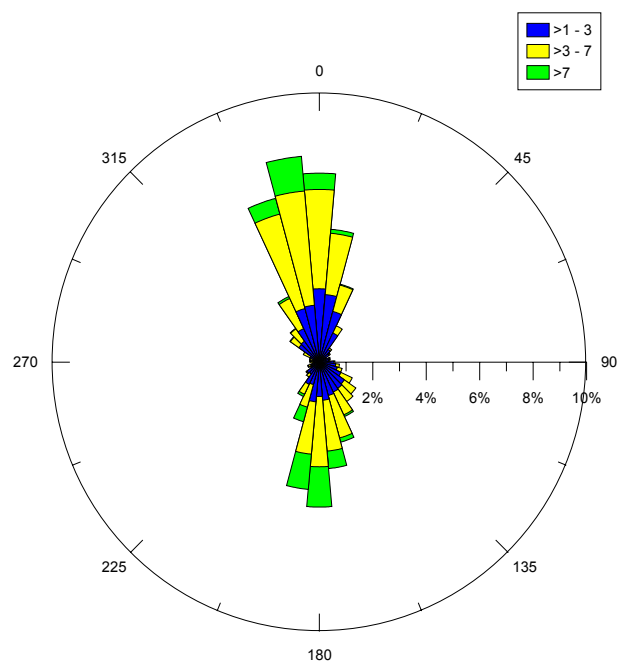


Figure 38 : rose des vents année 2003

Les résultats du scénario sans modulation des émissions sont présentés ci-dessous (Figure 39, Figure 40).



Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

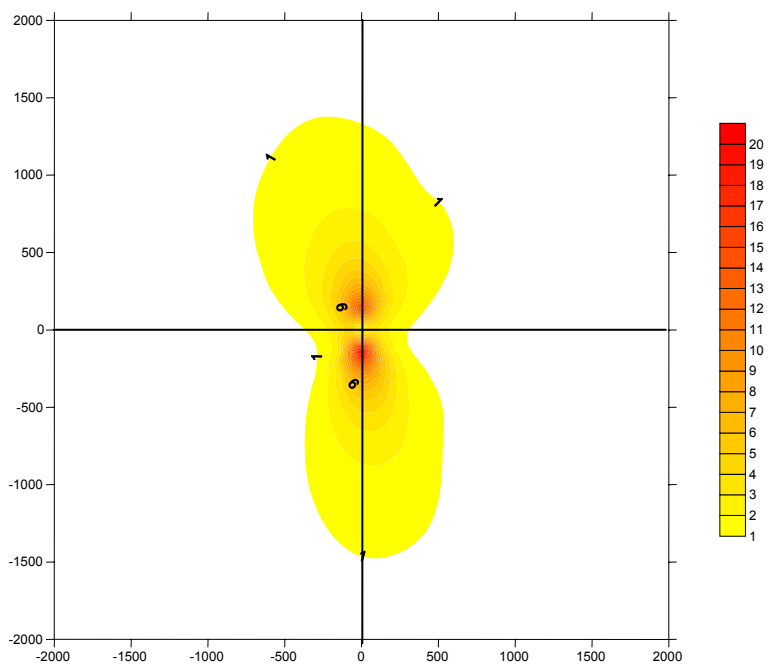


Figure 39 : concentration moyenne annuelle ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) au sol sans modulation

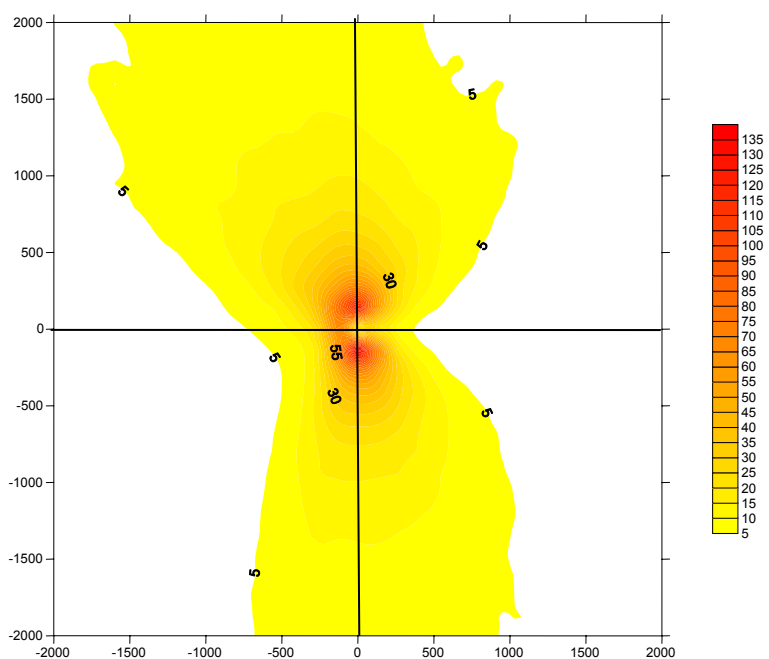


Figure 40 : percentile 98 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) sans modulation

**3.2.6.3. Modulation diurne des émissions**

Pour simuler une source qui fonctionnerait uniquement pendant la journée, on applique un coefficient 2 aux émissions de 8h à 19h et un coefficient 0 pour les heures de nuit.

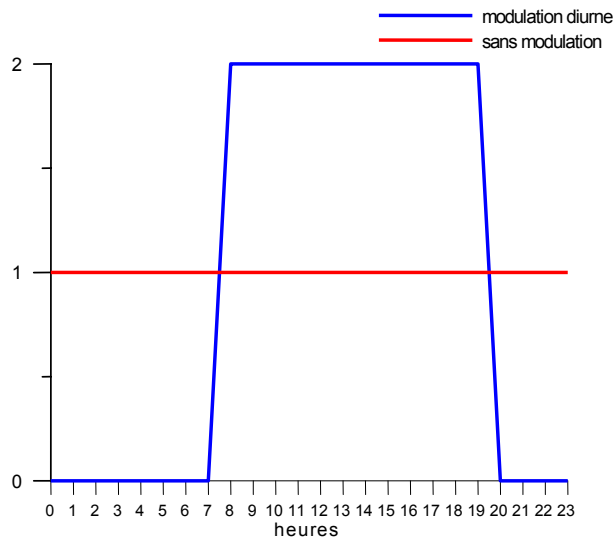


Figure 41 : évolution du débit de polluant en fonction de l'heure de la journée

Les caractéristiques météorologiques de l'année 2003 pour les heures de jour et les heures de nuit sont décrites ci-dessous ( Figure 42 et 43,Tableau 9)

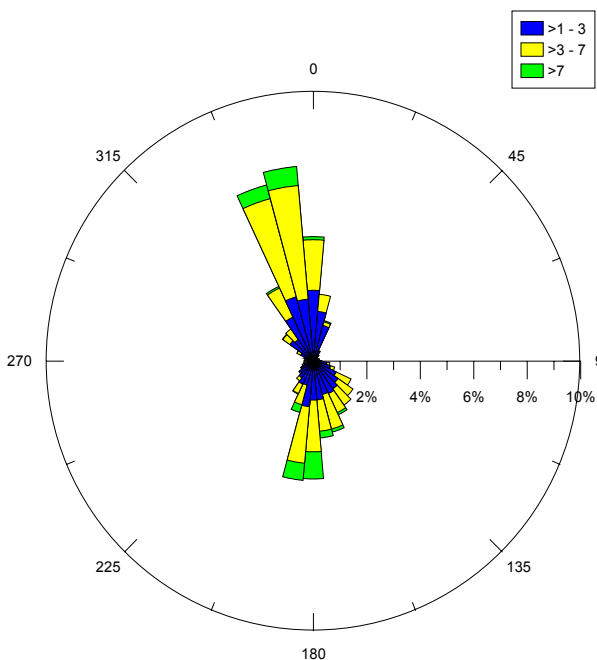


Figure 42 : rose des vents 2003 pour les heures de nuit

Vents calmes : 392/4380

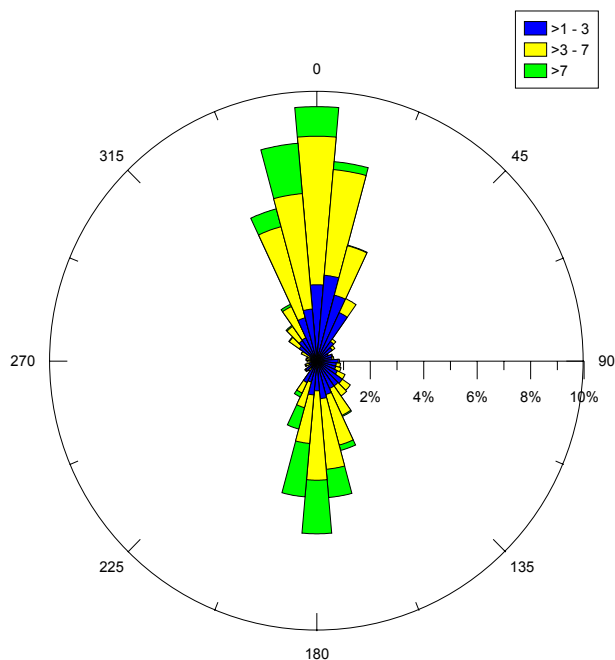


Figure 43 : rose des vents 2003 pour les heures de jour

Vents calmes : 107/4380

	jour	nuit
stable	952	3152
instable	1321	110
neutre	2110	1117

Tableau 9 : répartition des situations de stabilité suivant le jour et la nuit

On remarque qu'il y a plus de situations de vents calmes la nuit que le jour et que les vents modérés ou forts sont plus fréquents en journée que la nuit. On remarque aussi que les situations stables sont très fréquentes la nuit et que les situations instables ou neutres sont très fréquentes le jour.

La concentration moyenne annuelle et les percentiles 98 obtenus pour ce scénario sont présentés ci-dessous (Figure 44, Figure 45).

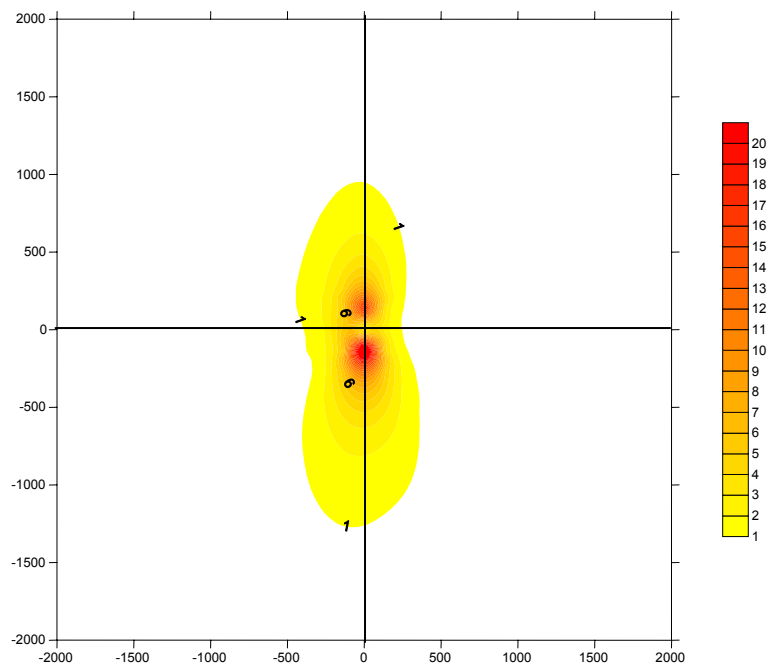


Figure 44 : concentration moyenne annuelle ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) avec une modulation jour-nuit

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

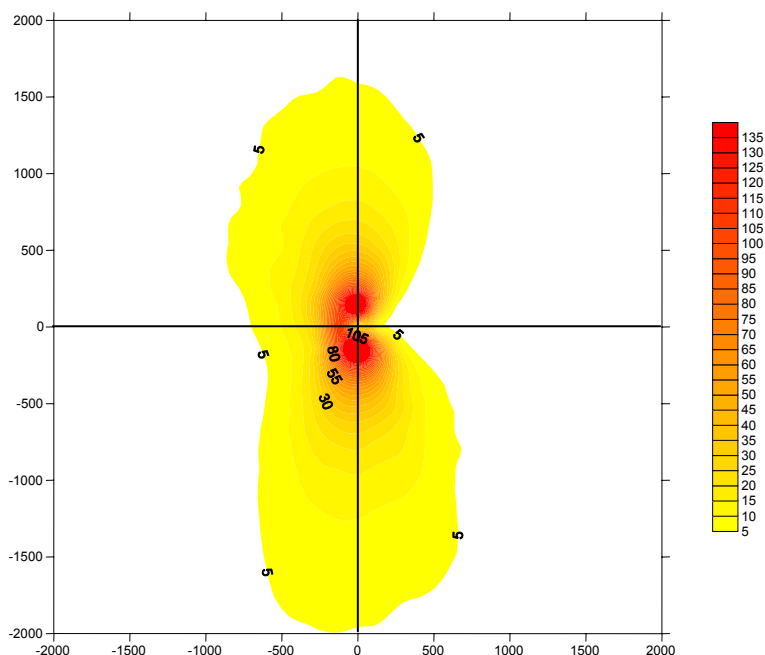


Figure 45 : percentile 98 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) avec une modulation jour-nuit

Distance à la source suivant l'axe Nord-Sud (m)	C sans modulation ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	C modulation diurne ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	P 98 sans modulation ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	P98 modulation diurne ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
-2000	0.676	0.507	6.939	4.798
-1600	0.895	0.699	8.766	6.774
-1200	1.300	1.081	11.947	10.723
-800	2.241	2.052	18.595	20.234
-400	5.908	6.395	42.907	58.356
-266.67	10.381	12.210	70.578	105.797
-133.33	22.210	30.270	149.425	264.044
0	0.000	0.000	0.000	0.000
133.33	16.435	18.821	133.488	232.063
266.67	8.227	7.855	69.964	93.187
400	4.829	4.171	42.353	49.517
800	1.927	1.328	18.591	15.873
1200	1.143	0.683	11.739	7.892
1600	0.794	0.429	8.027	4.931
2000	0.603	0.302	6.109	3.445

Tableau 10 : évolution des concentrations moyennes et des percentiles 98

La modulation des émissions sur la journée a un impact important sur le calcul de la pollution à long terme. D'une part, la concentration moyenne annuelle est différente pour les deux scénarios :

- lorsque les émissions sont modulées entre le jour et la nuit, l'impact de la source se fait sentir à une moins grande distance que si les émissions sont constantes.
- le maximum de concentration observé au voisinage de la source est plus fort dans le cas où les émissions sont modulées.

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

Ces deux phénomènes s'expliquent par le fait que dans les situations instables ou neutres, le panache se disperse plus vite que dans les conditions stables. Par conséquent, dans le cas de la modulation diurne, l'impact du rejet est plus fort près de la source mais moins important si on s'éloigne de la source. D'autre part, les percentiles 98 sont différents : ils sont beaucoup plus élevés au voisinage de la source dans le cas de la modulation diurne.

#### 3.2.6.4. Modulation hebdomadaire des émissions

Pour simuler une source qui fonctionnerait uniquement les jours de semaine, on applique un coefficient 0 aux émissions des samedi et dimanche et un coefficient 1.4 aux émissions des jours de semaine, de telle sorte que les émissions moyennes soit toujours les mêmes que dans le cas où les émissions ne sont pas modulées.

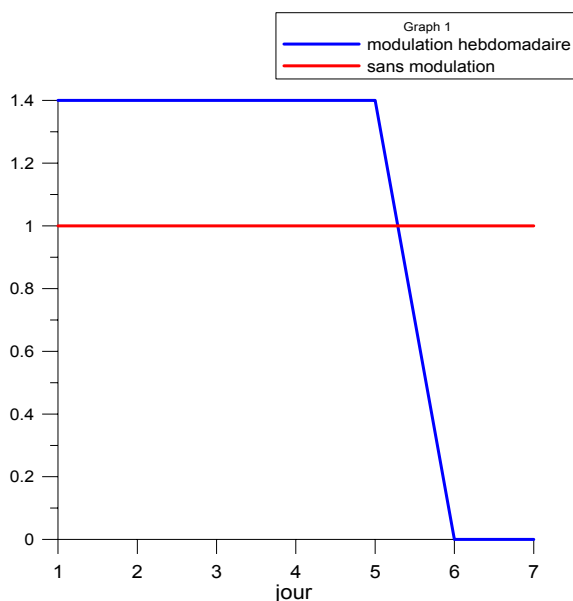


Figure 46 : évolution du débit de la source en fonction du jour de la semaine

Pour ce scénario, la concentration moyenne annuelle et le percentile 98 obtenus sont représentés sur les figures suivantes.

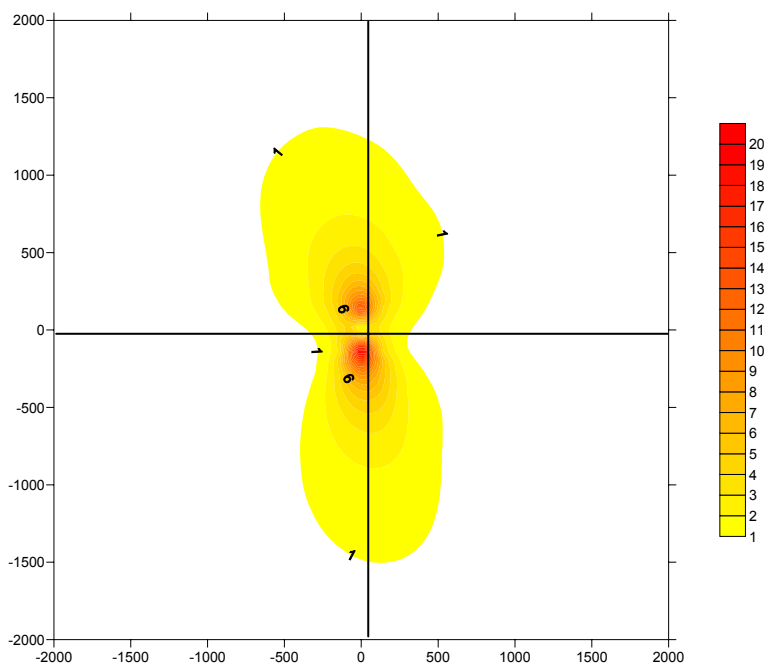


Figure 47 : concentration moyenne annuelle ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) avec une modulation semaine week-end

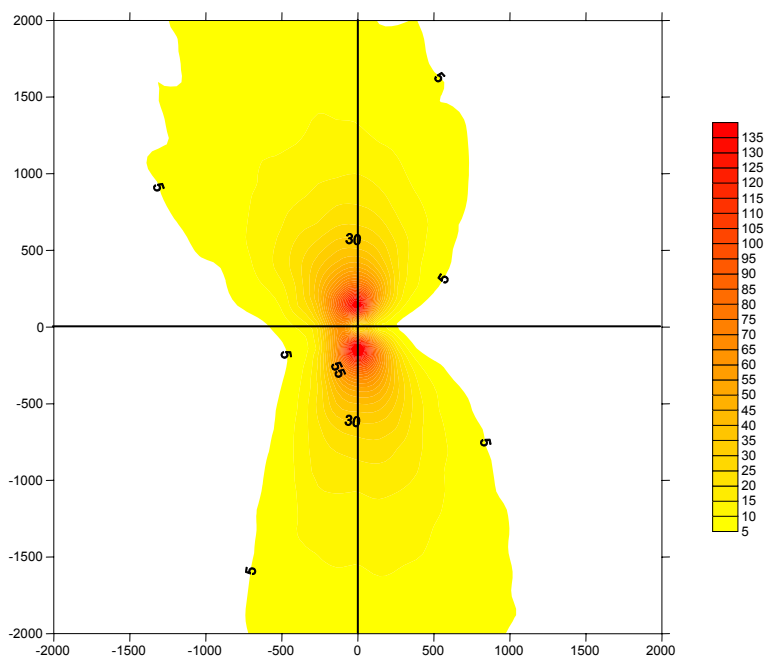


Figure 48 : percentiles 98 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) avec une modulation semaine week-end

On remarque que lorsque les émissions sont modulées entre la semaine et le week-end, l'impact est assez faible. En comparant les résultats avec le scénario sans modulation des émissions, les variables statistiques telle que la concentration moyenne annuelle et le percentile 98 sont très proches. Sur une année complète, la météorologie est statistiquement la même en semaine et le week-end, c'est pourquoi on observe assez peu de différences entre les deux scénarios.

**3.2.6.5. Modulation saisonnière des émissions**

Pour simuler une source qui fonctionnerait plus en hiver qu'en été, on applique un coefficient 1.65 aux émissions des jours compris entre le 1<sup>er</sup> novembre et le 1<sup>er</sup> avril et un coefficient 0.55 aux émissions des autres jours, de telle sorte que les émissions moyennes soit toujours les mêmes que dans le cas où les émissions ne sont pas modulées.

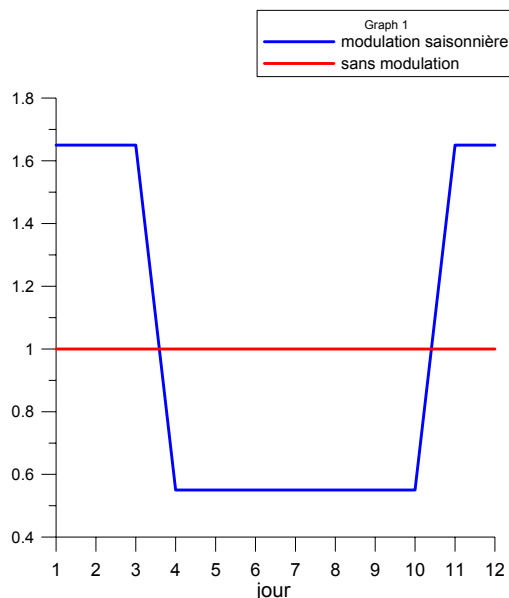


Figure 49 : évolution du débit de la source en fonction du mois de l'année

Pour ces deux périodes, les caractéristiques météorologiques sont décrites ci-dessous ( Figure 50 et 17)

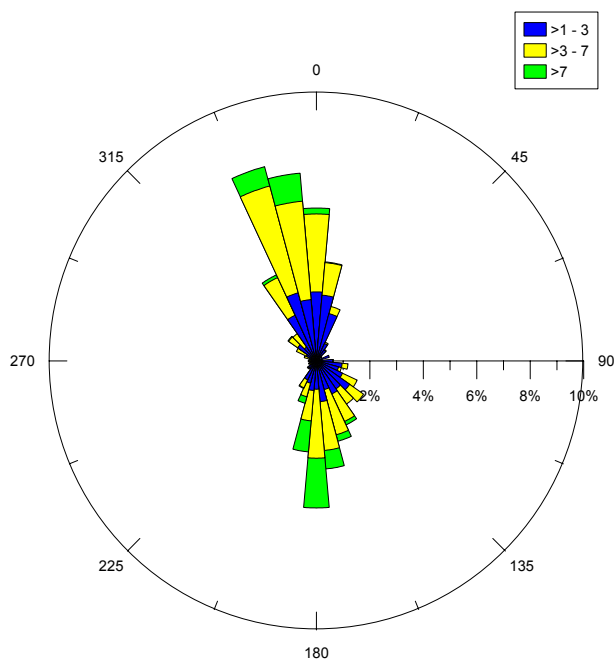


Figure 50 : rose des vents hiver

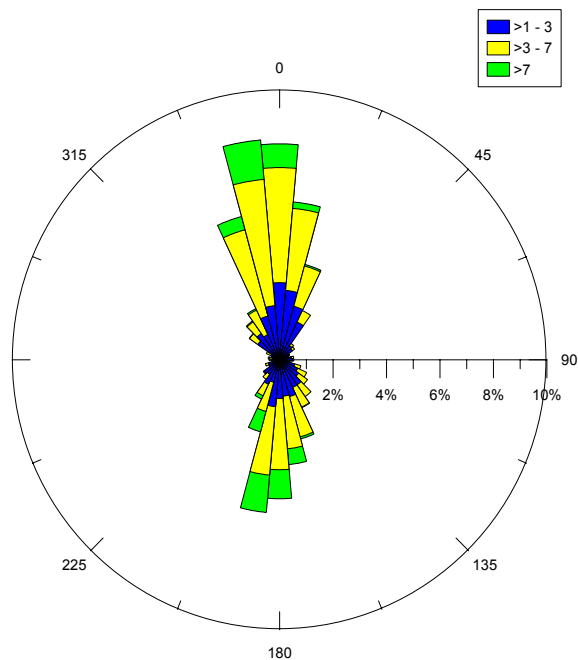


Figure 51 : rose des vents été

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

	hiver	été
stable	57%	40%
instable	10%	21%
neutre	33%	39%

Tableau 11 : répartition des conditions de stabilité pour les deux périodes

Les roses des vents des deux périodes sont très semblables. On peut cependant remarquer qu'il y a plus de situations stables en hiver qu'en été.

Pour ce nouveau scénario, la concentration moyenne annuelle et le percentile 98 sont représentés ci-dessous (Figure 52, Figure 53 ).

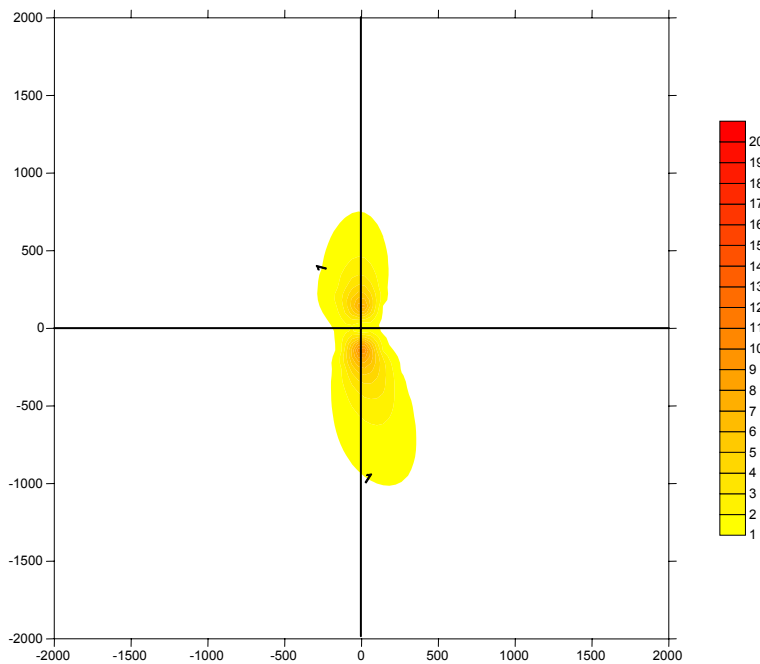


Figure 52 : concentration moyenne annuelle ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) pour une modulation hiver-été



Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

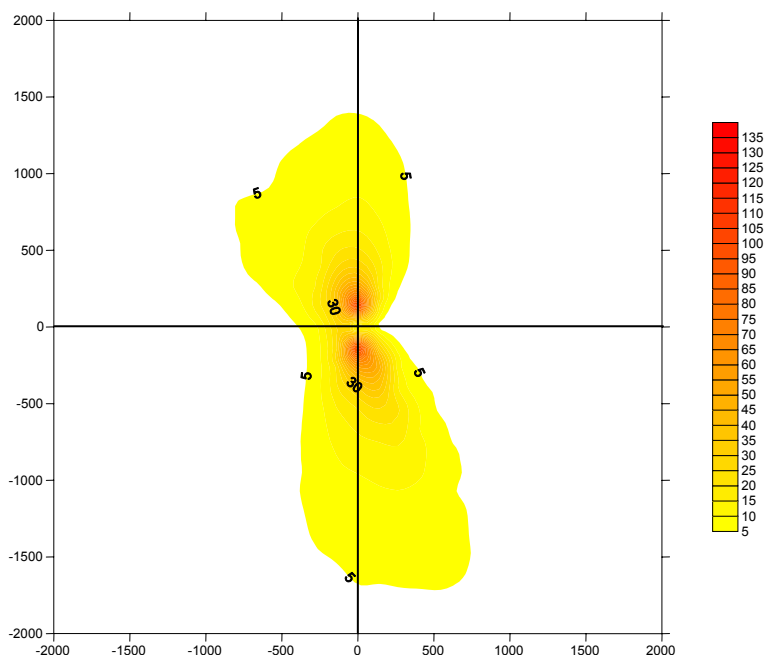


Figure 53 : percentile 98 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) pour une modulation hiver-été

Distance à la source suivant l'axe Nord-Sud (m)	C sans modulation ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	C modulation annuelle ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	P 98 sans modulation ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	P 98 modulation annuelle ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
-2000	0.676	0.355	6.939	4.096
-1600	0.895	0.476	8.766	5.330
-1200	1.300	0.706	11.947	7.459
-800	2.241	1.258	18.595	12.531
-400	5.908	3.329	42.907	28.971
-266.67	10.381	5.766	70.578	52.729
-133.33	22.210	11.319	149.425	110.684
0	0.000	0.000	0.000	0.000
133.33	16.435	8.635	133.488	111.385
266.67	8.227	4.371	69.964	51.866
400	4.829	2.507	42.353	28.353
800	1.927	0.919	18.591	10.926
1200	1.143	0.509	11.739	6.153
1600	0.794	0.338	8.027	4.096
2000	0.603	0.248	6.109	2.992

Tableau 12 :

Lorsqu'on module les émissions suivant les saisons (émissions plus fortes l'hiver que l'été) on remarque que la concentration moyenne annuelle est plus faible que pour des émissions constantes, de même pour les percentiles. Ce résultat n'est pas général ; il dépend des caractéristiques météorologiques du site et de la topographie du site.

### 3.2.6.6. Conclusion

Cette étude permet de montrer que la modulation des émissions a un impact non négligeable sur le calcul de la pollution à long terme. D'autre part, suivant la modulation utilisée et la situation modélisée l'impact n'est pas le même. Enfin, cette étude permet de montrer qu'on ne peut pas définir de manière systématique si une approche simplifiée où l'on utilise des émissions moyennées est majorante ou minorante.

## 3.3. INFLUENCE DES CONDITIONS METEOROLOGIQUES

### 3.3.1. VITESSE DU VENT MOYEN

#### 3.3.1.1. Influence de la vitesse du vent moyen sur la concentration

La vitesse du vent moyen est un paramètre essentiel dans les phénomènes de dispersion dans l'atmosphère. Plus le vent est fort, plus le polluant se disperse. On se place en un point en aval d'une source et on mesure une concentration  $C_0$  pour une vitesse de vent de  $U_0$ . Toutes choses égales par ailleurs, si le vent augmente, la concentration diminue suivant une loi en  $1/U$  (Figure 54)

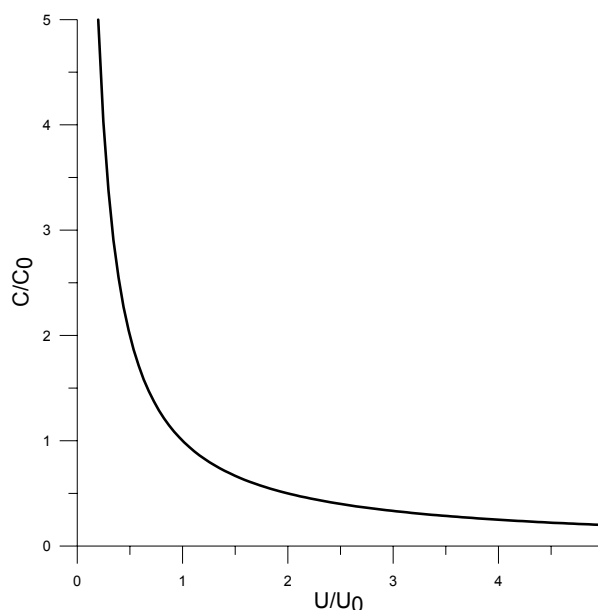


Figure 54 : évolution de la concentration en un point en fonction de la vitesse du vent

#### 3.3.1.2. Paramètres influençant la vitesse du vent moyen

La vitesse du vent moyen est influencée par la rugosité du sol. En effet, la rugosité du sol a un impact sur le profil vertical du vent : plus la rugosité du sol est élevée, plus l'écoulement est ralenti au voisinage du sol. (cf Etat de l'art 3.2.2.1)

### 3.3.2. DIRECTION DU VENT

#### 3.3.2.1. Influence de la direction du vent sur la concentration

La direction du vent a un impact direct sur la concentration. En effet, un décalage de quelques degrés dans la direction du vent change l'orientation du panache et pour un point fixe, la concentration peut varier considérablement. Pour comprendre ce phénomène, on modélise une source ponctuelle et on calcule la concentration de polluant au sol sur des points récepteurs fixes. On fait ensuite varier la direction du vent de 2°, 5°, 10° et 20°. On calcule les nouvelles concentrations sur les mêmes points récepteurs que dans le premier cas et on les compare point par point aux concentrations initiales (Cf Figure 55, Figure 56, Figure 57 et Figure 58).

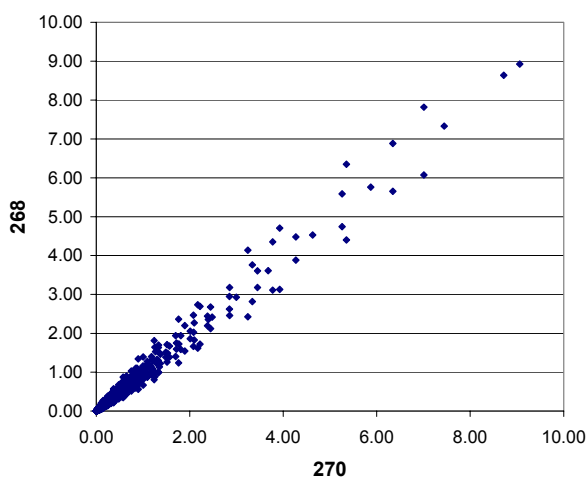


Figure 55 : Décalage de 2 degrés

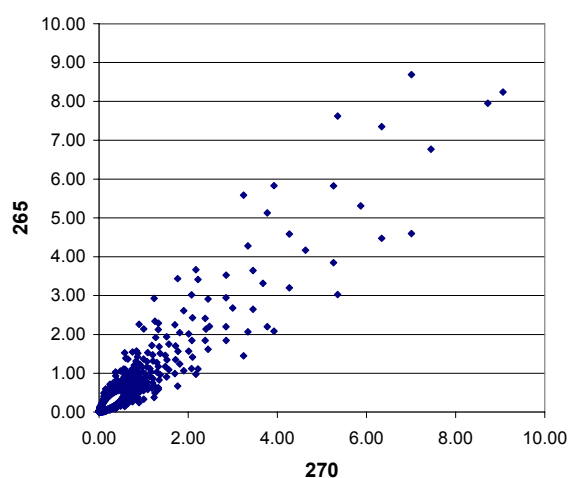


Figure 56 : Décalage de 5 degrés

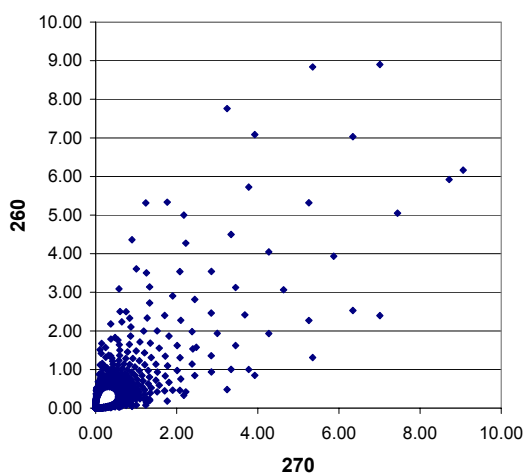


Figure 57 : Décalage de 10 degrés

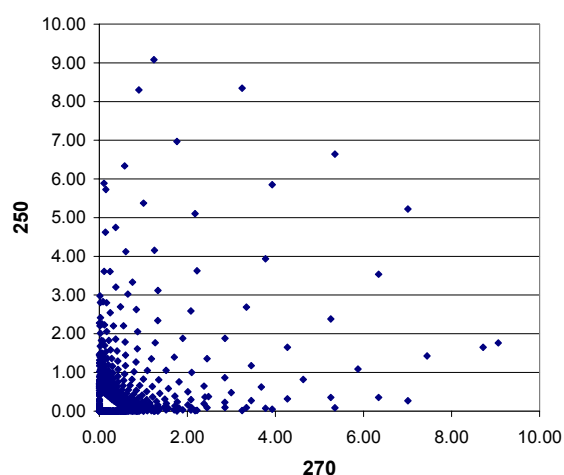


Figure 58 : Décalage de 20 degrés

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

Ce calcul montre bien l'influence de la direction du vent sur la concentration. Un écart de 5° dans la direction du vent peut entraîner un écart de 50 % sur les concentrations. Il est important de noter que les données issues des stations de Météo France sont fournies par intervalle de 10°.

#### **3.3.2.2. Paramètres influençant la direction du vent**

La présence d'obstacle ou de relief à proximité d'un site peut modifier de manière sensible la direction de l'écoulement. Une station météorologique qui n'est pas soumise aux mêmes variations de l'écoulement que le site industriel peut être assez peu représentative du site, même si elle est située à proximité.

### 3.3.3. LA STABILITE ATMOSPHERIQUE

#### 3.3.3.1. Influence de la stabilité atmosphérique sur la dispersion

La stabilité atmosphérique est déterminée par l'amplitude des mouvements verticaux de l'atmosphère (cf Etat de l'art ch 3.1.2.3). En situation instable, le mouvement vertical d'une particule d'air est amplifié. En situation stable le mouvement vertical d'une particule d'air est atténué. En situation neutre, le mouvement vertical d'une particule d'air n'est ni atténué ni amplifié. Les conditions de stabilité atmosphérique sont donc déterminantes pour la dispersion.

Dans une atmosphère stable, les mouvements verticaux de l'atmosphère sont faibles, il y a peu de turbulence, les polluants vont peu se disperser. Dans une atmosphère instable, les mouvements verticaux de l'atmosphère sont importants, la turbulence est forte, les polluants vont fortement se disperser. Un paramètre permettant de quantifier la stabilité est l'inverse de la longueur de Monin Obukhov. Si  $1/LMO$  est négatif, l'atmosphère est instable, si  $1/LMO$  est positif, l'atmosphère est stable. Si  $1/LMO$  tend vers 0, l'atmosphère est neutre.

Pour illustrer ce phénomène, on étudie un rejet de polluant pour différentes valeurs de  $1/LMO$ . On compare la concentration au sol et les écart-types (Figure 59 Figure 60 Figure 61).

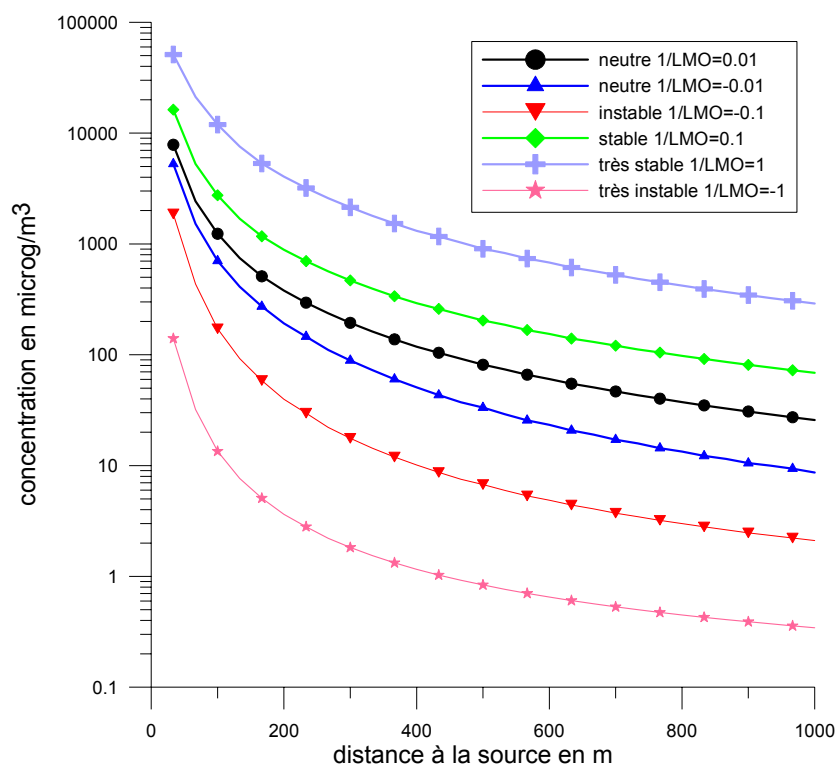


Figure 59 : concentration au sol pour différentes valeurs de  $1/LMO$

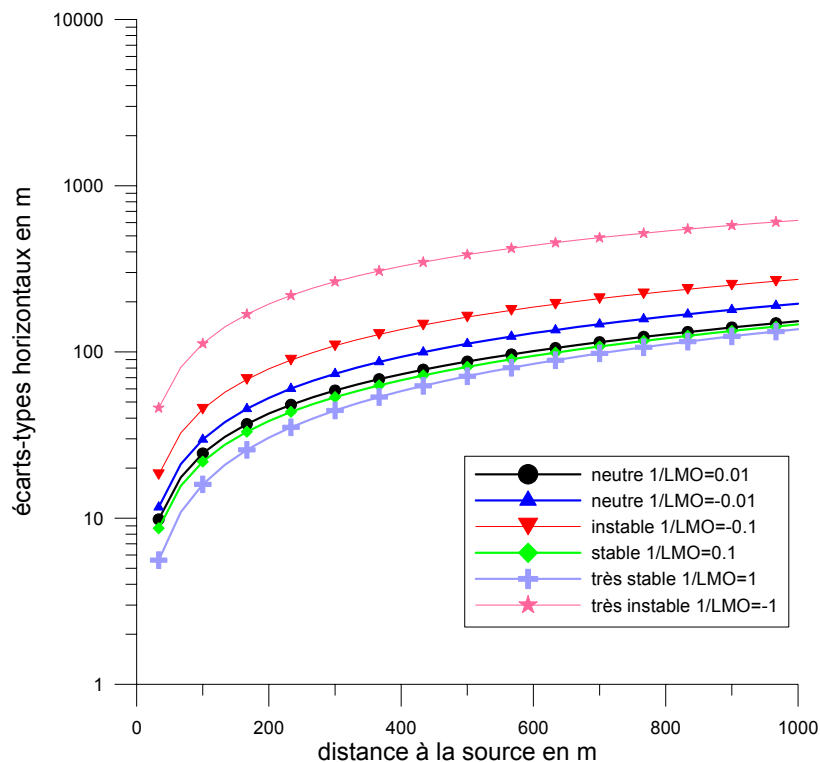


Figure 60: écart-types horizontaux pour différentes valeurs de 1/LMO

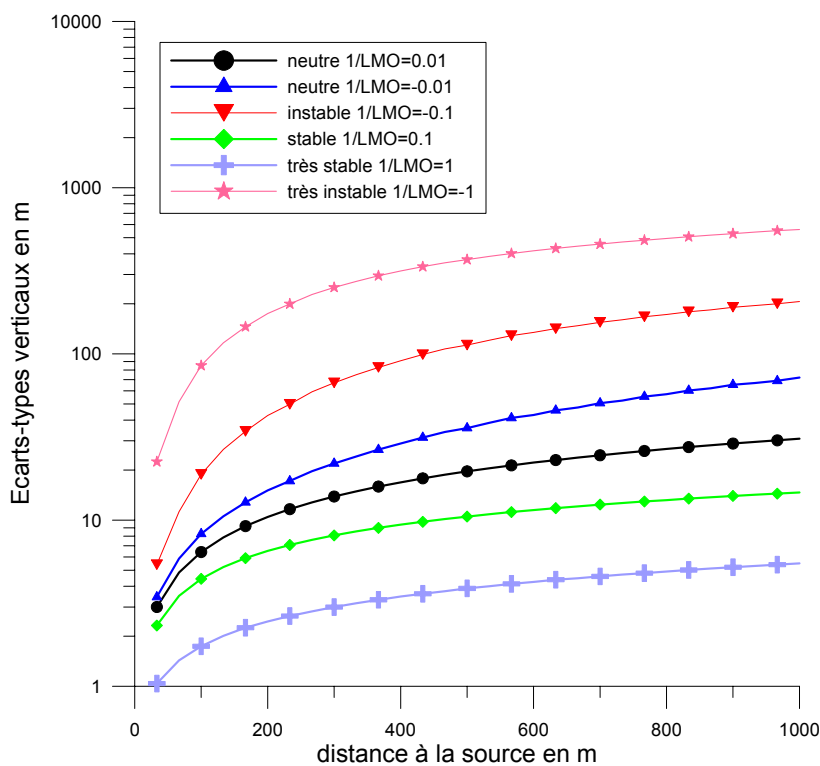


Figure 61 : écart-types verticaux pour différentes valeurs de 1/LMO

On remarque que plus l'écoulement est instable, plus les écarts-types verticaux et horizontaux sont grands et plus la concentration au sol est faible. Les conditions de stabilité de l'atmosphère sont donc déterminantes pour la dispersion.

**3.3.3.2. Paramètres influençant la stabilité de l'atmosphère**

La stabilité de l'atmosphère dépend essentiellement des échanges thermiques avec le sol et plus précisément du flux de chaleur sensible, c'est-à-dire le flux de chaleur échangé par convection entre le sol et l'atmosphère. Dans la journée, le flux de chaleur sensible est positif, il se crée une couche limite instable au voisinage du sol et au dessus, une couche de mélange neutre. La nuit, le flux de chaleur sensible est négatif, la couche limite est stable.

Le flux de chaleur sensible dépend de l'ensoleillement, de la couverture nuageuse, de la nature et de la température du sol.

**3.3.4. TURBULENCE ATMOSPHERIQUE****3.3.4.1. Influence de la turbulence atmosphérique sur la concentration**

La dilution d'un polluant gazeux dans l'atmosphère dépend principalement de la turbulence de l'écoulement dans la couche limite atmosphérique. On observe que l'étalement d'un panache de polluant (caractérisé par les écart-types  $\sigma_y$  et  $\sigma_z$ ) est d'autant plus rapide que la turbulence est élevée. La turbulence étant caractérisée par les écart-types sur la vitesse de l'écoulement ( $\sigma_v$  et  $\sigma_w$ ).

Pour illustrer ceci, nous avons calculé la concentration issue d'une source ponctuelle pour plusieurs intensités de turbulence.

Les écart-types de diffusion sont paramétrés de la façon suivante :

$$\sigma_y = \frac{\sigma_v t}{\sqrt{1 + \frac{t}{2T_L}}}$$

Où  $T_L$  est l'échelle de temps lagrangienne. Cette échelle peut être paramétrée comme suit :

$$T_L = \frac{cte}{\sigma_v}$$

La constante est de l'ordre de 10 m

L'intensité de turbulence est définie par le rapport  $\sigma_v/U$ , où  $U$  est la vitesse de l'écoulement. On fait varier l'intensité de turbulence entre 0.08 (écoulement peu turbulent correspondant à une stratification stable et une rugosité de  $10^{-3}$ m) et 0.5 (écoulement très turbulent correspondant à une situation instable avec une rugosité de 1m). Pour ces différents états turbulents, on compare la concentration au sol et la concentration sur l'axe.

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

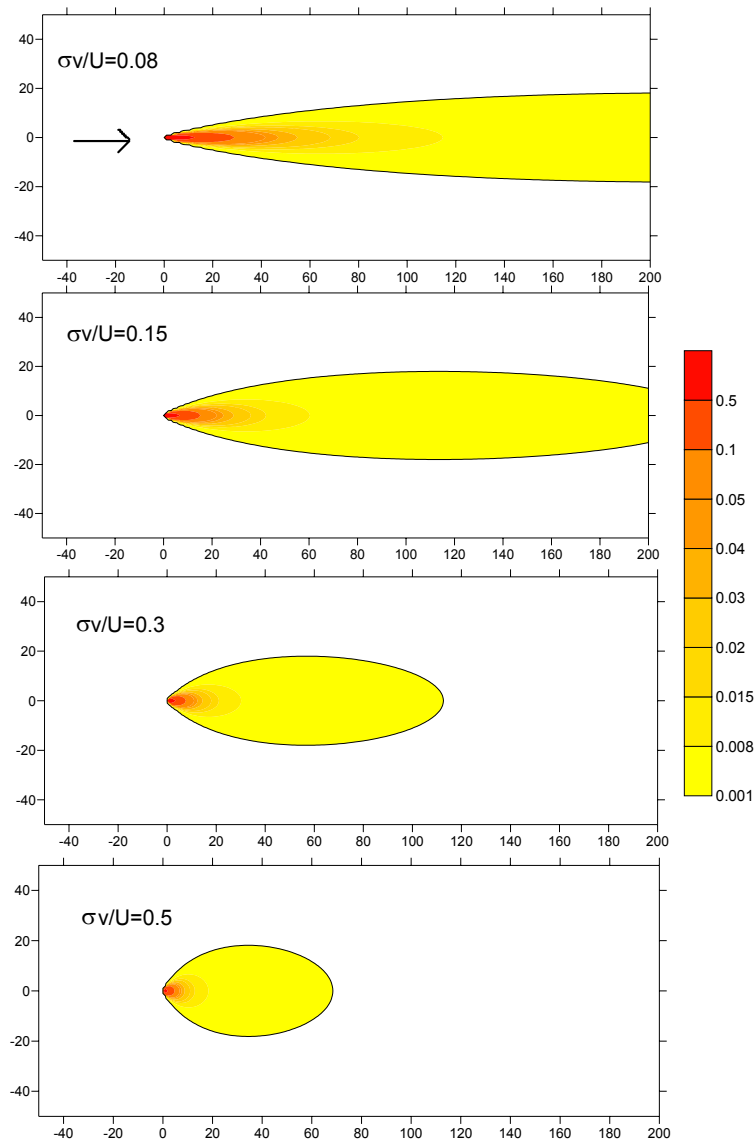


Figure 62 : concentration au sol pour différentes conditions turbulentes de l'atmosphère



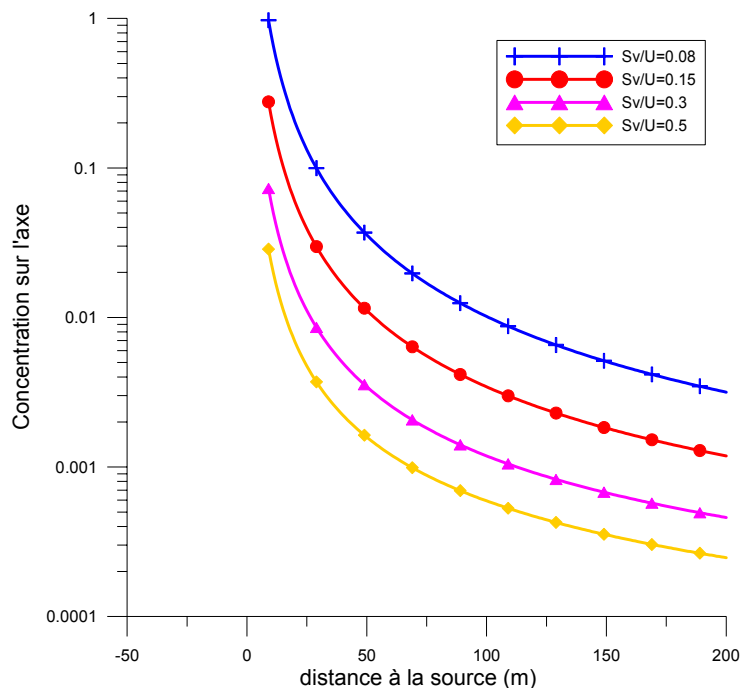


Figure 63 : concentration su l'axe du panache pour différentes intensités de turbulence

On remarque que plus l'intensité de turbulence augmente plus le panache s'étale verticalement et horizontalement. C'est pourquoi, la concentration au sol diminue quand la turbulence augmente, la vitesse du vent étant constante.

### 3.3.4.2. Paramètres influençant la turbulence atmosphérique

- Le frottement mécanique induit par le sol (rugosité, obstacles, ...)

Dans une couche limite neutre thermiquement, la turbulence est liée au gradient de vitesse. C'est le frottement des couches de fluides les unes sur les autres qui génère des tourbillons dans l'écoulement. Donc plus il y a de frottement, plus l'écoulement est turbulent. Le frottement de l'écoulement sur le sol a donc un impact très important sur les caractéristiques de l'écoulement. La nature du sol, en particulier son état de rugosité, modifie les caractéristiques de l'écoulement : plus le sol est rugueux, plus l'écoulement est turbulent.

D'autre part les obstacles présents dans l'écoulement vont modifier les caractéristiques de l'écoulement au voisinage de l'obstacle. En effet, le sillage créé par un obstacle dans un écoulement est une zone où la turbulence est élevée et où l'écoulement est très perturbé. Lorsqu'on s'éloigne de l'obstacle, l'écoulement retrouve ses caractéristiques initiales.

- La stratification atmosphérique

Dans une couche limite neutre ou stable, la turbulence de l'écoulement est uniquement d'origine mécanique. L'existence d'une stratification stable conduit même à une destruction de la turbulence sous les effets de la stabilité.

Dans une couche limite instable, les effets thermiques entre le sol et l'atmosphère créent de la turbulence qui vient s'ajouter à la turbulence d'origine mécanique.

On peut donc résumer les effets de la stratification atmosphérique sur la turbulence par le tableau suivant.

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

stratification	Rôle des effets mécaniques sur la turbulence	Rôle des effets thermiques sur la turbulence	Intensité de turbulence
stable	Production	destruction	faible
neutre	Production	aucun	moyenne
instable	Production	production	forte

Tableau 13 : bilan des effets thermiques et mécaniques sur la turbulence

### 3.3.5. LA COUVERTURE NUAGEUSE

La couverture nuageuse a un impact sur les échanges thermiques et radiatifs entre la terre et l'atmosphère et ainsi sur la stratification thermique de l'atmosphère. La couverture nuageuse se mesure en oktas sur une échelle de 0 à 8 ; 0 correspondant à un ciel dégagé et 8 à un ciel couvert. La présence de nuages filtre une partie du rayonnement solaire ainsi que le rayonnement terrestre. Durant la journée, les nuages diminuent le flux radiatif net arrivant au sol alors que pendant la nuit, ils limitent le refroidissement du sol. Les nuages font tendre l'atmosphère vers un état neutre.

Pour illustrer ce phénomène, nous avons étudié un rejet ponctuel à 1m du sol sans surhauteur dans les situations suivantes :

- Situation de jour, avec une couverture nuageuse en oktas de 0, 4, 6 ou 8.
- Situation de nuit, avec une couverture nuageuse en oktas de 0, 4, 6 ou 8.

Le vent est constant et égal à 2m/s.

Pour ces différentes situations météorologiques, nous avons étudié la stabilité (inverse de la longueur de Monin Obukhov, hauteur de couche limite) (Tableau 14 et Tableau 15) puis nous avons calculé la concentration au sol en polluant issu du rejet ponctuel (Figure 64 et Figure 67), ainsi que les écart-types de diffusion verticaux et horizontaux (Figure 65, Figure 66, Figure 68 et Figure 69).

#### 3.3.5.1. Situation de jour

Jour	Couverture nuageuse : 0	Couverture nuageuse : 4	Couverture nuageuse : 6	Couverture nuageuse : 8
1/LMO	-0.13	-0.12	-0.10	-0.03
H <sub>cla</sub>	1017	1015	870	380
stabilité	instable	instable	instable	neutre

Tableau 14 : paramètres de stabilité obtenus pour différentes couvertures nuageuse dans une situation de jour

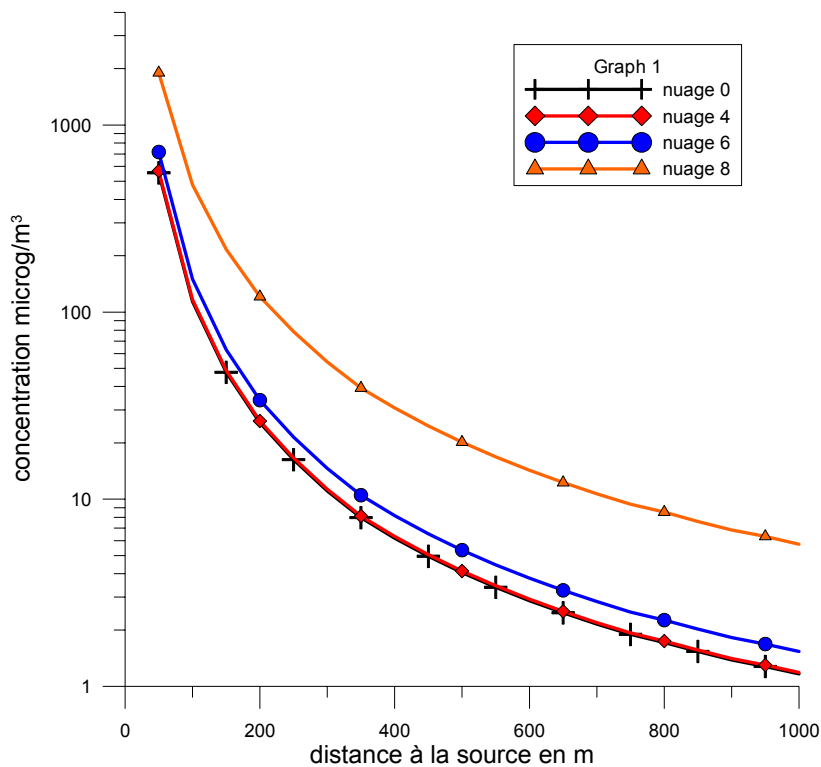


Figure 64 : évolution de la concentration au sol pour différentes couvertures nuageuses dans une situation de jour

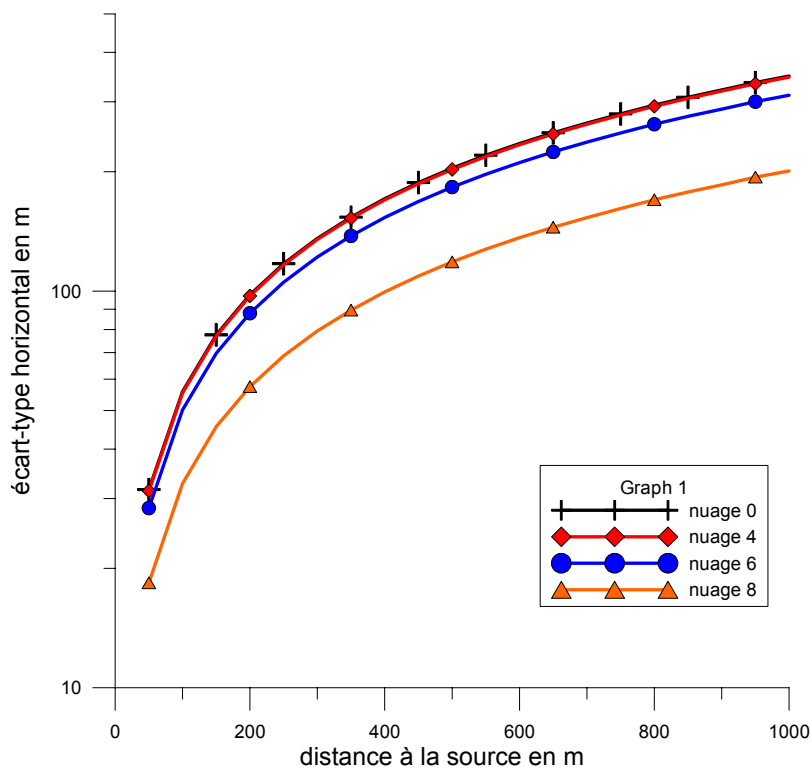


Figure 65 : évolution écart-types horizontaux pour une situation de jour

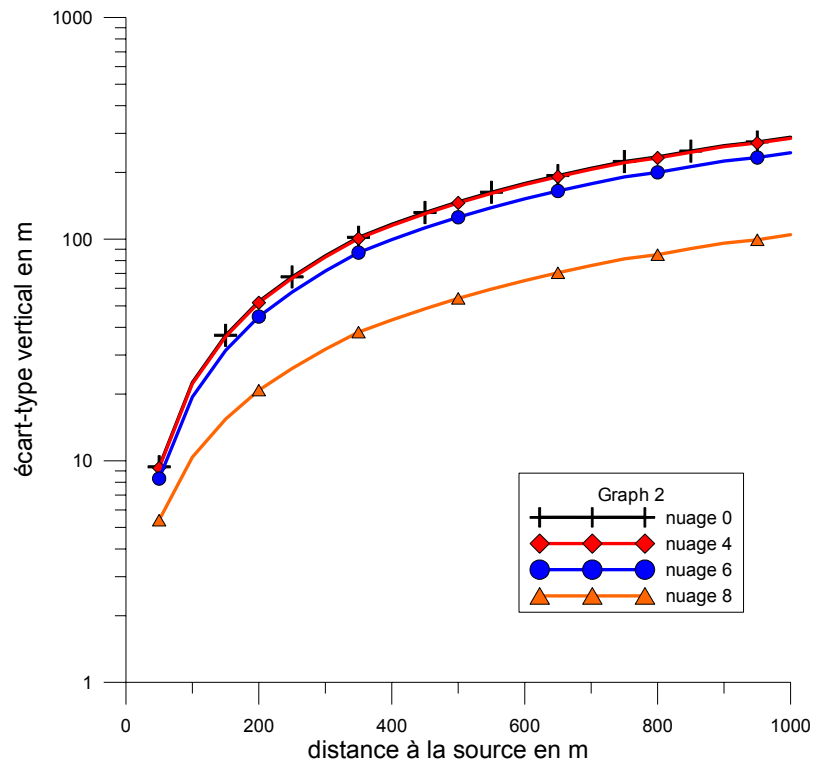


Figure 66 : évolution des écart-types verticaux pour une situation de jour

On remarque que dans les situations de jour (situations habituellement instables ou neutres), lorsque la couverture nuageuse augmente, la stratification tend vers une situation neutre. On remarque que les écarts-types de diffusion horizontaux et verticaux diminuent quand la couverture nuageuse augmente. L'atmosphère devient moins dispersive et la concentration au sol est plus forte lorsque le ciel est couvert que lorsque le ciel est dégagé.

**3.3.5.2. Situation de nuit**

nuit	Couverture nuageuse : 0	Couverture nuageuse : 4	Couverture nuageuse : 6	Couverture nuageuse : 8
1/LMO	0.76	0.52	0.21	0.04
H <sub>cla</sub>	50	50	50	56
stabilité	Très stable	Très stable	stable	neutre

Tableau 15 : paramètres de stabilité obtenus pour différentes couvertures nuageuse dans une situation de nuit

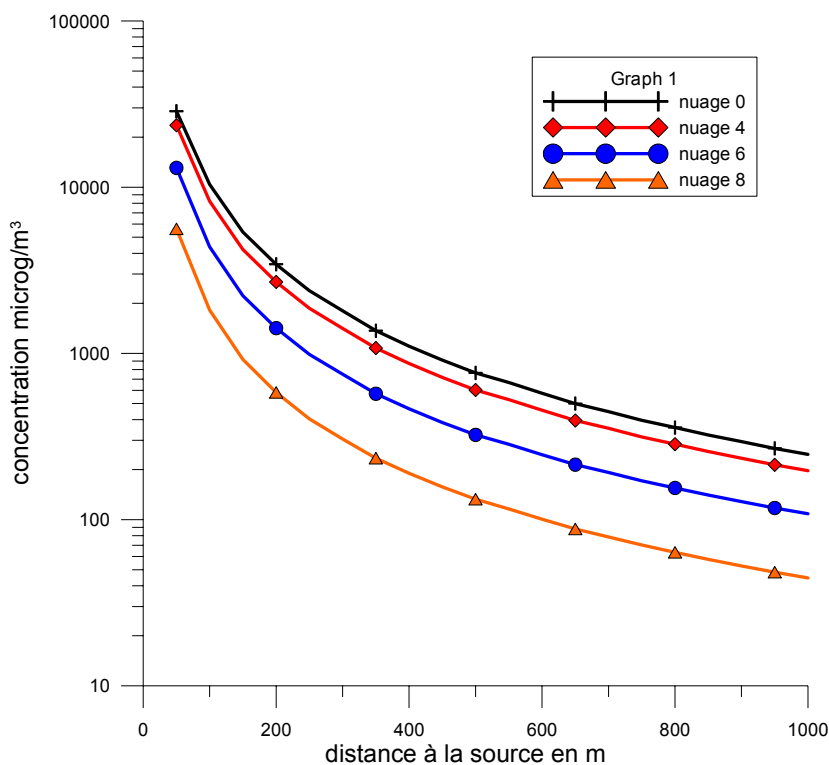


Figure 67 : évolution de la concentration au sol pour différentes couvertures nuageuses dans une situation de nuit

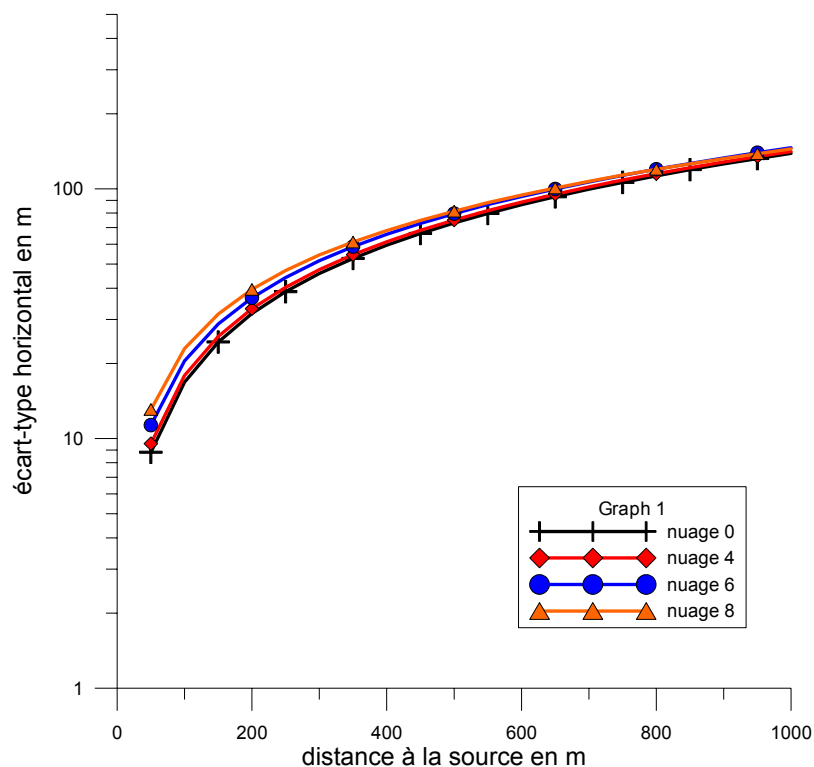


Figure 68 : évolution des écart-types horizontaux pour une situation de nuit

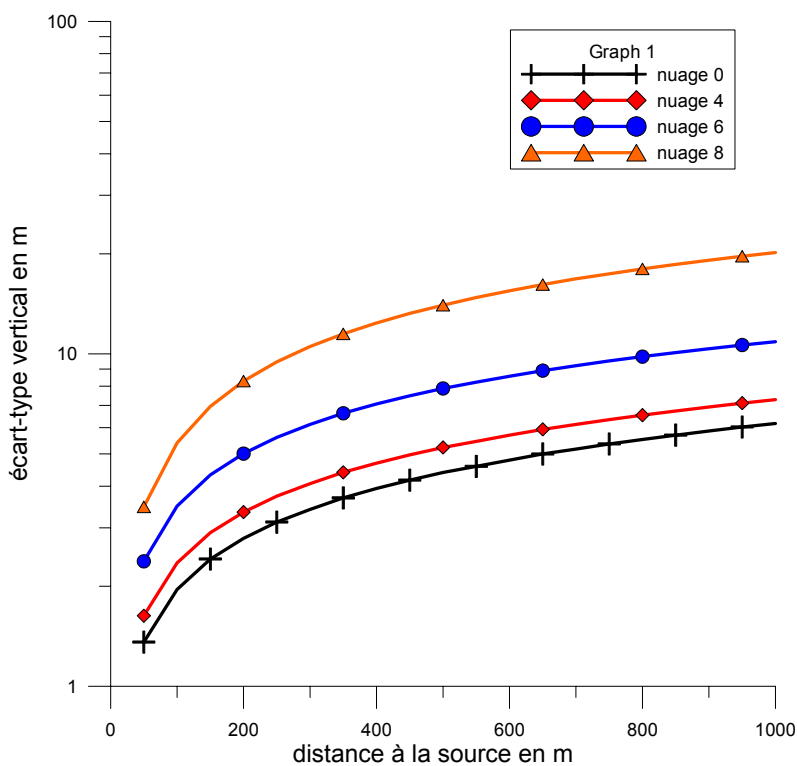


Figure 69 : évolution des écart-types verticaux pour une situation de nuit

Dans les situations de nuit (situations stables) lorsque la couverture nuageuse augmente, la stratification tend vers une situation neutre. On remarque que les écart-types de diffusion horizontaux varient très peu mais les écart-types verticaux augmentent quand la couverture nuageuse augmente. L'atmosphère devient plus dispersive et la concentration au sol est plus faible lorsque le ciel est couvert que lorsque le ciel est dégagé.

**3.3.6. HAUTEUR DE LA COUCHE LIMITE**

La hauteur de la couche limite dépend de l'état de stabilité de la couche limite. Si l'atmosphère est stable, la couche limite est basse alors que si l'atmosphère est instable, la couche limite est haute. D'autre part, le sommet de la couche limite joue le rôle de couvercle, c'est-à-dire que le panache de polluant subit une réflexion sur le sommet de la couche limite. Cependant, si le panache à une énergie cinétique suffisamment importante, il peut traverser le sommet de la couche limite.

**3.3.6.1. Influence de la hauteur de la couche limite sur la concentration**

Les caractéristiques de la source étudiée sont présentées dans le Tableau 16

Source: ponctuelle	Diamètre (D)	Hauteur (H)	Vitesse de rejets (W)	Température (T)	Débit (Q)	Rugosité (R)	Hauteur de la couche limite atmosphérique (hcla)
cheminée	1m	50m	5 (ms <sup>-1</sup> )	50°C	1gs <sup>-1</sup>	0.1m	varie

Tableau 16

La hauteur de la couche limite atmosphérique varie entre 60 et 1500 m. Les concentrations au sol suivant l'axe du panache pour les différentes hauteurs de la couche limite, la concentration maximale en fonction de la hauteur de la couche limite et la fraction de concentration pénétrant la couche limite sont respectivement présentées sur la Figure 70, la Figure 71 et la Figure 72.

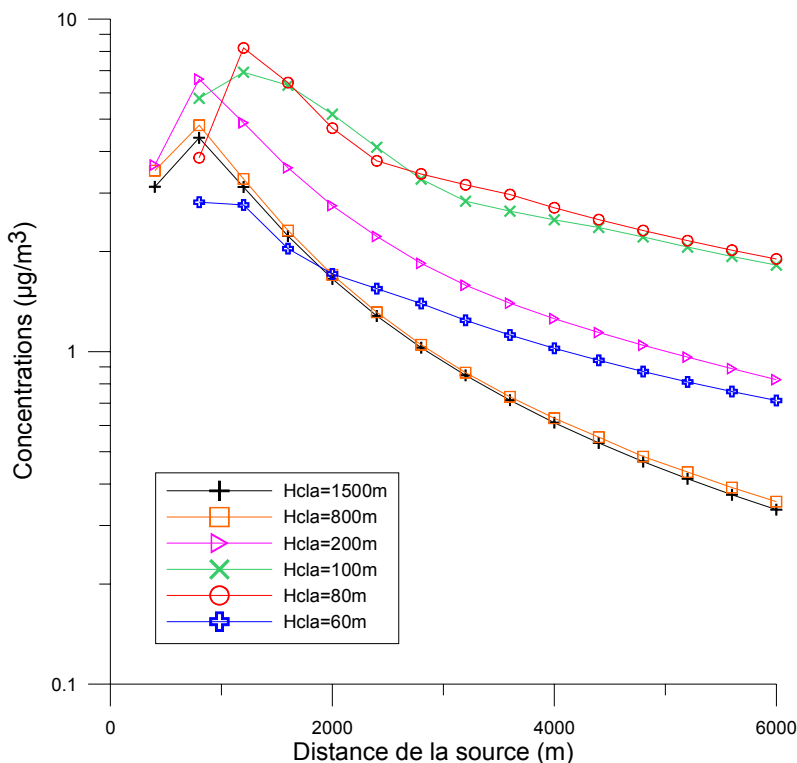


Figure 70 : Evolution de la concentration au sol pour différentes hauteurs de couche limite

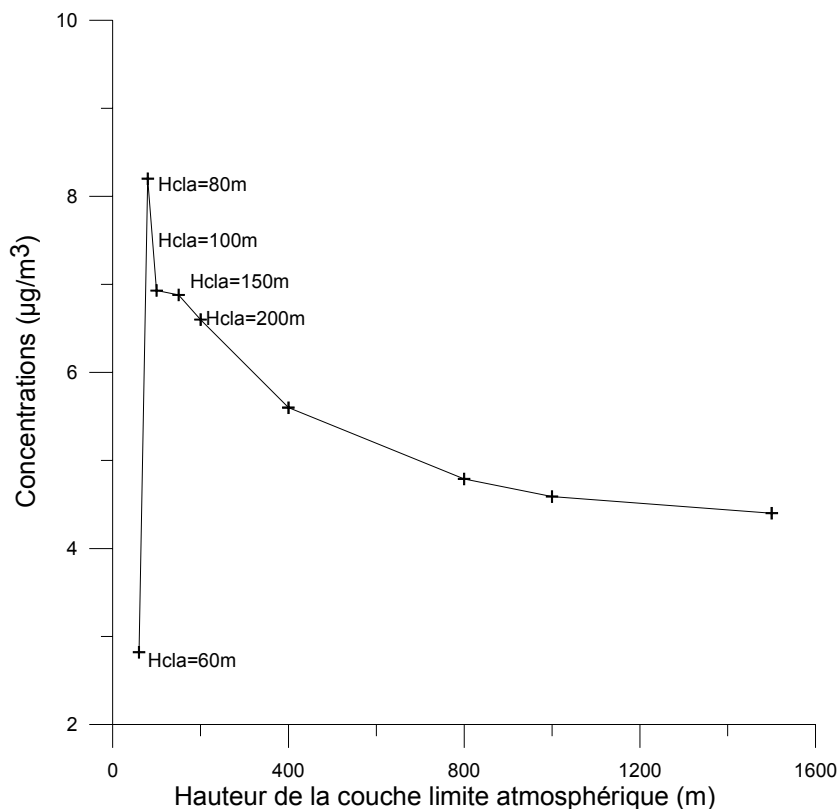


Figure 71 : Concentrations maximales au sol sur l'axe du panache pour différentes hauteurs de la couche limite

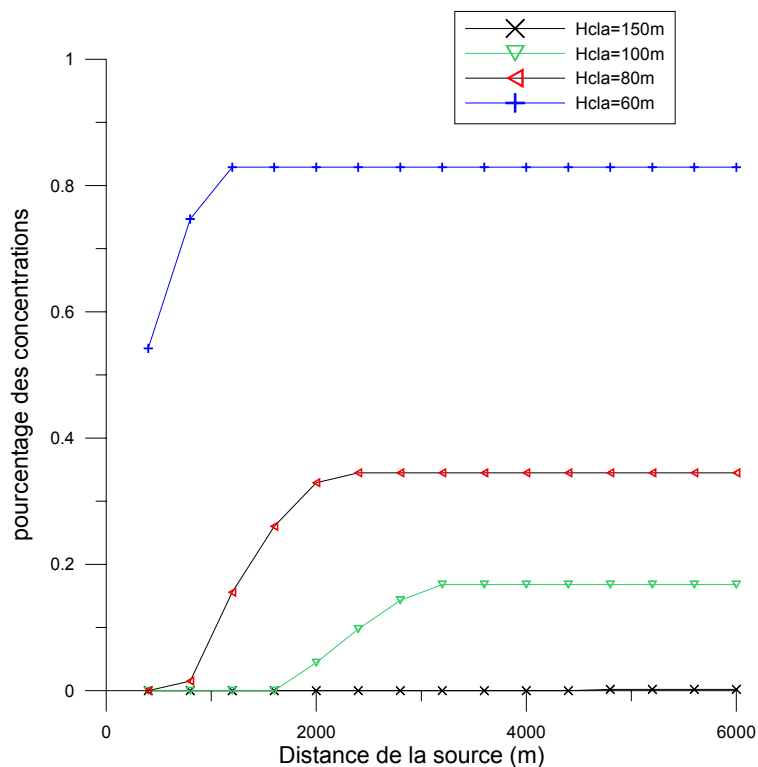


Figure 72 : Fraction de polluant qui pénètre la couche limite pour différentes hauteurs



Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

On observe deux comportements des courbes selon la hauteur de la couche limite.

**1<sup>er</sup> cas : La hauteur de la couche limite est supérieure à 100m.**

Celle-ci est suffisamment haute pour que les polluants restent entre le sol et le sommet de la couche limite. Il n'y a pas de pénétration des polluants dans l'atmosphère libre. Dans ce cas, plus la hauteur de la couche limite est haute plus l'atmosphère est turbulente et plus la concentration au sol est faible. Le maximum de concentration est obtenu pour les mêmes distances.

**2<sup>ème</sup> cas : La hauteur de la couche limite est inférieure à 100 m.**

Une partie du panache pénètre à travers le sommet de la couche limite atmosphérique (Cf. Figure 72). Il y a réflexion d'une partie des polluants par le sommet de la couche limite. Si on regarde la fraction de panache qui pénètre dans l'atmosphère libre (PINV), on obtient une valeur non nulle. Les concentrations au sol sur l'axe du panache dépendent de la fraction de concentration pénétrant le sommet de la couche limite atmosphérique. Ainsi, si cette fraction est importante, la concentration au sol est faible (c'est le cas pour : hcla=60m); dans le cas contraire, la concentration devient plus importante (c'est le cas pour : hcla=80,100 et 150m).

**3.3.6.2. Paramètres influençant la hauteur de la couche limite atmosphérique**

La hauteur de la couche limite est due à la stabilité et donc aux échanges radiatifs. La nuit, en situation stable, la couche limite est basse (entre 50 et 200m), lorsque le jour se lève, le flux de chaleur sensible devient positif et il se crée une couche convective dont la hauteur peut atteindre 3000m.

**3.3.7. PRECIPITATIONS**

La présence de précipitations conduit à un processus de lessivage du panache par les gouttes de pluies (également appelé "dépôt humide") qui entraîne une diminution de la concentration dans l'air (cf. Etat de l'art). L'amplitude de la diminution de concentration dépend de l'intensité des précipitations. Nous avons représenté sur la Figure 73 et la Figure 74 la modification de la concentration dans un panache (émis au niveau du sol) pour différentes valeurs du taux de précipitation. Les calculs ont été réalisés pour une constante de lessivage de  $10^{-4} \text{ mm}^{-1} \cdot \text{h} \cdot \text{s}^{-1}$ . (valeur caractéristique des constantes utilisées dans la plupart des modèles). On constate que pour des pluies fortes ( $Pr > 10 \text{ mm/h}$ ), l'influence du lessivage sur la concentration peut s'avérer assez importante.

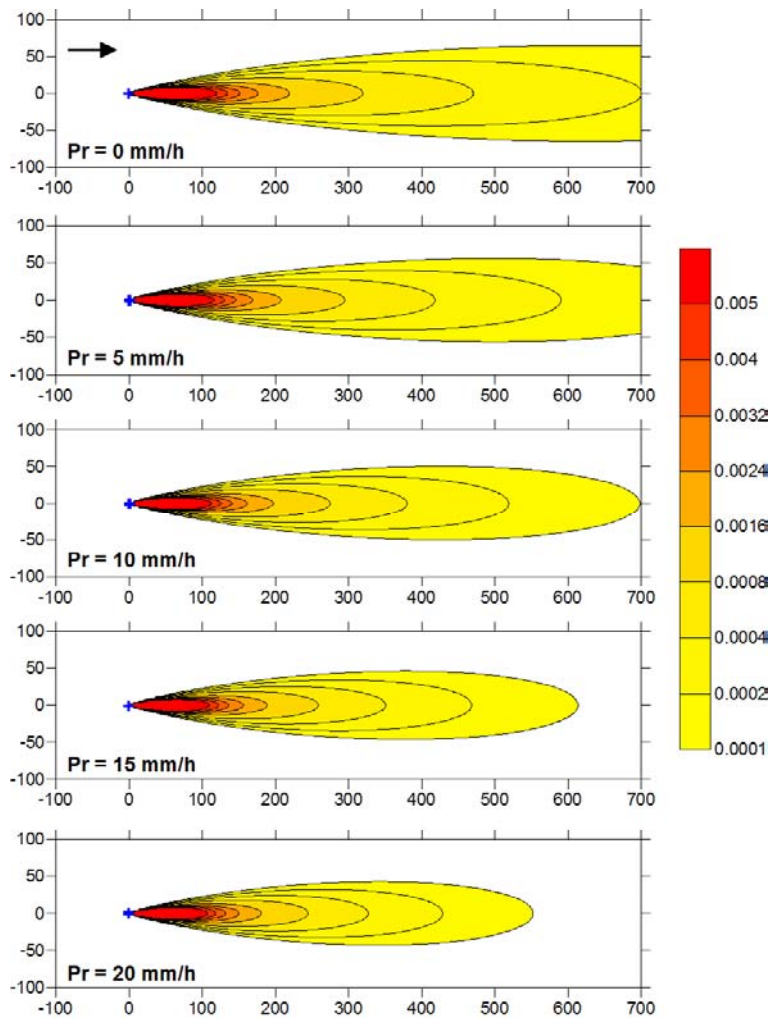


Figure 73 : Influence de l'intensité des précipitations sur le champ de concentration au niveau du sol

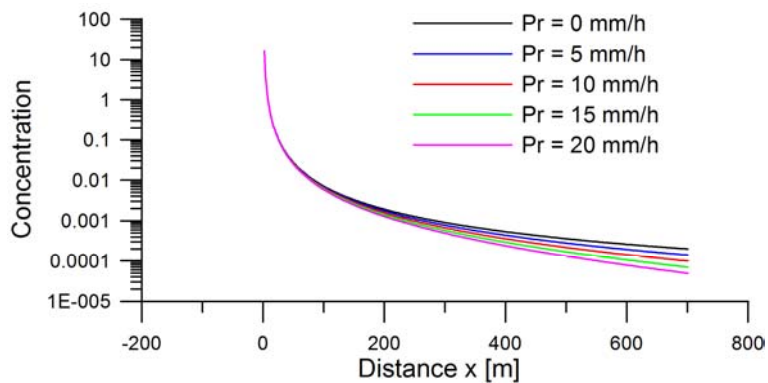


Figure 74 : Influence de l'intensité des précipitations sur la concentration dans l'axe du panache

### 3.3.8. REPRESENTATIVITE DES MESURES METEOROLOGIQUES

Les mesures météorologiques utilisées pour les études d'impact proviennent le plus souvent de stations Météo France. Ces stations ne sont pas toujours à proximité des sites industriels, il convient alors de se poser la question de la représentativité des mesures météorologiques pour l'étude. Plusieurs cas sont envisageables.

- Le site de mesure météorologique et le site industriel sont situés dans une zone où il n'y a pas de relief. Les mesures météorologiques peuvent être néanmoins différentes de la météorologie sur le site industriel si l'occupation des sols est différente. En effet, les mesures Météo France sont généralement effectuées sur des sites recouverts d'herbe donc de rugosité faible. Or les sites industriels, s'ils sont situés en zone urbaine ont une rugosité importante, le profil de vent n'est donc pas le même. Il convient alors d'apporter une correction au module du vent pour tenir compte de ce changement d'occupation des sols entre les 2 sites. (cf Etat de l'art ch 3.2.2.1). Une différence de l'occupation des sols peut aussi avoir un impact sur la température, mais il ne s'agit que d'un biais, les variations de température restant généralement les mêmes entre les deux sites.
- Le site de mesure météorologique et le site industriel sont situés dans une zone de relief. Si les 2 sites sont soumis au même régime d'écoulement (ils sont dans une même vallée) on peut considérer que le vent mesuré sera représentatif du vent sur le site industriel. Si les 2 sites sont dans une même vallée, mais que cette vallée change de direction, la vitesse du vent sera sans doute assez proche sur les 2 sites, mais la direction sera différente. Dans tous les autres cas (les sites sont séparés par un relief ou les sites sont à des altitudes différentes) les mesures météorologiques de la station ne seront pas représentatives du site industriel. Il est alors nécessaire de déterminer la météorologie sur le site industriel, soit en effectuant de nouvelles mesures plus proches du site, soit en appliquant un modèle météorologique.

### 3.3.9. VARIABILITE DES CONDITIONS METEOROLOGIQUES

Pour modéliser la dispersion atmosphérique sur le long terme, il est possible d'utiliser les données météorologiques séquentielles ou des données statistiques sous forme de rose des vents. Suivant le modèle utilisé, il n'est parfois pas possible de traiter des données météorologiques séquentielles en raison des temps de calcul. D'autre part, les données statistiques sont moins coûteuses que les données séquentielles. C'est pourquoi il est parfois intéressant de faire un calcul à partir d'une rose des vents qui coûte beaucoup moins chère.

Nous effectuons une analyse comparative des concentrations entre les données météorologiques et la rose des vents. La source choisie présente les caractéristiques décrites dans le Tableau 17.

Source	Hauteur	Diamètre	Débit de la source	Vitesses des rejets	Température d'éjection du gaz
cheminée	50m	1 m	1g/s	5 ms <sup>-1</sup>	50°C

Tableau 17

Les données météorologiques utilisées sont celle de la ville de Lyon pour l'année 2003.

- Données horaires

Les données horaires comptent plusieurs paramètres principaux tel que la vitesse, la direction du vent, la température, la couverture nuageuse et la pluviométrie.

- La rose des vents

Pour générer la rose des vents, on procède de la manière suivante : on choisit 3 intervalles de vitesses des vents [0, 3 m/s] ; [4 ,7 m/s] et supérieur a 7m/s. Pour chaque direction et pour chaque vitesse des vents, on calcule la fréquence des vitesses correspondante. La rose des vents ainsi obtenue est présentée sur la Figure 75.

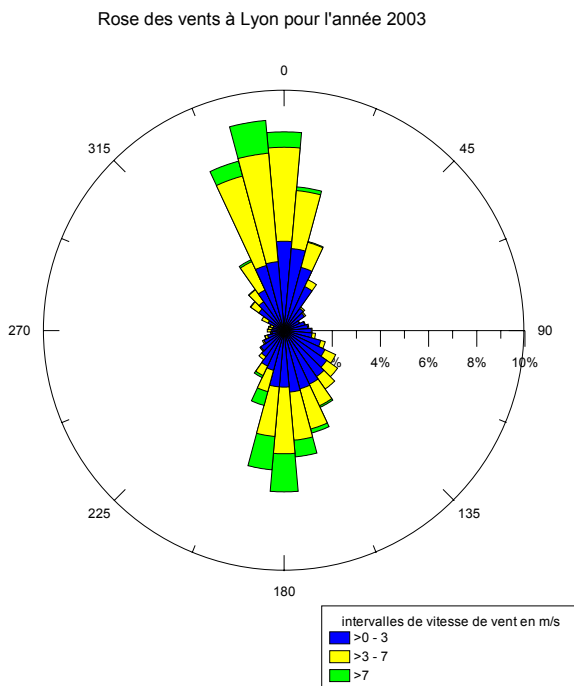


Figure 75 : Rose des vents obtenue à partir des données séquentielles

Pour le calcul, on a choisi une vitesse de 2 m/s pour représenter le premier intervalle, de 5 m/s pour le deuxième et de 9 m/s pour le troisième. Il est aussi nécessaire de préciser un paramètre de stabilité. Nous avons considéré une situation neutre pour toute la rose des vents.

Avant de pouvoir visualiser le résultat du calcul à partir de la rose des vents et le comparer au calcul séquentiel, il faut faire la moyenne pondérée des concentrations obtenues pour chaque vitesse et pour chaque direction.

### Résultats

Les temps de calcul avec les deux méthodes sont différents. Le calcul avec les données séquentielles dure environ 15 min, alors que le calcul avec la rose des vents dure 2 min.

On obtient deux panaches assez similaires (cf Figure 76 et Figure 77). On vérifie bien dans les deux cas, la dominance nord-sud des vents. Cependant, le panache correspondant à la rose des vents diffère du panache correspondant aux données séquentielles en trois points essentiels :

- Le panache de la rose des vents retombe plus loin de la source.
- Le panache de la rose des vents est plus étalé.
- Le panache de la rose des vents montre un pique de concentration correspondant à un vent de sud qui est assez important alors qu'il est à peine visible sur le panache des données séquentielles.

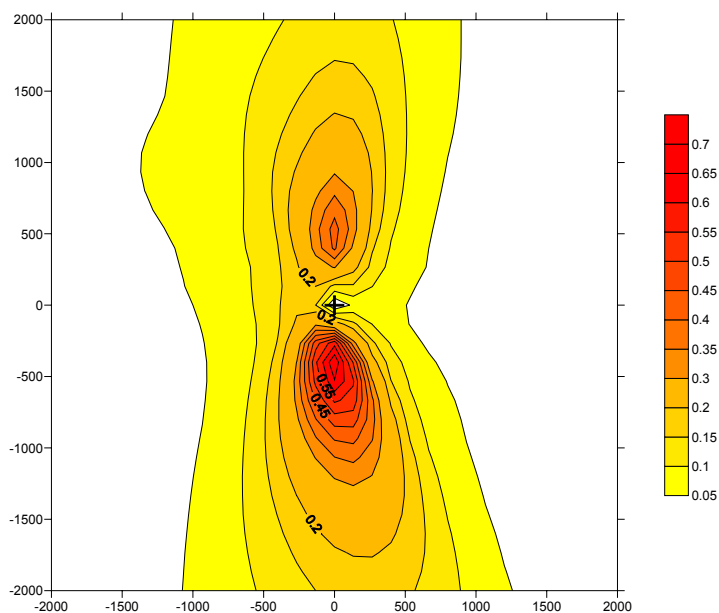


Figure 76 : Concentration moyenne annuelle ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) obtenue à partir de données météorologiques séquentielles

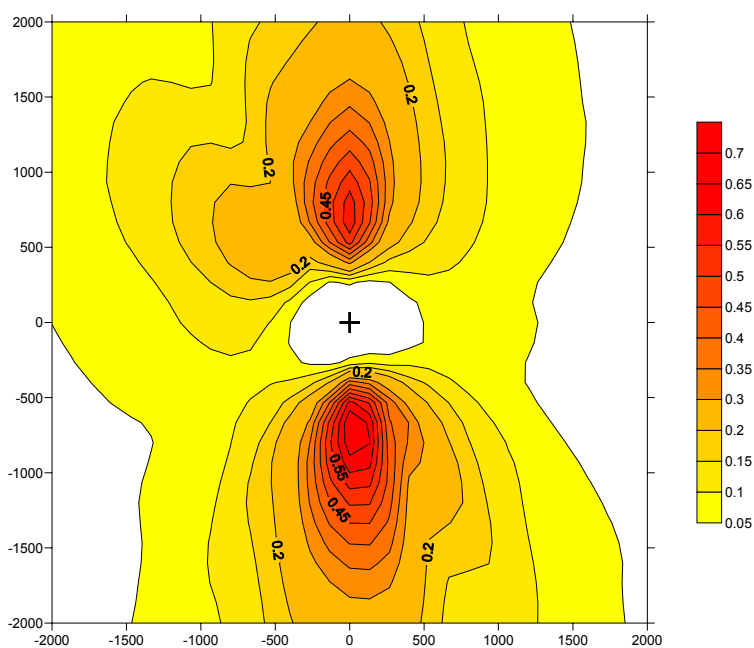


Figure 77 : Concentration moyenne annuelle ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) obtenue à partir d'une rose des vents

### Interprétation des résultats

Le fait que le panache de la rose des vents retombe plus loin que celui du calcul séquentiel est probablement dû au choix des vitesses pour chaque intervalle. Une vitesse de 2 m/s pour représenter l'intervalle des vents faibles est peut-être un peu trop élevée. Pour vérifier cela, nous avons modifié les données de vitesse de vent séquentielles de la manière suivante :

- si  $0 < V \leq 3$  on affecte la valeur 2 m/s
- si  $3 < V \leq 7$  on affecte la valeur 5 m/s
- si  $V > 7$  on affecte la valeur 9 m/s

On effectue ensuite un nouveau calcul sur le long terme avec ces nouvelles données séquentielles. On obtient le panache représenté sur la Figure 78.

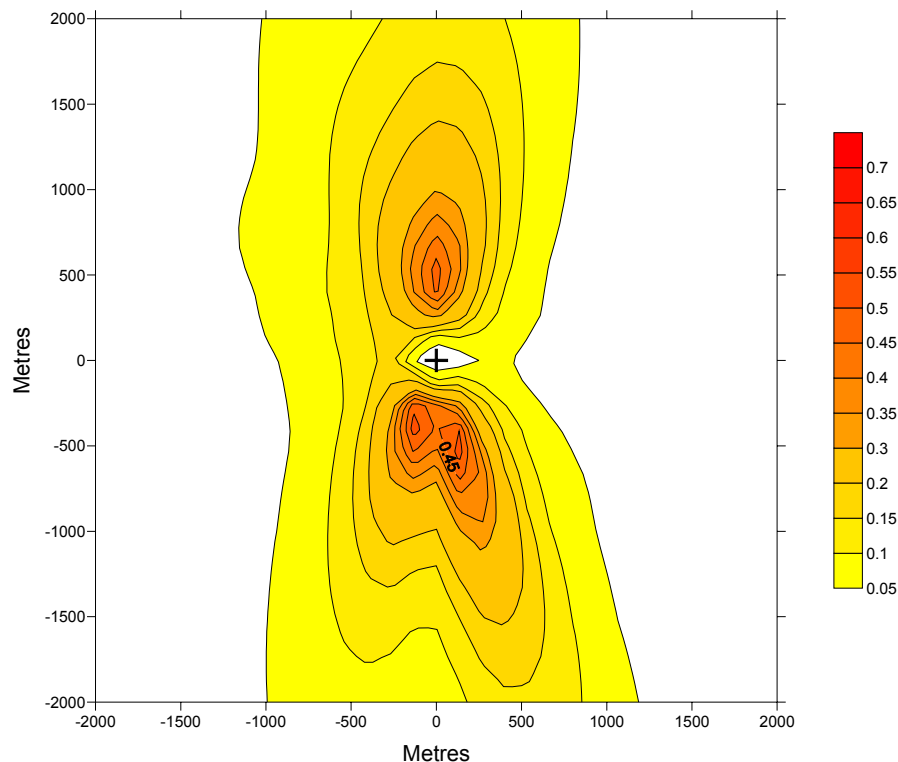


Figure 78 : Concentration moyenne ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) obtenue à partir des données séquentielles modifiées

On voit l'apparition d'un espace de concentration nulle autour de la source, plus petit que celui observé sur la figure de la rose des vents. L'existence de celui-ci est due à la dégradation de l'information sur les vitesses. En effet, un panache pour une vitesse de  $1 \text{ ms}^{-1}$  retombe plus près de la source par rapport à un panache pour une vitesse de  $2 \text{ ms}^{-1}$ , tout étant égal par ailleurs. Or en choisissant  $2 \text{ ms}^{-1}$  pour l'intervalle des vents faibles, on relève toutes les vitesses à cette valeur donc le panache retombe plus loin de la source.

Une des hypothèses de la simulation à partir de la rose des vents est d'imposer une stabilité neutre. Nous nous sommes donc intéressés à l'impact sur le résultat de cette hypothèse. Nous avons donc modifié le fichier de données météorologiques de la manière suivante : nous avons supprimé l'information sur la couverture nuageuse et la température au sol et nous avons imposé comme paramètre de stabilité l'inverse de la longueur de Monin Obukhov. Nous avons fixé cette valeur à  $0.005 \text{ m}^{-1}$  pour toutes les heures de l'année, ce qui correspond à une situation proche de la neutralité. Nous obtenons ainsi le panache représenté sur la Figure 79.

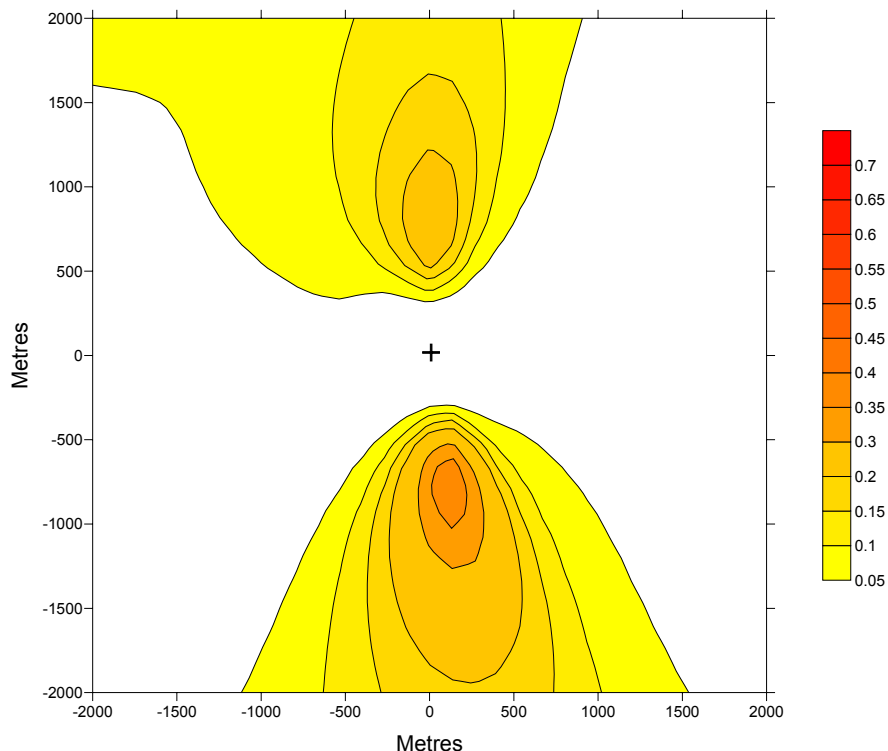


Figure 79 : Concentration moyenne ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) obtenue en imposant une stabilité neutre

On observe que le panache retombe plus loin de la source comme dans le cas de la rose des vents. On peut donc dire que la dégradation de l'information sur les paramètres qui permettent de déterminer la stabilité est pénalisante pour la qualité du résultat.

#### Bilan

L'utilisation d'une rose des vents pour calculer une concentration moyenne présente des limites. Le choix des vitesses moyennes pour définir la rose des vents est important. Enfin, on peut améliorer les résultats de la rose des vents en intégrant un critère de stabilité. Par exemple, il peut être intéressant de calculer 3 roses des vents : une pour les situations stables, une pour les situations neutres et une pour les situations instables.

### 3.4. INFLUENCE DES CARACTERISTIQUES DU SITE

#### 3.4.1. PRESENCE DU SOL ET PROCESSUS DE DEPOT SEC

Au contact du sol, certains polluants atmosphériques réagissent chimiquement avec les composés du sol et sont ainsi captés par la surface (cf. Etat de l'art). Ce mécanisme de dépôt, appelé "dépôt sec" dépend à la fois de la nature du polluant et de la nature du sol. Il est généralement quantifié au moyen d'une vitesse de dépôt, dont les valeurs caractéristiques sont de l'ordre du cm/s. Nous avons représenté sur la Figure 80 et la Figure 81 la modification de la concentration dans un panache (émis au niveau du sol) pour différentes valeurs de la vitesse de dépôt. On constate que l'effet du dépôt sec sur la concentration au sol peut être relativement important. Il est important de noter que si la concentration dans l'air est diminuée par ce processus, la concentration dans le sol augmente si bien que la pollution change de nature mais ne disparaît pas.

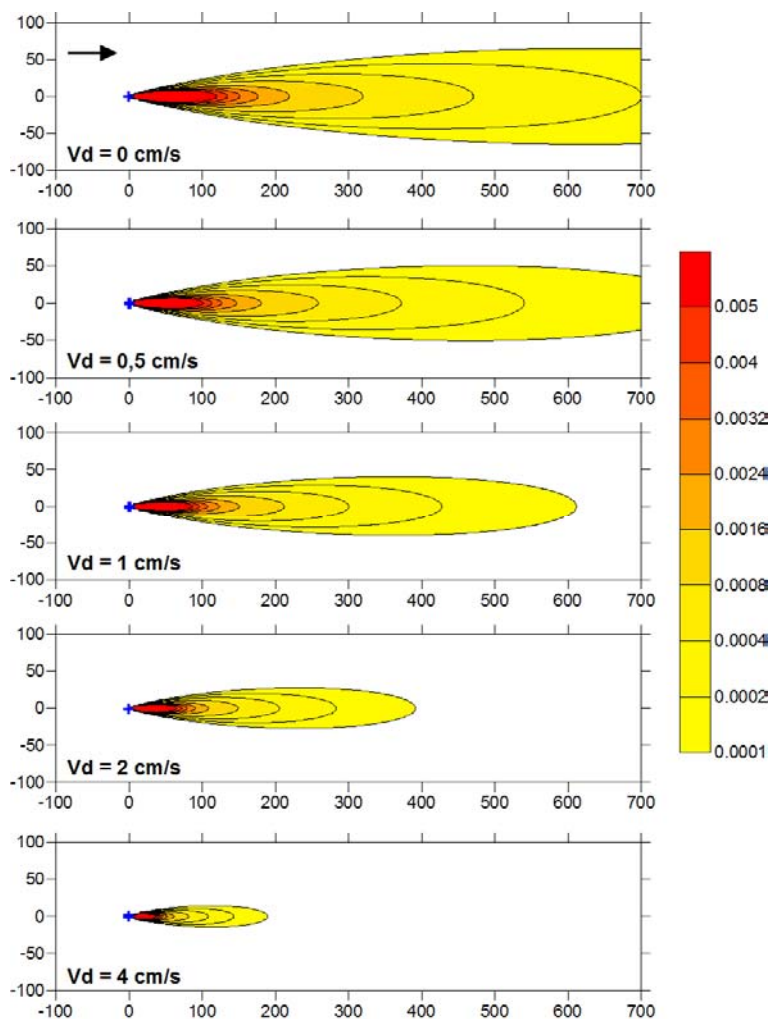


Figure 80 : Influence de l'intensité de la vitesse de dépôt sur le champ de concentration au niveau du sol

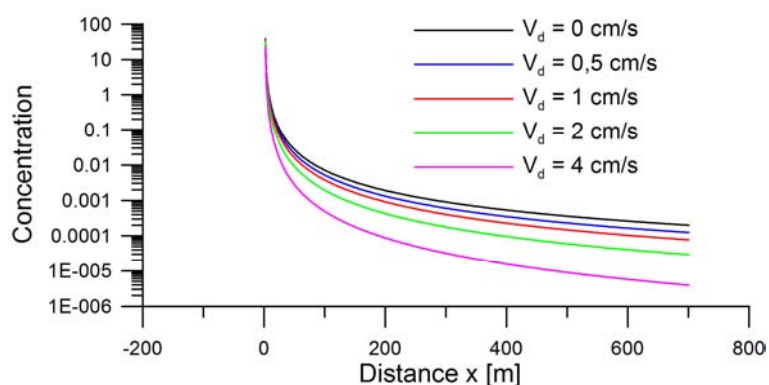


Figure 81 : Influence de l'intensité de la vitesse de dépôt sur la concentration dans l'axe du panache



**3.4.2. RUGOSITE DU SOL**

La source étudiée possède les caractéristiques suivantes (Tableau 18) :

Source: ponctuelle	Diamètre (D)	Hauteur (H)	Vitesse de rejets (W)	Température (T)	Débit de la source (Q)	Rugosité (R)	Hauteur de la couche limite atmosphérique (H <sub>cla</sub> )
cheminée	1m	50m	5 (m.s <sup>-1</sup> )	50 °C	1g.s <sup>-1</sup>	Varie (m)	800m

Tableau 18

La rugosité est une propriété intrinsèque du sol. Un terrain accidenté contenant des obstacles possède une rugosité importante. La rugosité a un impact sur la turbulence à conditions météorologiques égales par ailleurs. Plus la rugosité augmente, plus la turbulence est importante. Cela se traduit par des écarts-types de dispersion plus grands et donc une meilleure dispersion. (Etat de l'art ch 3.2.2.1)

On sait que la rugosité influe sur deux paramètres. D'une part le profil de vent dépend de la rugosité : plus la rugosité est forte plus le freinage du vent par le sol est ressenti à une altitude élevée. D'autre part, la rugosité joue sur la dispersion verticale : plus la rugosité est grande, meilleure est la dispersion. Pour s'affranchir de l'effet de la rugosité sur le profil de vent, nous avons spécifié dans la modélisation que la hauteur de la mesure du vent était égale à la hauteur de la cheminée.

Les valeurs testées sont :  $10^{-3}$ ,  $10^{-2}$ ,  $10^{-1}$ , 0.5, 1 et 1.5 m correspondant respectivement à la surface de la mer, champs vert, champs, steppes, parc, ville et large zone urbaine. La concentration au sol sur l'axe du panache est présentée sur la *Figure 82*. On remarque bien que plus la rugosité est élevée, plus le panache s'étale.

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

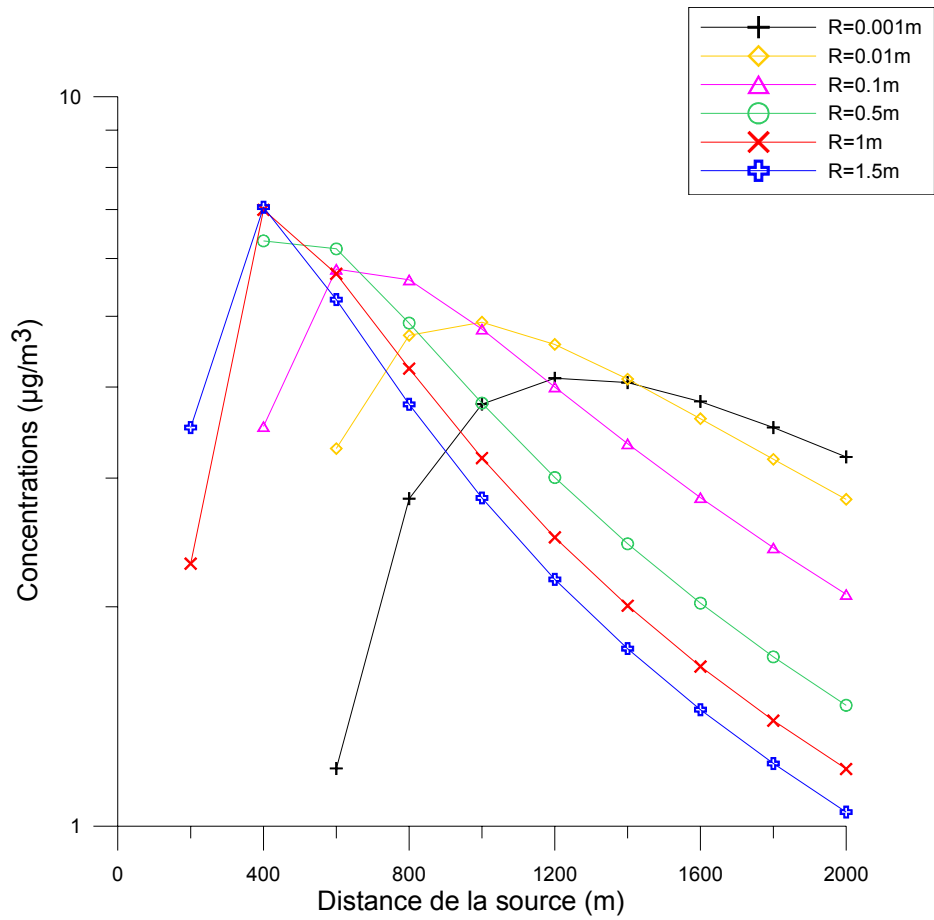


Figure 82 : Evolution de la concentration au sol sur l'axe du panache pour différentes longueurs de rugosité

### 3.4.3. RELIEF

Nous allons étudier dans cette partie l'influence du relief sur la dispersion. La présence de relief perturbe l'écoulement et donc la dispersion (cf Etat de l'art ch 3.3). Cette perturbation dépend des conditions de stabilité de l'atmosphère. Dans une atmosphère neutre ou instable, l'écoulement suit le relief, il est légèrement accéléré au sommet de la colline puis ralenti dans les pentes descendantes. Dans une atmosphère stable, l'écoulement contourne le relief et il se crée une zone de recirculation en aval du relief.

Pour illustrer ces phénomènes, nous avons modélisé avec le code MERCURE (code eulérien d'EDF, résolvant les équations tridimensionnelles des écoulements atmosphériques) une colline de 500m de haut avec une pente d'environ 10°. Nous avons étudié 5 rejets à différentes positions autour de la colline à l'amont et à l'aval dans une situation météorologique neutre et dans une situation stable.

#### 3.4.3.1. *Écoulement stable*

Les caractéristiques de l'écoulement sont les suivantes : le vent en entrée du modèle est un vent à 3m/s à 10m avec un profil log et une rugosité de 0.1m. Le gradient de température est de -6°/km ce qui correspond à une situation stable.

Dans un écoulement stable, les mouvements verticaux n'ont pas le temps de se développer, le fluide contourne donc le relief. Il se crée alors 2 phénomènes : une zone de recirculation en aval de la source où l'écoulement est très perturbé et une zone de sillage assez étendue. Dans notre exemple, la présence du relief perturbe très fortement l'écoulement et donc la dispersion. Pour les 5 sources situées à l'amont ou à l'aval de la colline, on trace le panache de concentration au sol et dans le plan vertical (Figure 84 à Figure 89). La colline est représentée par des lignes de niveaux tous les 50m.

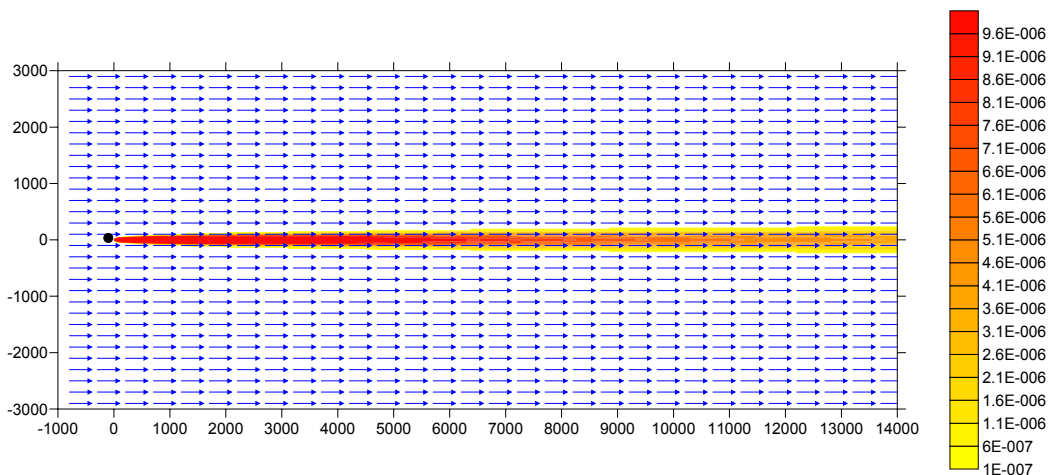


Figure 83 : champ de concentration au sol pour une source dans un écoulement non perturbé

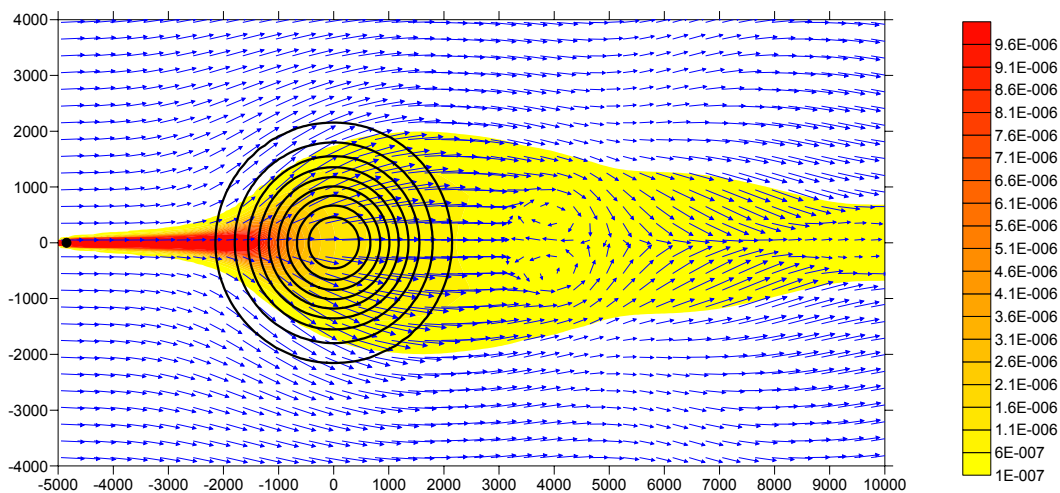


Figure 84 : champ de concentration au sol ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) pour la source située à 5000m en amont du sommet de la colline

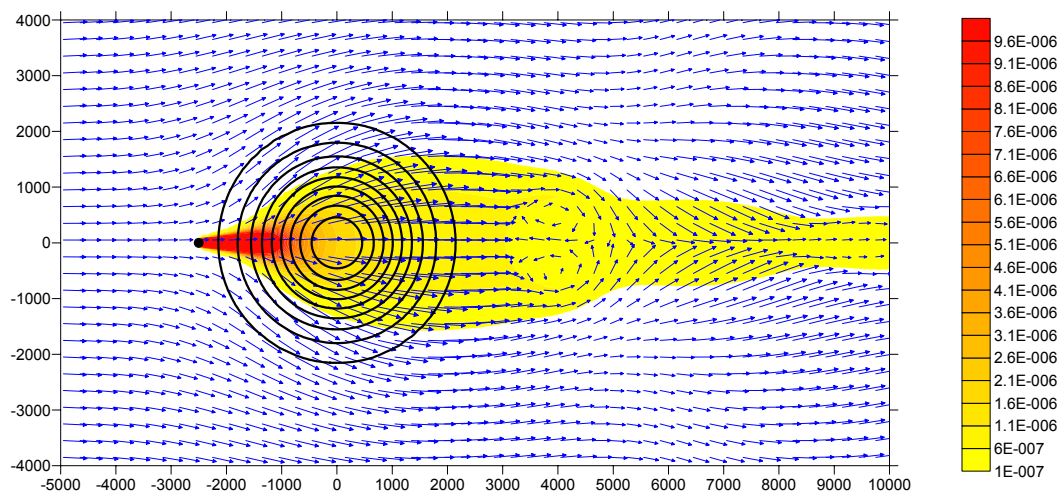


Figure 85 : champ de concentration au sol ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) pour la source située à 2500m en amont du sommet de la colline

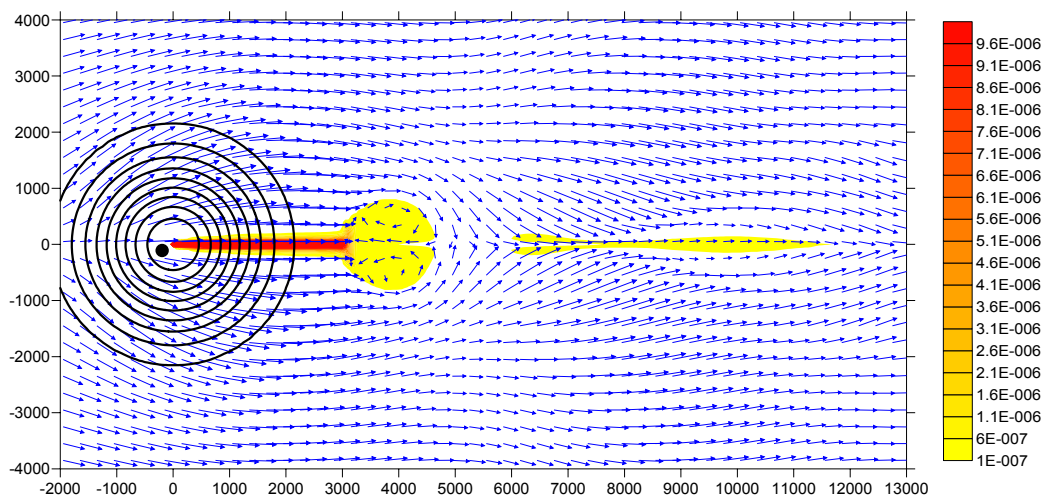


Figure 86 : champ de concentration au sol ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) pour la source située sur le sommet de la colline

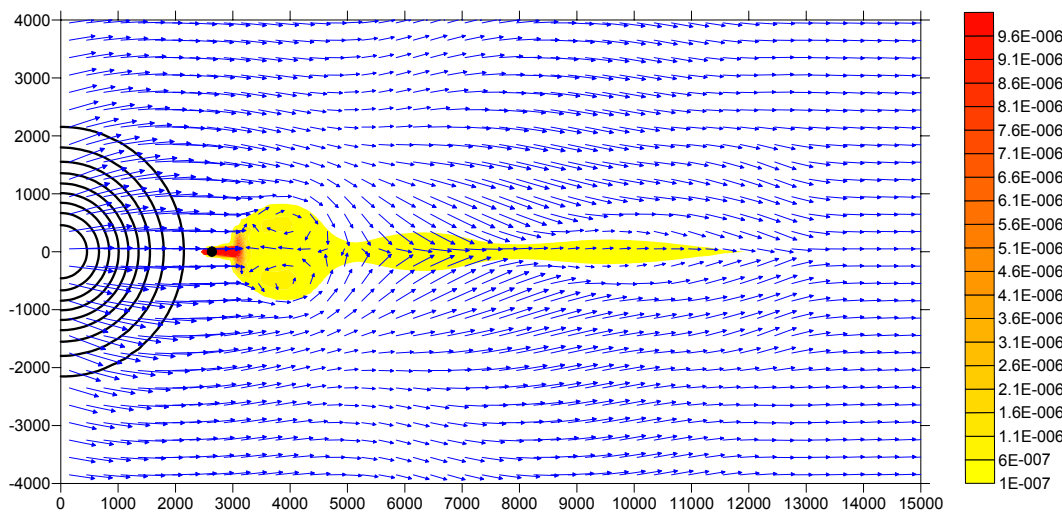


Figure 87: champ de concentration au sol ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) pour la source située à 2500m en aval de la colline

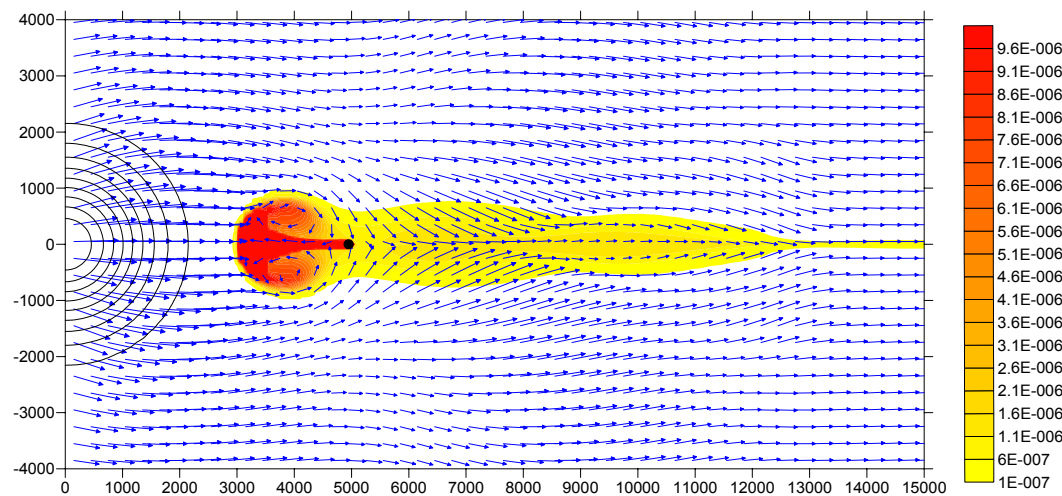


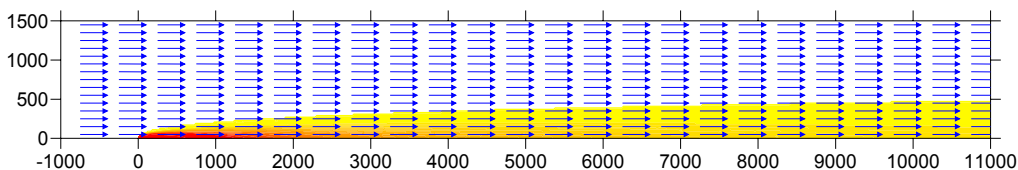
Figure 88 : champ de concentration au sol ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) pour la source située à 5000m en aval de la colline

Lorsque la source est située en amont de la colline, le panache suit l'écoulement qui contourne le relief. Une partie du polluant est ensuite entraînée dans la zone de recirculation.

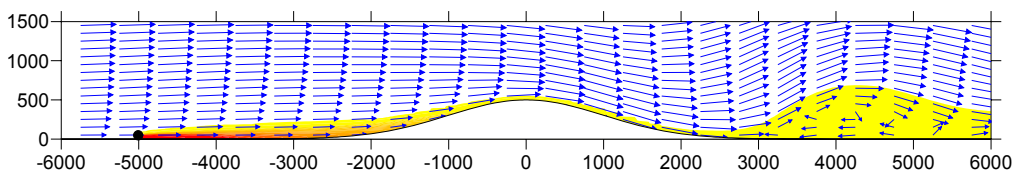
Au sommet de la colline, l'écoulement est légèrement accéléré, le panache issu de la source au sommet se disperse donc normalement, jusqu'à ce qu'il atteigne la zone de recirculation. Le polluant se disperse alors très brutalement.

Lorsque la dernière source est située dans la zone de recirculation, le polluant est emporté dans la direction inverse de l'écoulement moyen. Il se disperse dans la zone de recirculation puis il est advecté vers l'aval. On remarque que dans cette configuration, la présence du relief modifie complètement le champ de concentration.

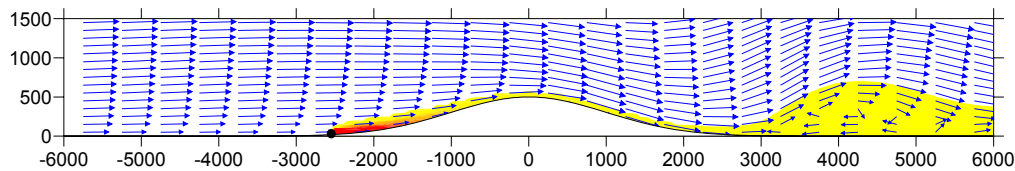
1) source sur terrain plat



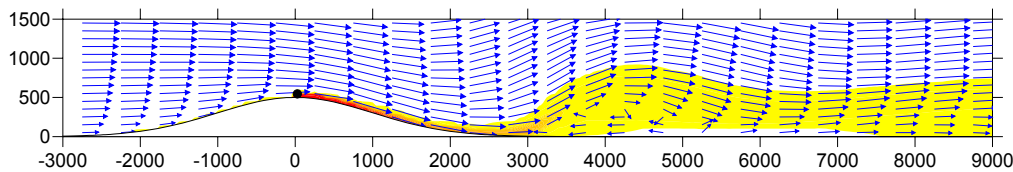
2) source à -5000m



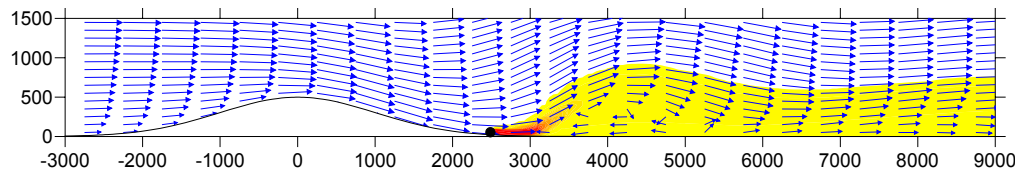
3) source à -2500m



4) source au sommet de la colline



5) source à +2500m



6) source à +5000m

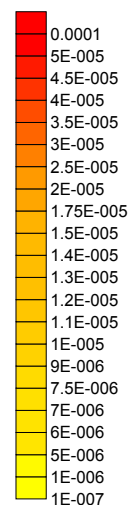
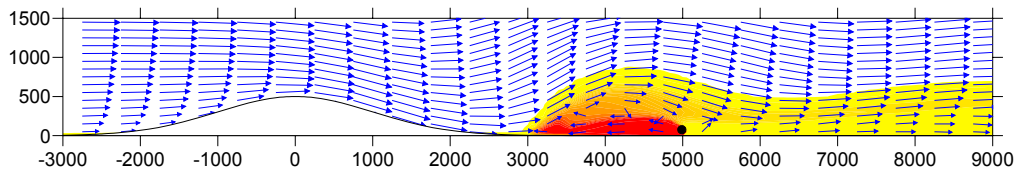


Figure 89 : champ de concentration ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) dans le plan vertical

Les panaches de concentration au sol et dans le plan vertical sont très différents d'un panache issu d'une source sur un terrain plat. Pour évaluer les différences induites par la présence du relief, on compare les concentrations au sol sur l'axe du panache pour chaque source et pour une source sur un terrain plat (Figure 90 à Figure 94).

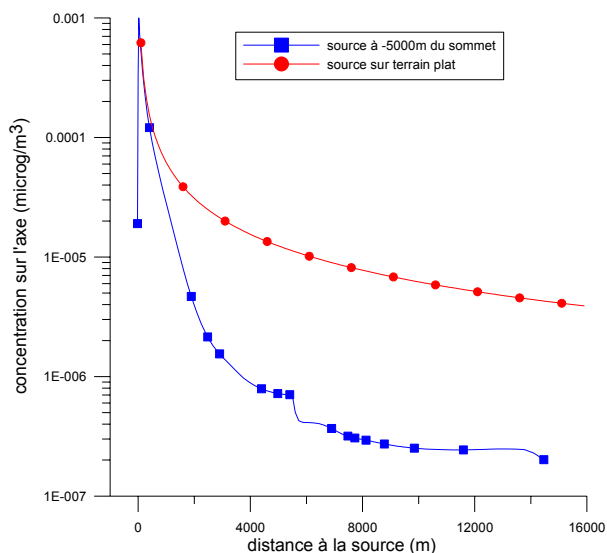


Figure 90 : comparaison des concentrations sur l'axe pour la source à -5000 m du sommet et pour une source sur terrain plat

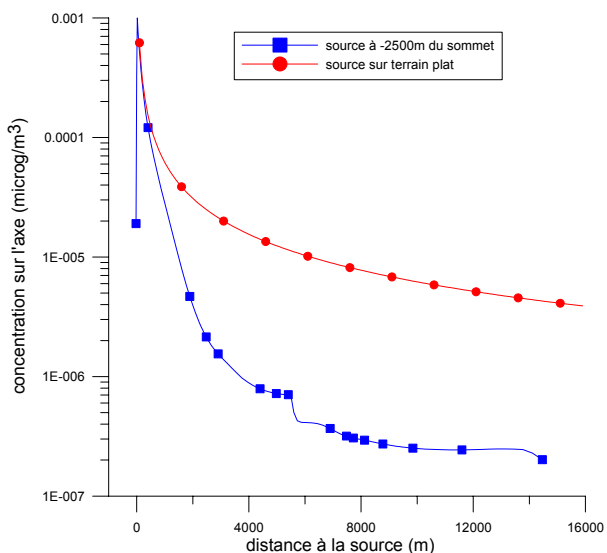


Figure 91 : comparaison des concentrations sur l'axe pour la source à -2500 m du sommet et pour une source sur terrain plat

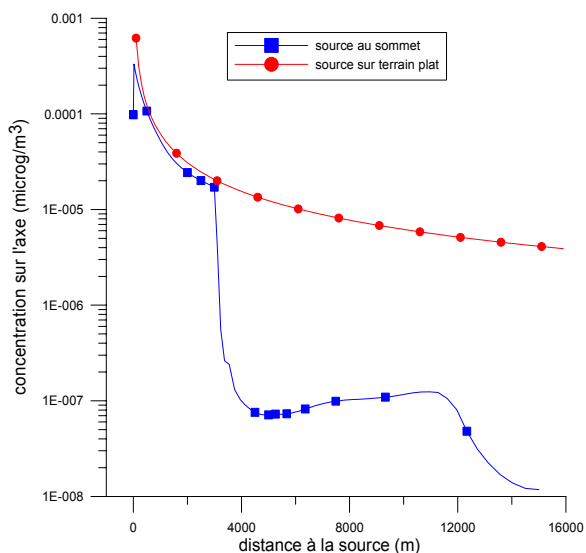


Figure 92 : comparaison des concentrations sur l'axe pour la source au sommet et pour une source sur terrain plat

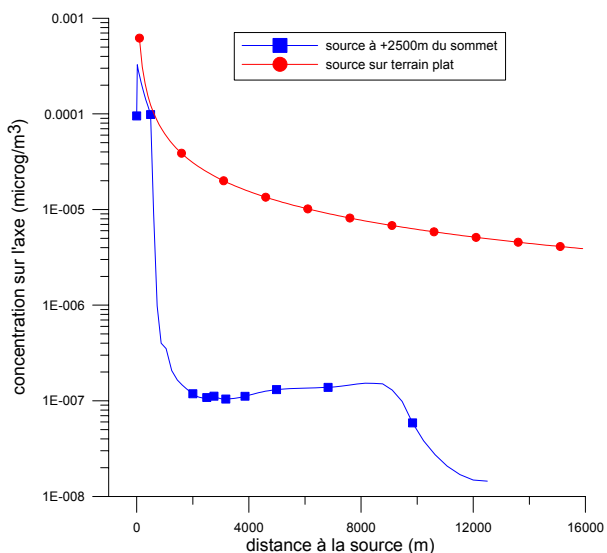


Figure 93 : comparaison des concentrations sur l'axe pour la source à +2500 m du sommet et pour une source sur terrain plat

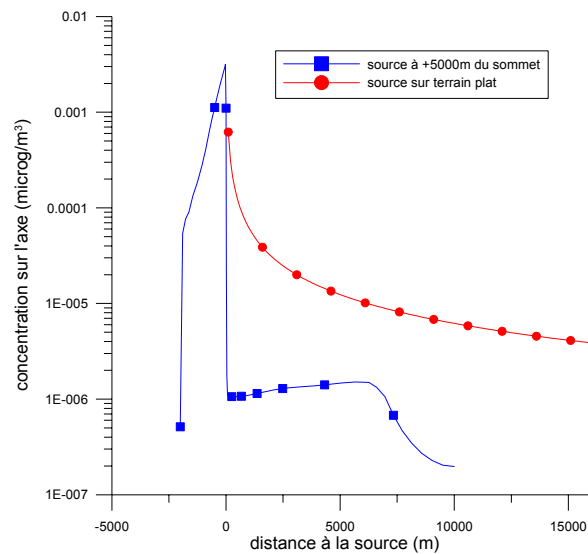


Figure 94 : comparaison des concentrations sur l'axe pour la source à +5000 m du sommet et pour une source sur terrain plat

Pour les sources situées en aval du relief, le panache contourne le relief, la concentration sur l'axe est donc plus faible que dans le cas d'une source sur terrain plat. En revanche, la concentration sur les flans de la colline est plus élevée qu'en l'absence de relief. Pour les sources situées au sommet de la colline et à 2500m en aval du sommet, on distingue 2 zones :

- au voisinage de la source la concentration au sol est très proche de la concentration pour une source sur terrain plat.
- A l'approche de la zone de recirculation qui forme un gros tourbillon, le polluant est fortement dispersé et la concentration au sol chute brutalement.

La source située à 5000m en aval du sommet de la colline est dans la zone de recirculation. La concentration en amont de la source est donc assez élevée. En aval de la source, la concentration sur l'axe est plus faible que dans le cas d'une source sur terrain plat.



### **3.4.3.2.    *Ecoulement neutre***

Les caractéristiques de l'écoulement sont les suivantes : le vent en entrée du modèle est un vent à 3m/s à 10m avec un profil log et une rugosité de 0.1m. Le gradient de température est de -9.8°/km ce qui correspond à une situation neutre.

Dans un écoulement neutre, le fluide passe au dessus du relief. A l'amont de la colline, le vent est légèrement ralenti. Au sommet de la colline, le vent est nettement accéléré puis à l'aval de la colline, on observe un déficit de vitesse qui peut parfois même conduire à une zone de recirculation. Lorsqu'on s'éloigne du relief, l'écoulement retrouve rapidement ses caractéristiques initiales. Pour les 5 sources situées à l'amont ou à l'aval de la colline, on trace le panache de concentration au sol et dans le plan vertical (Figure 96 à Figure 101).

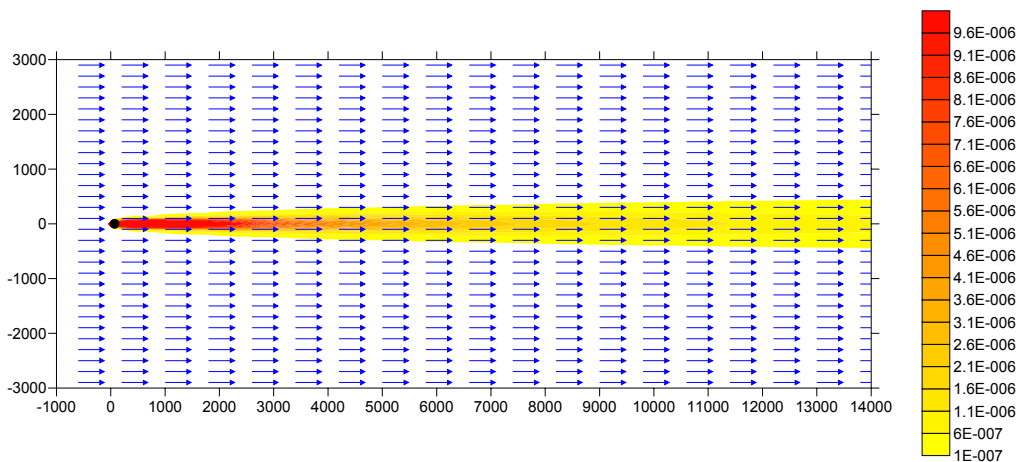


Figure 95 : champ de concentration au sol ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) pour un écoulement non perturbé

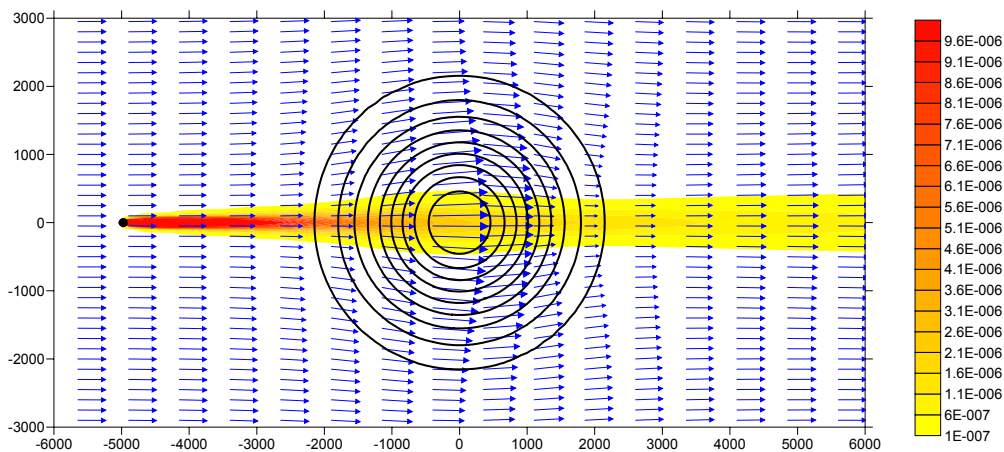


Figure 96 : champ de concentration au sol ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) pour la source située à 5000m en amont de la colline

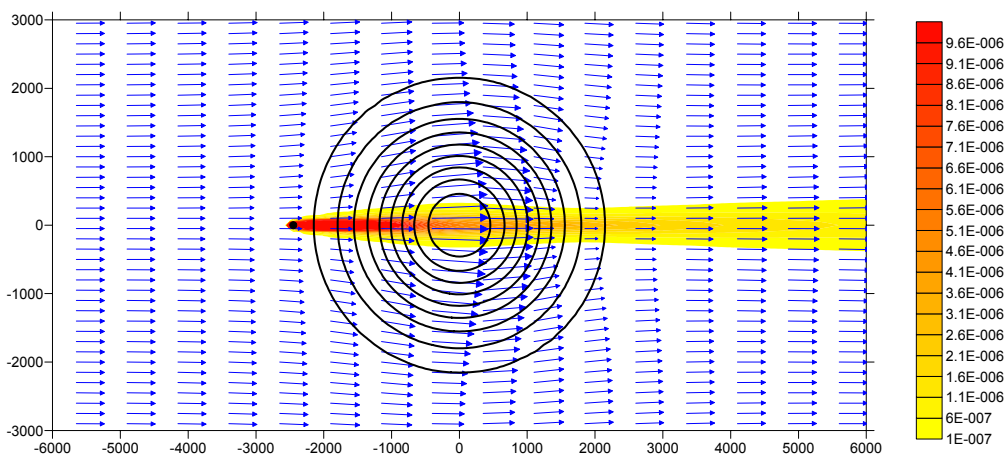


Figure 97 : champ de concentration au sol ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) pour la source située à 2500m en amont de la colline

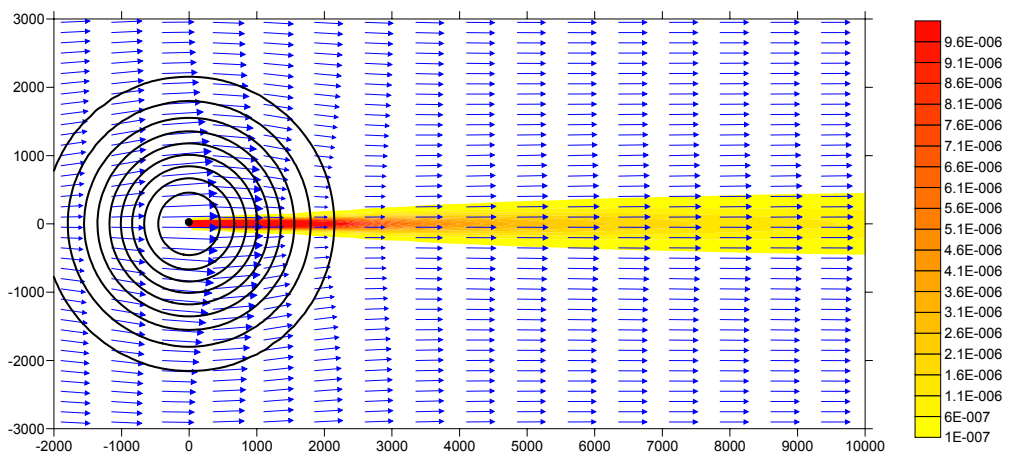


Figure 98 : champ de concentration au sol ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) pour la source située au sommet de la colline

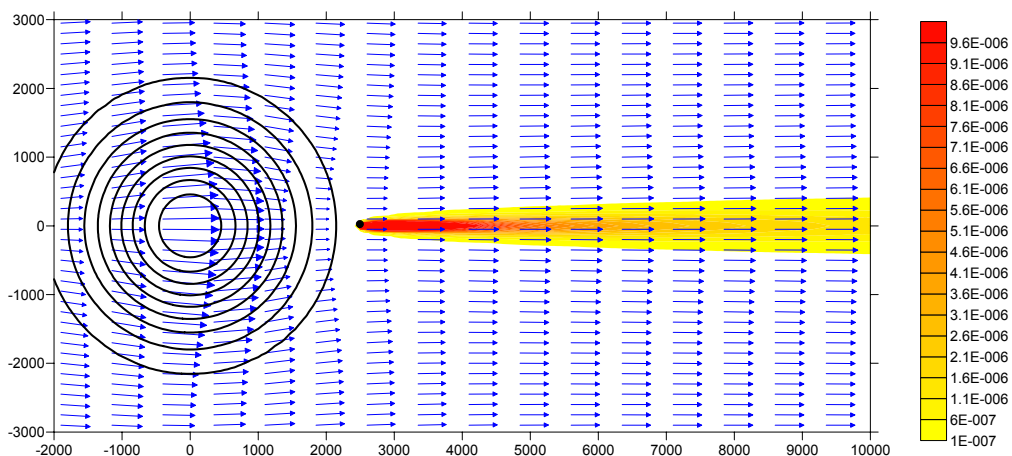


Figure 99 : champ de concentration au sol ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) pour la source située au sommet à 2500m du sommet en aval

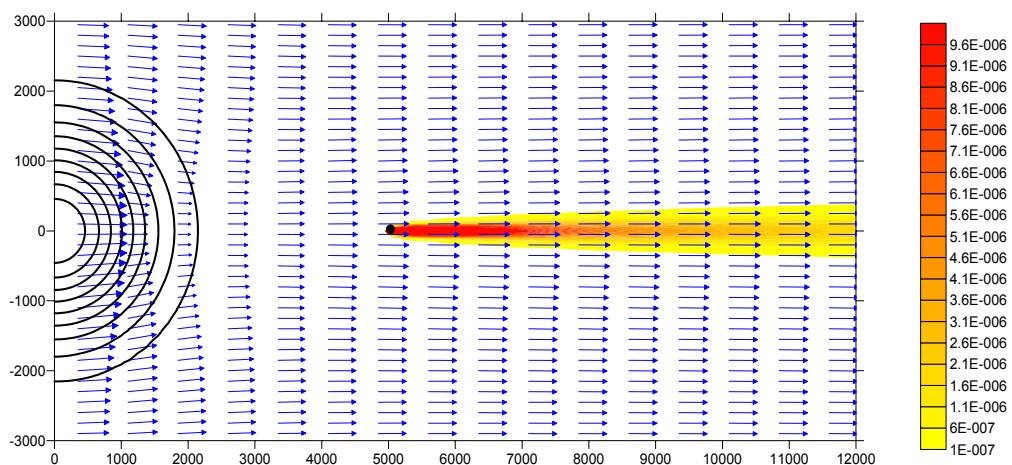


Figure 100 : champ de concentration au sol ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) pour la source située à 5000m en aval

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

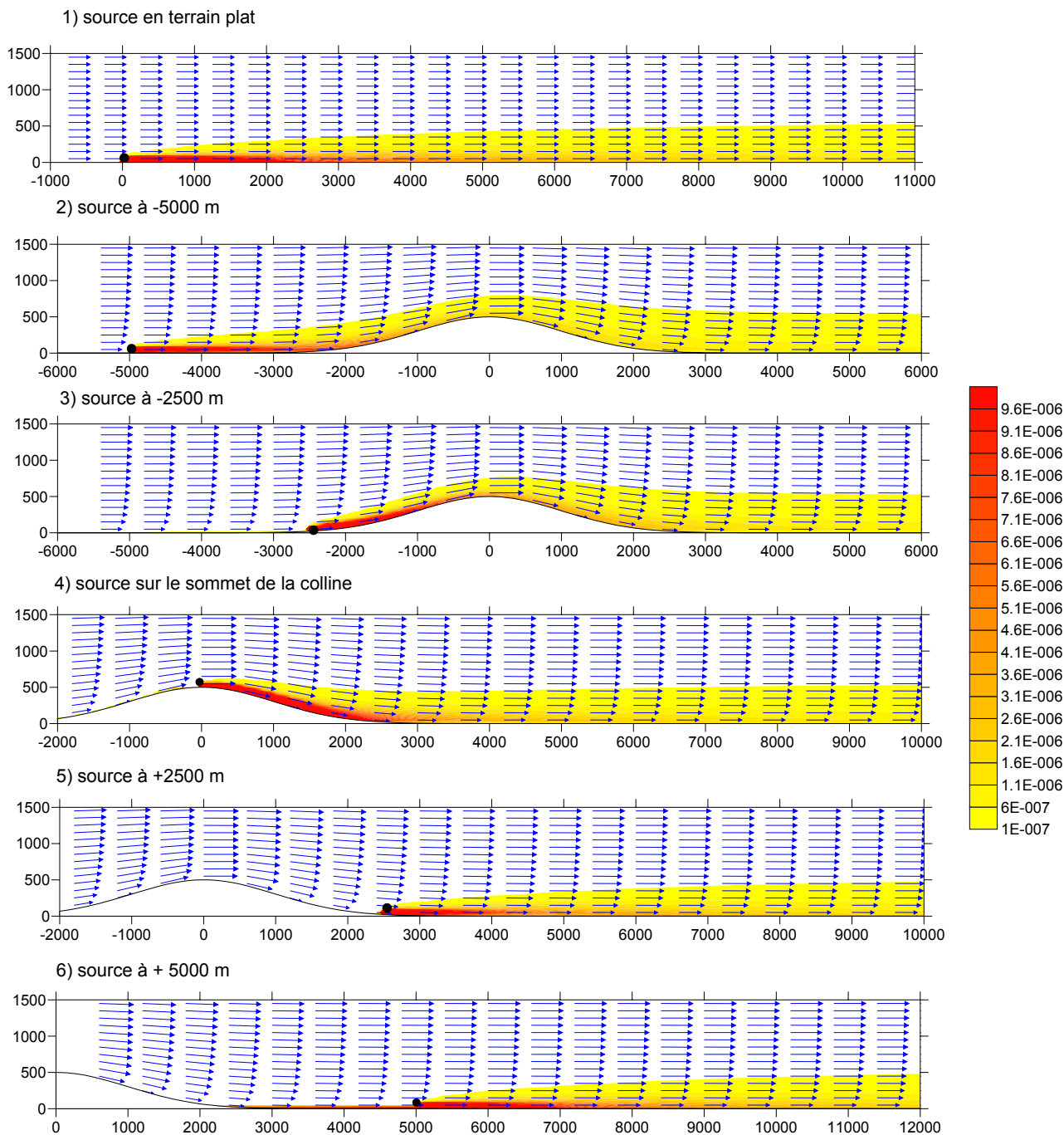


Figure 101: champ de concentration ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) dans le plan vertical

Dans le cas que nous avons modélisé, on remarque nettement que le vent est accéléré au sommet de la colline puis ralenti sur les pentes aval mais il n'apparaît pas de zone de recirculation. Pour comprendre les différences avec un écoulement sur terrain plat, nous avons comparé les concentrations au sol sur l'axe du panache pour chaque source et pour une source sur un terrain plat (Figure 102 à Figure 106).

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

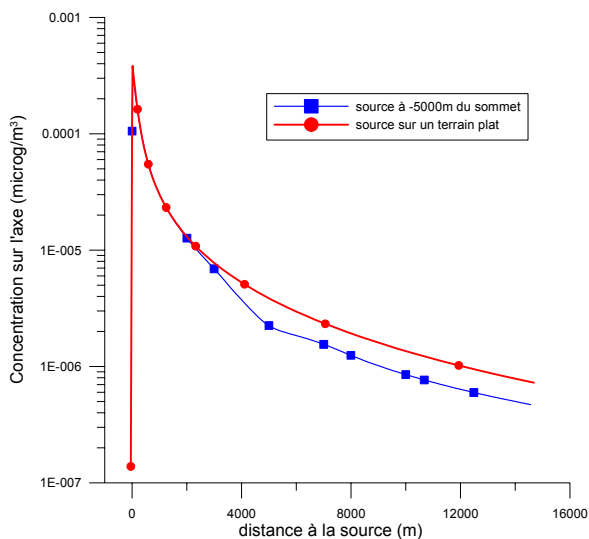


Figure 102 : comparaison des concentrations sur l'axe pour la source à -5000 m du sommet et pour une source sur terrain plat

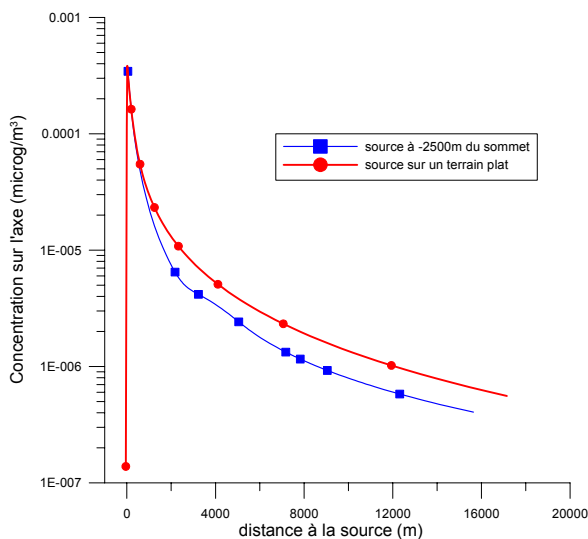


Figure 103 : comparaison des concentrations sur l'axe pour la source à -2500 m du sommet et pour une source sur terrain plat

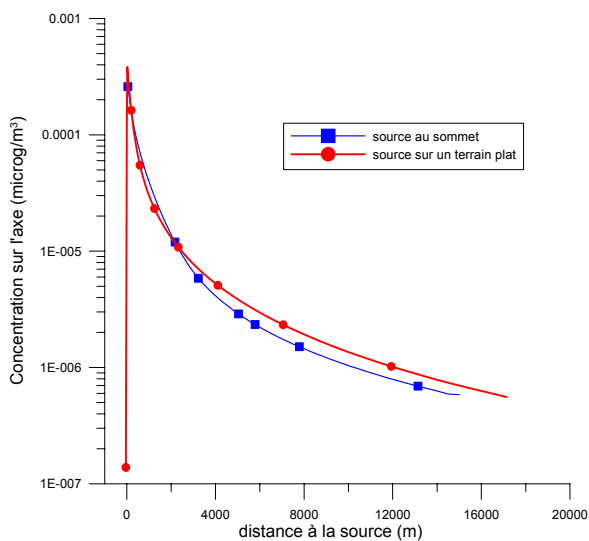


Figure 104 : comparaison des concentrations sur l'axe pour la source au sommet et pour une source sur terrain plat

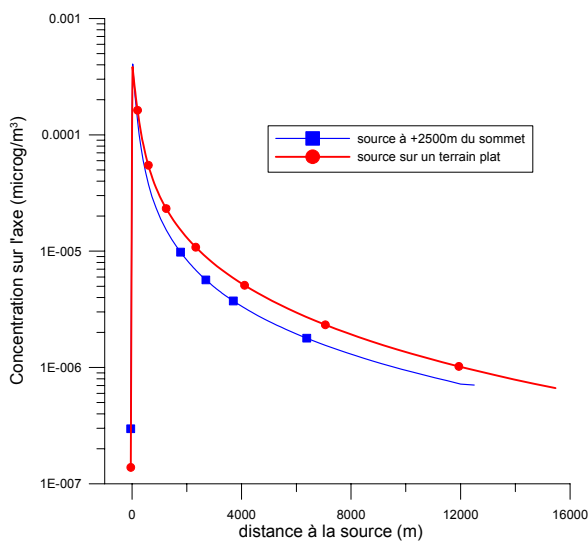


Figure 105 : comparaison des concentrations sur l'axe pour la source à +2500 m du sommet et pour une source sur terrain plat

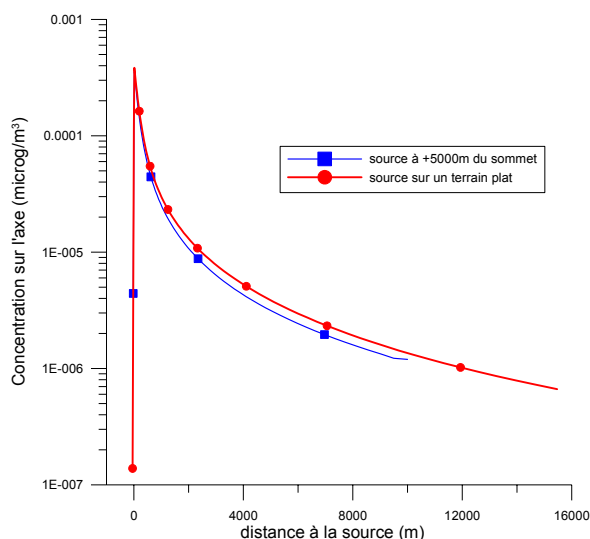


Figure 106 : comparaison des concentrations sur l'axe pour la source à +5000 m du sommet et pour une source sur terrain plat

Les concentrations au sol issues des sources sont légèrement inférieures à la concentration de la source sur terrain plat. En effet, le relief ralentit le fluide, mais il crée aussi de la turbulence, le polluant est donc plus dispersé. Pour la source située à 5000m en aval du sommet de la colline, la concentration au sol est sensiblement la même que dans le cas de la source sur terrain plat.

Dans nos exemples, la comparaison des concentrations sur l'axe et des allures de panache montre que dans le cas d'un écoulement neutre la prise en compte du relief change moins les niveaux de concentration que dans un écoulement stable. Ceci est dû au fait que l'écoulement est peu modifié par le relief dans cette situation neutre et qu'il n'apparaît pas de zone de recirculation à l'aval du relief. En revanche, nous avons vu que dans les situations stables, l'écoulement et donc la dispersion pouvaient être fortement modifiés. Ces exemples sur un cas académique ne permettent pas de quantifier l'erreur commise lorsqu'on ne tient pas compte du relief, mais ils illustrent l'impact que peut avoir le relief sur l'écoulement et la dispersion. Lorsqu'un site industriel est situé à proximité dans une zone de relief, il convient d'être très vigilant sur la modélisation de l'écoulement.

### 3.4.4. OBSTACLES

La présence d'un obstacle au voisinage d'une source a un impact sur la dispersion du polluant issu de cette source. D'une part l'écoulement autour de l'obstacle est perturbé : en amont de l'obstacle, l'écoulement est ralenti, il contourne l'obstacle et il se forme une zone de recirculation en aval de l'obstacle (cf Etat de l'art ch 3.4.1) Pour illustrer ceci, nous avons modélisé avec le code MERCURE (code eulérien d'EDF, résolvant les équations tridimensionnelles des écoulements atmosphériques) un écoulement autour d'un obstacle cubique de 20m de côté. Nous avons étudié 5 rejets à différentes distances de l'obstacle à l'amont et à l'aval.

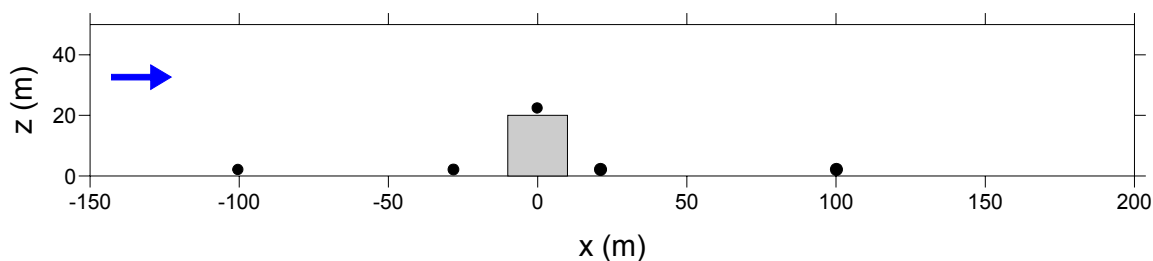


Figure 107 : position des sources par rapport à l'obstacle

L'écoulement modélisé est un écoulement neutre, de vitesse 1m/s. les polluants sont des gaz inertes émis sans surhauteur.

Pour chaque source, on s'intéresse au champ de concentration au sol et dans le plan vertical de symétrie (Figure 108 à Figure 111). On comparera ensuite la concentration au sol sur l'axe avec un rejet sans la présence de l'obstacle (Figure 112 à Figure 116).

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

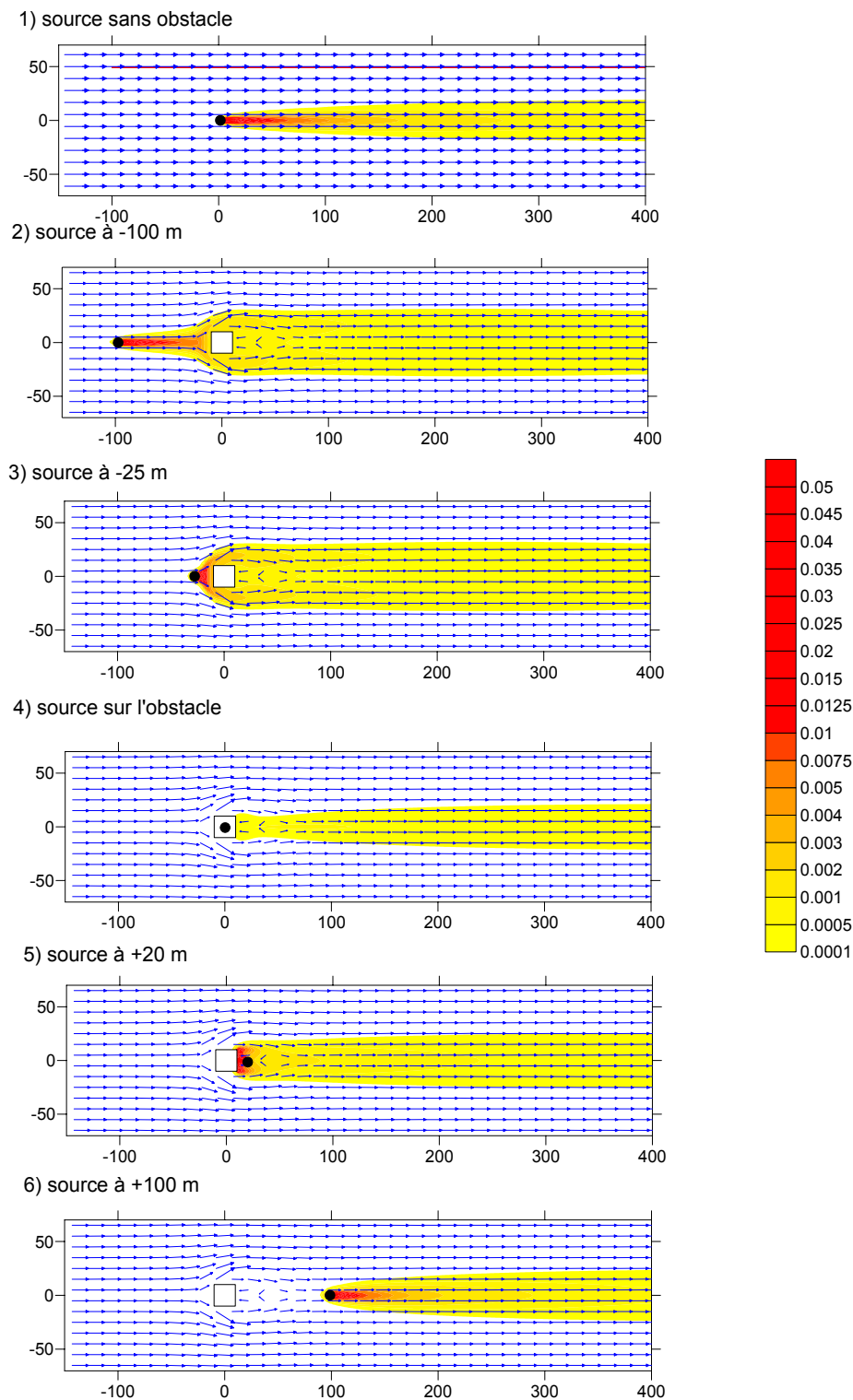


Figure 108 : champ de concentration au sol ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) pour les 5 sources en présence de l'obstacle et pour une source sans obstacle



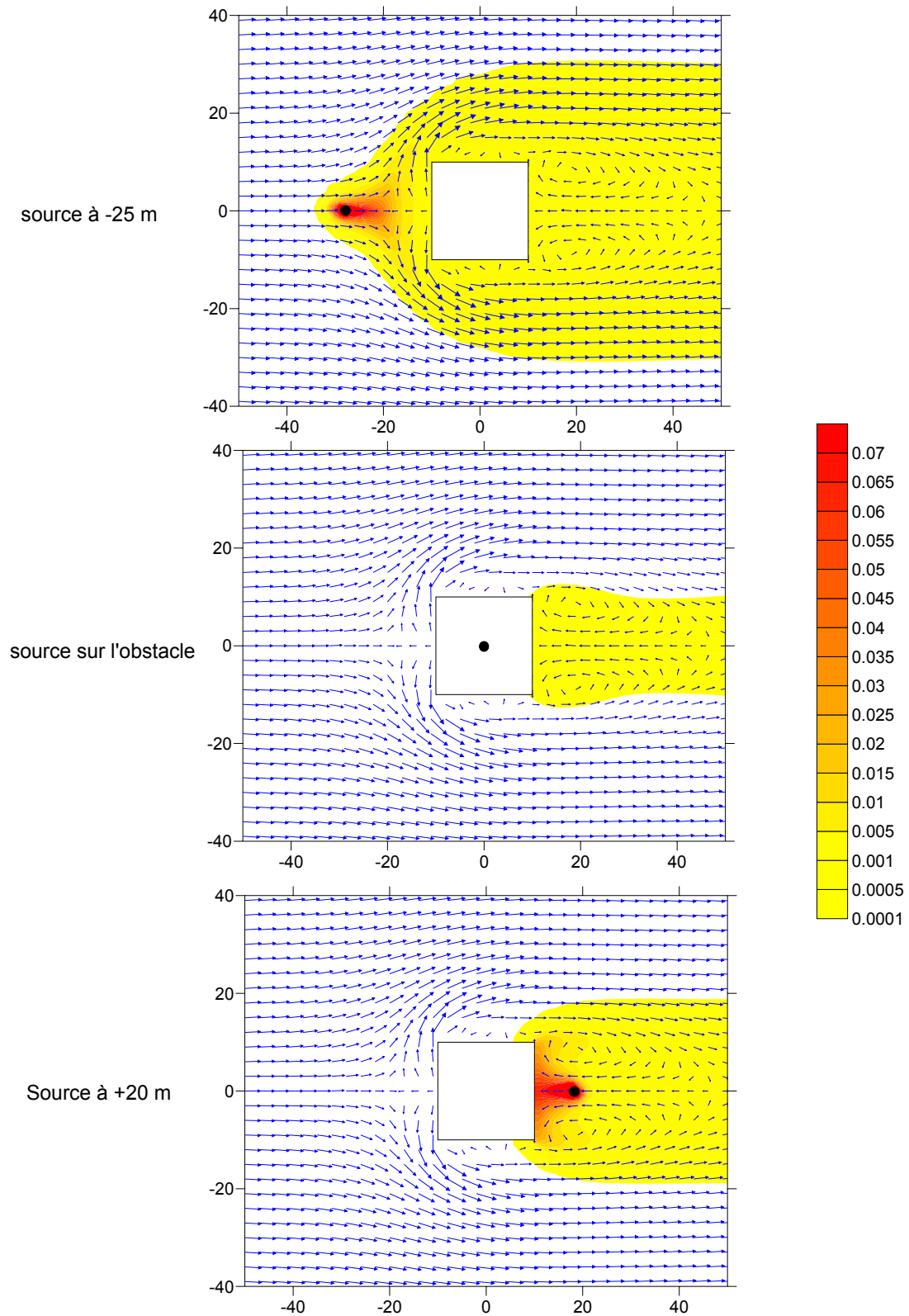
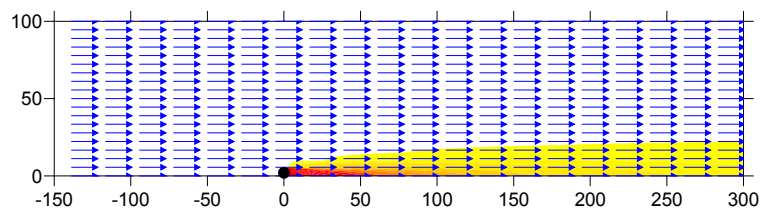
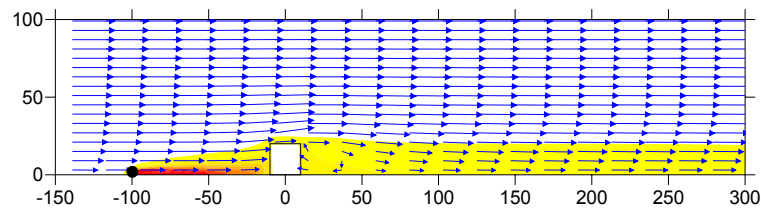


Figure 109 : détail des concentrations au sol et de l'écoulement autour de l'obstacle

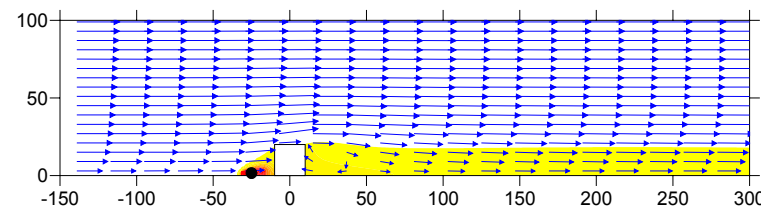
1) source sans obstacle



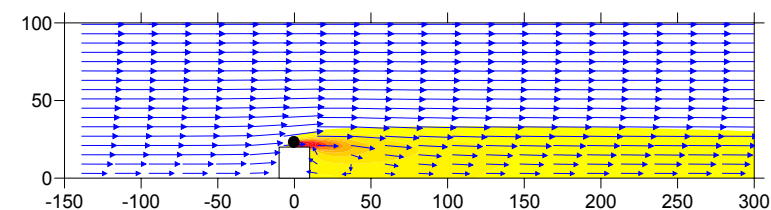
2) source à -100 m



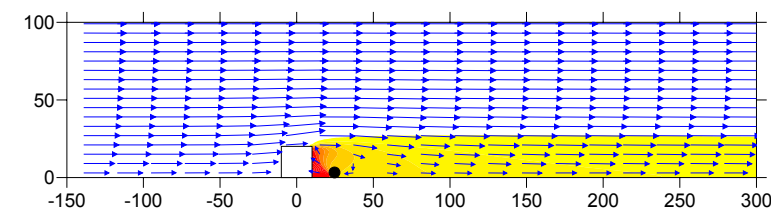
3) source à -25 m



4) source sur l'obstacle



5) source à +20m



6) source à +100 m

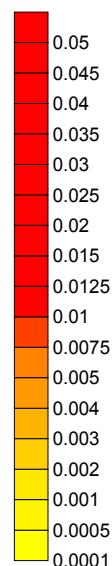
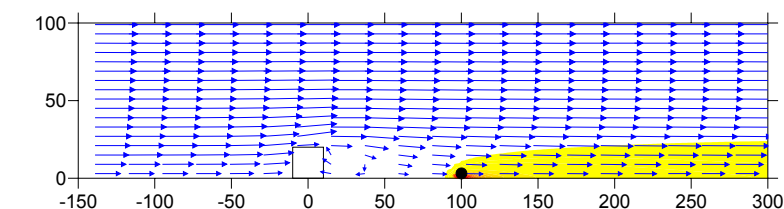


Figure 110 : champ de concentration ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) dans le plan vertical

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

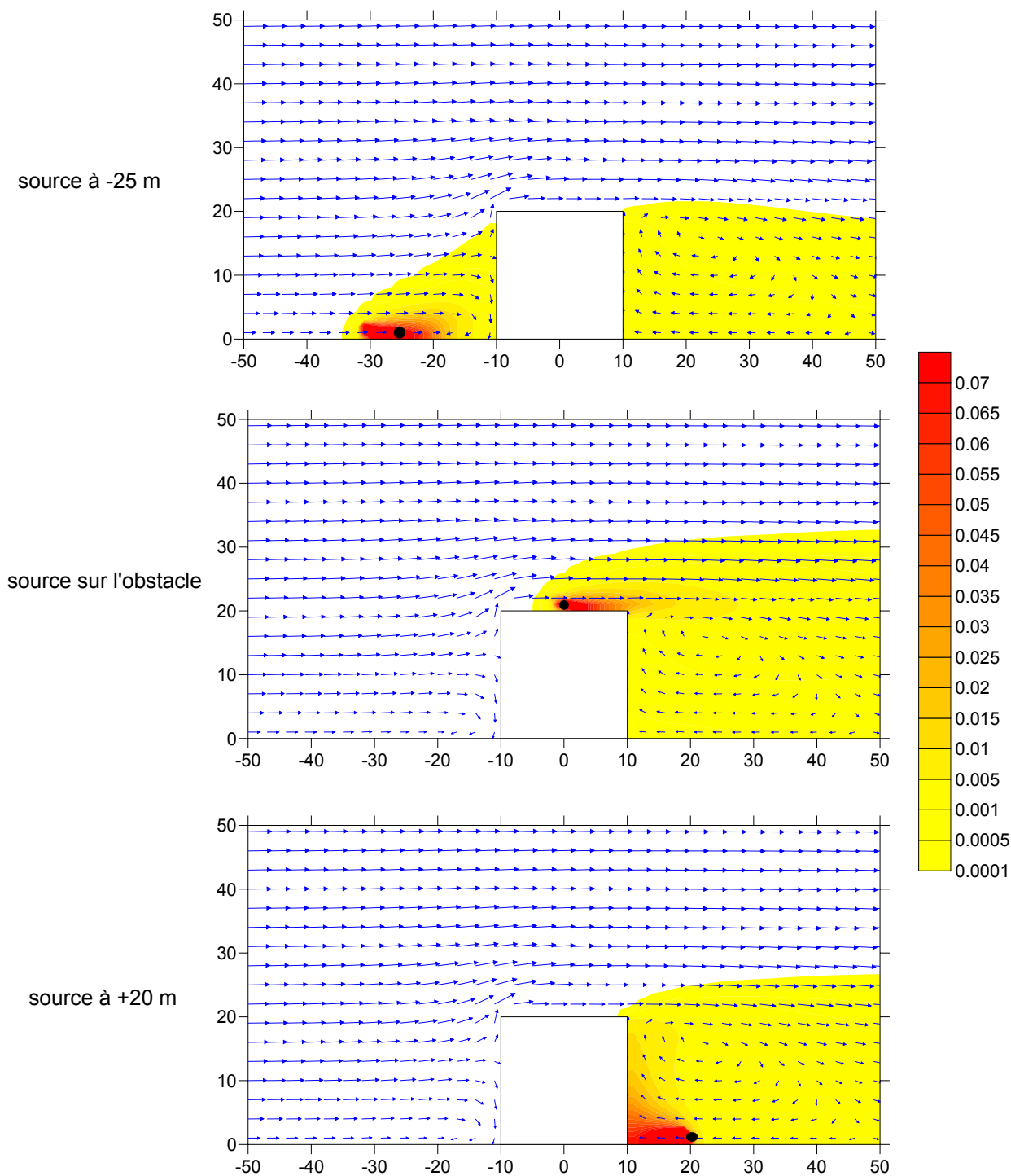


Figure 111 : détail du champ de concentration et de l'écoulement au voisinage de l'obstacle

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

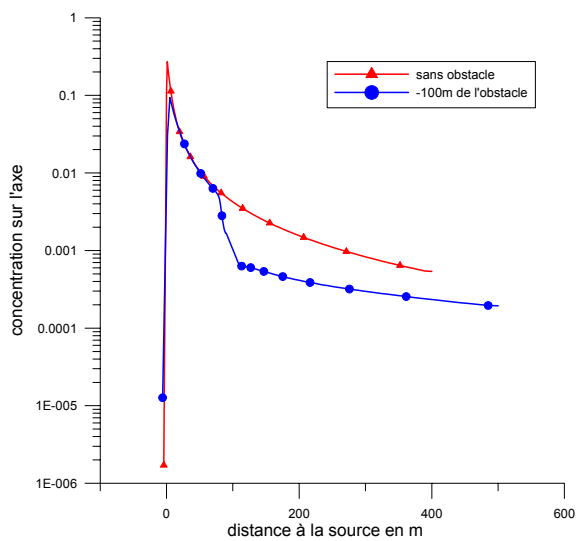


Figure 112 : comparaison des concentrations ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) sur l'axe pour la source à -100 m de l'obstacle et pour une source sans obstacle

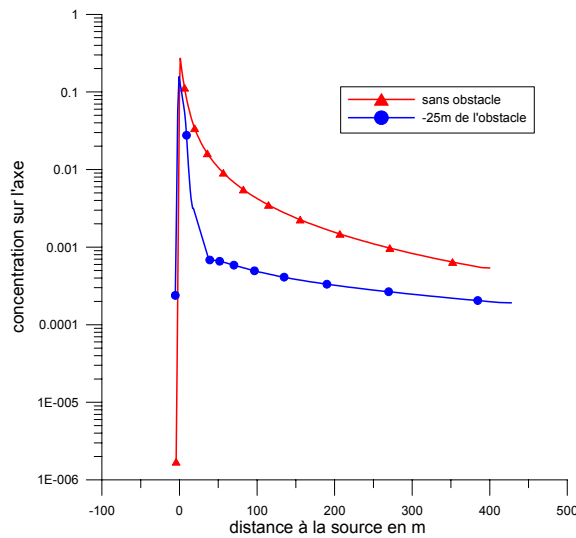


Figure 113 : comparaison des concentrations ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) sur l'axe pour la source à -25 m de l'obstacle et pour une source sans obstacle

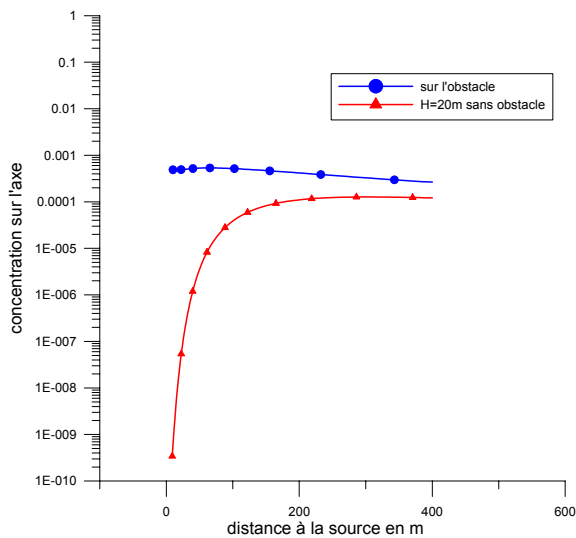


Figure 114 : comparaisons des concentrations ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) sur l'axe pour la source sur l'obstacle et pour une source de hauteur 20 m sans obstacle

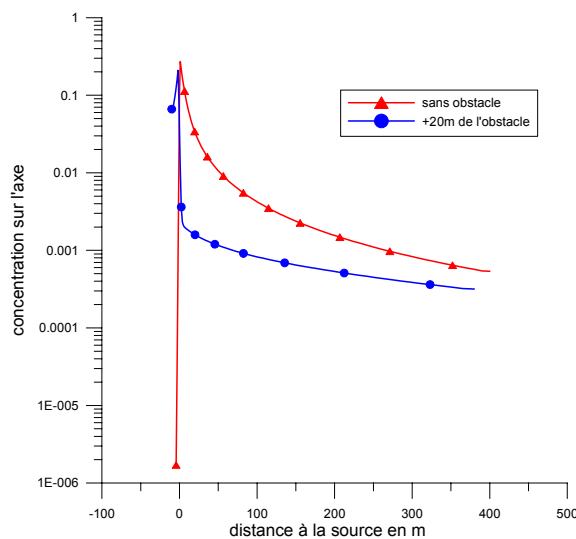


Figure 115 : comparaison des concentrations ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) sur l'axe pour la source à +20 m de l'obstacle et pour une source sans obstacle

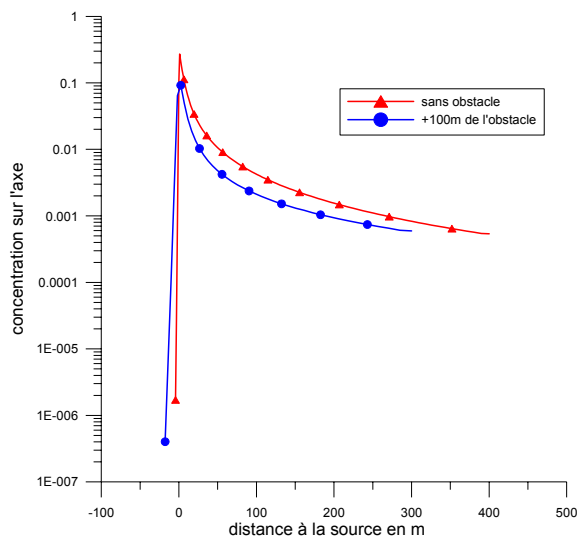


Figure 116 : comparaison des concentrations sur l'axe ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) pour la source à +100 m de l'obstacle et pour une source sans obstacle

Lorsque la source est située en amont de l'obstacle, le panache suit l'écoulement. Il est dévié par l'obstacle. La présence de l'obstacle augmente la diffusion. La concentration augmente donc autour de l'obstacle, le panache est plus large mais la concentration sur l'axe est plus faible derrière l'obstacle.

Lorsque la source est située sur le sommet du bâtiment, une partie du panache est capté par la zone de recirculation, la concentration au sol est donc plus forte que dans le cas d'une source de même hauteur mais sans la présence de l'obstacle.

De même lorsque la source est située dans la zone de recirculation, on observe des concentrations élevées en amont de la source sur la face aval de l'obstacle. Le panache s'étale dans toute la zone de recirculation qui est très turbulente. En revanche, la concentration sur l'axe en dehors de la zone de recirculation est plus faible que dans le cas d'une source sans obstacle.

Enfin, si la source est à l'aval de l'obstacle à une distance égale à 5 fois la hauteur de l'obstacle, l'écoulement est encore légèrement perturbé. Il est plus turbulent que dans un cas sans obstacle, la concentration sur l'axe est donc légèrement plus faible.

Cet exemple permet d'illustrer l'impact d'un obstacle à proximité d'une source. Lorsque la source est située à une distance inférieure à 5 fois la hauteur de l'obstacle, l'impact sur la concentration est fort (à 200m de la source, la concentration sur l'axe issue de la source située à -100m de l'obstacle diffère d'un facteur 3 avec le cas sans obstacle). On considère qu'il faut que la source soit à une distance supérieure à 10 fois la hauteur de l'obstacle pour que l'impact de l'obstacle soit négligeable. Il est important de noter que la situation se complique encore quand il y a plusieurs obstacles à proximité de la source.

### 3.5. SYNTHÈSE DES RESULTATS DE L'ETUDE DE SENSIBILITE

Le panache de polluant issu d'une source industrielle est transporté par le vent. Au fur et à mesure de son éloignement de la source, le panache s'étale par diffusion turbulente. D'autre part, par des effets thermiques et dynamiques, le panache s'élève au dessus de la source. On distingue trois types de paramètres ayant un impact sur la dispersion

- **Les conditions de rejet**

Paramètres	Effet sur la dispersion et la concentration
<b>Débit de la source</b>	La concentration est directement proportionnelle au débit de la source
<b>Hauteur de la source</b>	Plus le rejet est haut plus la concentration au sol est faible et plus le point d'impact est éloigné de la source
<b>Vitesse et température du rejet</b>	Elévation du panache au dessus de la source. Différentes formules permettent d'évaluer la surhauteur
<b>Géométrie de la source</b>	Plus la source est étalée, plus le panache est large au voisinage de la source. A partir d'une certaine distance (dépendant de la stabilité et de l'étalement de la source), la source géométrique peut-être assimilée à une source ponctuelle
<b>Modulation des émissions</b>	En moyenne annuelle, la modulation diurne ou saisonnière des émissions peut avoir un impact car les conditions météorologiques varient.

- **La météorologie**

Paramètres	Effet sur la dispersion
<b>Vitesse du vent</b>	Augmentation de la dilution. La concentration est inversement proportionnelle à la vitesse du vent
<b>Direction du vent</b>	Modification de la direction du panache
<b>Stabilité atmosphérique</b>	Situation stable : faible dispersion Situation neutre : dispersion moyenne Situation instable : bonne dispersion
<b>Turbulence atmosphérique</b>	La dispersion est directement liée à la turbulence. La concentration au sol diminue et le panache s'étale plus si la turbulence augmente

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

<b>Couverture nuageuse</b>	Les nuages limitent les échanges thermiques et radiatifs entre le sol et l'atmosphère. Ils font tendre l'atmosphère vers une situation neutre
<b>Hauteur de la couche limite</b>	Grandeur caractéristique de la stabilité. Plus l'atmosphère est stable, plus la couche limite est basse. Réflexion du panache sur le sommet de la couche limite. Confinement des polluants.
<b>Précipitations</b>	Lessivage du polluant par la pluie. Légère diminution de la concentration au sol
<b>Comparaison d'un calcul séquentiel avec un calcul à partir d'une rose des vents</b>	La dégradation de l'information sur la stabilité peut entraîner des écarts importants entre les deux calculs

- **Les caractéristiques du site**

<b>Paramètres</b>	<b>Effet sur la dispersion</b>
<b>Présence du sol, dépôt sec</b>	Déposition du polluant sur le sol par sédimentation ou adsorption. Diminution de la concentration au niveau du sol
<b>Rugosité du sol</b>	Modification du profil vertical du vent et augmentation de la turbulence au voisinage du sol
<b>Relief</b>	Situation neutre et instable : légère modification de l'écoulement, augmentation de la turbulence dans le sillage Situation stable : forte modification de l'écoulement La concentration au sol peut être très différente suivant que l'on prend en compte le relief ou non
<b>Obstacles</b>	Forte modification de l'écoulement autour de l'obstacle, augmentation de la turbulence dans le sillage. La concentration autour de l'obstacle est fortement influencée par la présence de l'obstacle

## **4. PRESENTATION DES RESULTATS OBTENUS SUR LES CAS TESTS**

### **4.1. LA DEMARCHE D'EVALUATION DES MODELES SUR LES CAS TESTS**

#### **4.1.1. RAPPEL DES OBJECTIFS INITIAUX DE L'EVALUATION DES MODELES SUR DES CAS TESTS**

D'une manière générale, l'utilisation de cas tests présente un intérêt à plusieurs niveaux. Au niveau du développement des modèles, les cas tests permettent en particulier d'identifier les processus physiques prépondérants pour le transport et la dispersion dans le contexte spécifique à étudier et de déterminer la sensibilité des paramètres d'influence du problème posé. Au niveau de l'évaluation des modèles, les cas tests permettent leur validation sur des applications pour lesquelles les modèles ont été développés, mais aussi leur inter-comparaison. Au niveau de l'utilisation des modèles, les cas tests permettent la formation des modélisateurs afin qu'ils puissent acquérir une sensibilité suffisante sur l'utilisation du modèle et sur les paramètres importants à prendre en compte.

Pour ce qui concerne plus précisément l'évaluation des modèles, nous avons prévu de réaliser une évaluation sur des cas tests représentant des situations relativement courantes. Les objectifs de cette première évaluation des modèles étaient notamment les suivants :

- Evaluer les modèles en fonction de leurs performances propres dans des situations réalistes pas trop complexes et bien documentées, représentatives des principaux phénomènes rencontrés.
- Etablir une comparaison des possibilités et des fonctionnalités de chaque approche de modélisation.
- Disposer de situations commentées pour la formation des utilisateurs et la prise en main des modèles.
- Montrer l'intérêt et l'importance de l'analyse préliminaire de la situation à traiter et des données d'entrée dans le choix de la démarche de modélisation.

Compte tenu du premier bilan réalisé sur les entretiens avec les tuteurs industriels, nous avons restreint cette partie d'évaluation des modèles sur les cas tests. Rappelons que les industriels rencontrés lors des entretiens n'ont pas souhaité que l'on passe trop de temps sur cette partie de l'étude qui constitue pour eux une évaluation des modèles à caractère scientifique. Nous avons, dans cette partie, réalisé la comparaison des différents types de modélisation avec des expériences sur un nombre limité à deux cas tests et constitué des situations commentées pour la formation des utilisateurs. L'analyse que nous avons menée a été réalisée en concertation avec les fournisseurs de logiciel afin de s'assurer que les scénarios de modélisation que nous avons élaborés étaient cohérents et de résoudre les éventuelles erreurs des logiciels.



#### 4.1.2. PRESENTATION DES CAS TESTS

Lors de la première étude, nous avons recensé dans la littérature scientifique un certain nombre de bases de données relatives aux expériences de terrain et en soufflerie. Parmi l'ensemble de ces données, nous avons retenu les expériences de « Prairie Grass » et d' « Indianapolis » du « Model Validation Kit ». Les données de « Prairie Grass » ont largement contribué à la définition des écarts-types de dispersion de Pasquill et sont toujours utilisées comme référence dans les évaluations des modèles. Elles présentent un intérêt certain dans la comparaison des différents types de modélisation, sachant que les modèles gaussiens devraient a priori donner de bons résultats. Elles sont relatives à un rejet au sol en milieu rural. Les données d' « Indianapolis » sont relatives à un rejet à la cheminée en milieu urbain. Elles constituent une situation suffisamment représentative des rejets industriels à la cheminée en présence d'obstacles.

#### 4.1.3. LA DEMARCHE D'EVALUATION

##### 4.1.3.1. *Méthodologie de mise en œuvre des cas tests*

La construction d'une simulation à partir de données de terrain présente certaines difficultés.

- La diversité des mesures météorologiques : en général, au cours d'une expérience, plusieurs mesures météorologiques ont été effectuées en différents points du site. L'utilisateur est donc confronté à un choix entre ces différentes mesures. D'autre part, les mesures disponibles ne répondent pas toujours aux exigences du logiciel et il est nécessaire d'appliquer certaines hypothèses
- Le choix des paramètres physiques qui permettent de représenter le site : certaines informations indispensables pour le fonctionnement du modèle ne sont pas disponibles. Il faut alors faire des conjectures
- Le choix des options de modélisation : parmi les différentes options proposées par le logiciel, il faut faire un choix qui permet de représenter le plus fidèlement possible les conditions réelles de l'expérience. Par exemple, le choix de la méthode de calcul de la turbulence ou de la hauteur de la couche limite peut avoir un impact sur le résultat de la modélisation.
- Les erreurs des modèles : la mise en œuvre des modèles sur les cas tests permet d'identifier des erreurs dans les modèles.

Au regard de toutes ces difficultés, nous avons adopté la méthode suivante pour étudier les cas test. Nous avons tout d'abord élaboré un premier scénario à partir des données de terrain que nous possédions et qui nous paraissait raisonnable. Nous avons ensuite réalisé une simulation avec ce scénario et comparé nos résultats aux mesures puis aux résultats du modèle disponibles dans la littérature scientifique. Bien souvent ce premier scénario ne permettait pas d'obtenir des résultats satisfaisants et il était nécessaire de faire des ajustements. Nous avons donc essayé de déterminer d'où provenaient les différences en faisant des comparaisons modèles-mesures en fonction de différents paramètres comme la stabilité ou la vitesse du vent. Ces comparaisons nous ont ensuite permis d'ajuster certains paramètres physiques comme la rugosité, ou de modifier certaines options du modèle comme la prise en compte du blocage par la couche limite. Nous avons à chaque fois adopté une démarche qui consistait à apporter des modifications ayant un sens physique. Ces ajustements nous ont par ailleurs permis de déterminer la sensibilité du modèle à certains paramètres d'entrée et à certaines options. Enfin, nous avons retenu un scénario pour comparer le modèle et les mesures et analyser les performances du modèle.

*Remarque* : le modèle eulérien HERMES, dans la configuration qui nous a été proposée, n'est pas adapté aux cas tests qui ont été retenus. En effet, le modèle HERMES est prévu pour calculer la dispersion sur des domaines allant de 20 à 500 km avec un maillage ayant une résolution de quelques centaines de mètres. Or dans le cas test de Prairie Grass, les récepteurs sont situés à quelques centaines de mètres de la source et dans le cas test d'Indianapolis, les récepteurs ne dépassent pas 12 km de la source. D'autre part, le modèle HERMES est fondé sur une description assez fine de l'écoulement. Il nécessite au moins une mesure de vent et de température au sol et un profil vertical de vent et de température relativement détaillé. Or nous ne possédons pas toutes ces mesures. Enfin, les discussions avec ARIA Technologies ont montré qu'il aurait peut-être été possible d'obtenir de meilleurs résultats en modifiant certains paramètres comme le pas de temps de calcul ou les écart-types de diffusion horizontaux. Ces paramètres n'apparaissent pas directement à l'utilisateur. Au regard de toutes ces remarques, nous avons souhaité montrer les résultats du modèle HERMES sur les différents cas test en annexe afin d'avoir un exemple d'application d'un modèle en dehors de son contexte.

#### 4.1.3.2. **Choix des variables à comparer**

Les campagnes de mesures comme celles que nous avons étudiées sont réalisées de la manière suivante. On considère une source dont les caractéristiques de rejets sont connues et on effectue des mesures de concentration en aval de l'écoulement. Les récepteurs sont placés sur des arcs à des distances fixes de la source (cf. Figure 117).

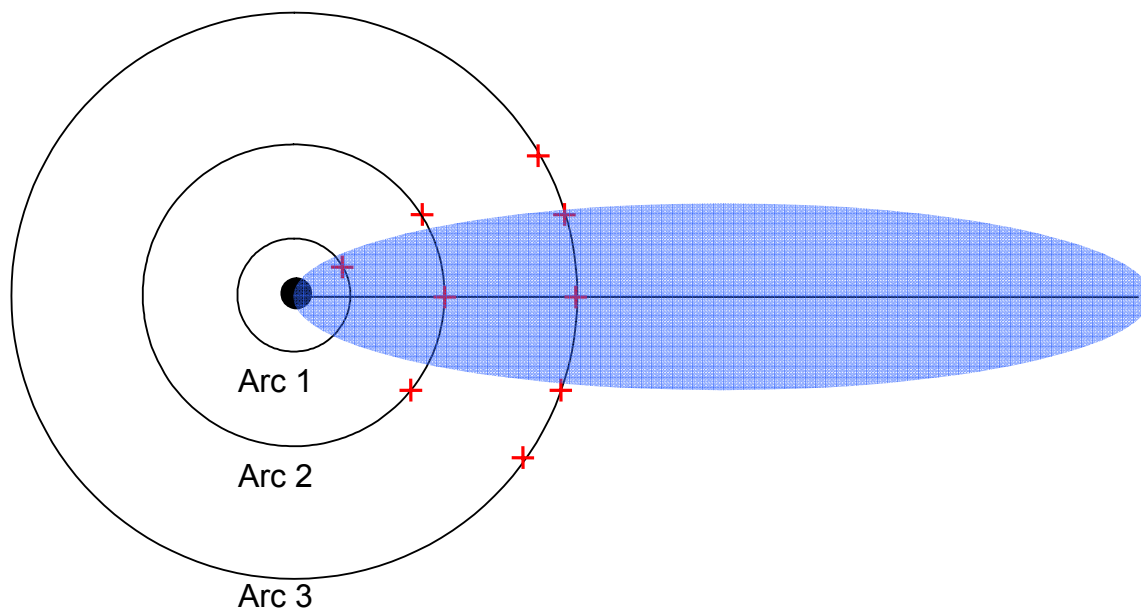


Figure 117 : Schéma de la disposition des récepteurs autour d'une source

Dans le cadre de la comparaison des mesures et des résultats des modèles, il est possible de comparer les concentrations mesurées et modélisées en chaque point récepteur. Cette méthode directe conduit en général à des écarts relativement importants entre le modèle et les mesures. En effet, un décalage de quelques degrés dans la direction du vent change l'orientation du panache et pour un point fixe, la concentration peut varier considérablement.

D'une manière générale dans la littérature scientifique, on constate que les comparaisons vont plutôt porter sur les maximums de concentration par arc de mesure et sur les écart-types horizontaux du panache. Cette démarche permet en particulier de s'affranchir de l'incertitude qui peut exister sur la variabilité du vent. C'est cette démarche que nous avons adoptée par la suite pour traiter les comparaisons entre les modèles et les cas tests.

D'autre part, les concentrations mesurées sur le terrain sont des concentrations moyennées sur un certain intervalle qui dépend du protocole expérimental. Suivant les modèles, nous avons essayé d'effectuer un calcul le plus proche possible des conditions de l'expérience mais cela n'a pas toujours été possible. En effet, un modèle gaussien classique permet de simuler uniquement un état permanent.

#### **4.1.3.3. Calcul des paramètres statistiques**

Lorsque l'on souhaite évaluer un modèle par comparaison à des expériences, il est nécessaire d'introduire des paramètres permettant de quantifier les différences entre le modèle et les mesures. De nombreux travaux antérieurs ont abordé cette question récurrente et ont conduit à la définition de quelques paramètres importants qui seront utilisés dans ce projet. Ces paramètres sont décrits brièvement dans le paragraphe suivant.

En préambule, considérons un jeu de N données expérimentales pour lesquelles nous avons déterminé les prédictions correspondantes d'un modèle quelconque. Si l'on représente sur un graphe les données prédites en fonction des données mesurées, on obtient une figure analogue à la Figure 118. Sur cette figure a également été portée la droite « 1-1 » qui correspondrait à un modèle idéal reproduisant parfaitement l'expérience (droite continue). Enfin nous avons tracé la droite de régression du nuage de point qui passe par l'origine (droite en pointillés). Les paramètres que nous allons présenter ont pour objectif de quantifier deux types d'erreurs que l'on peut observer sur cette figure :

- **L'erreur systématique**, qui implique que le modèle aura une tendance globale à surestimer ou à sous-estimer la réalité. Cela se traduit par la différence de pente entre la droite de régression et la droite de pente « 1-1 ».
- **L'erreur « locale »**, qui correspond aux écarts des prédictions individuelles par rapport au comportement moyen du modèle. Cette erreur se traduit par un étalement du nuage de points sur le graphe.

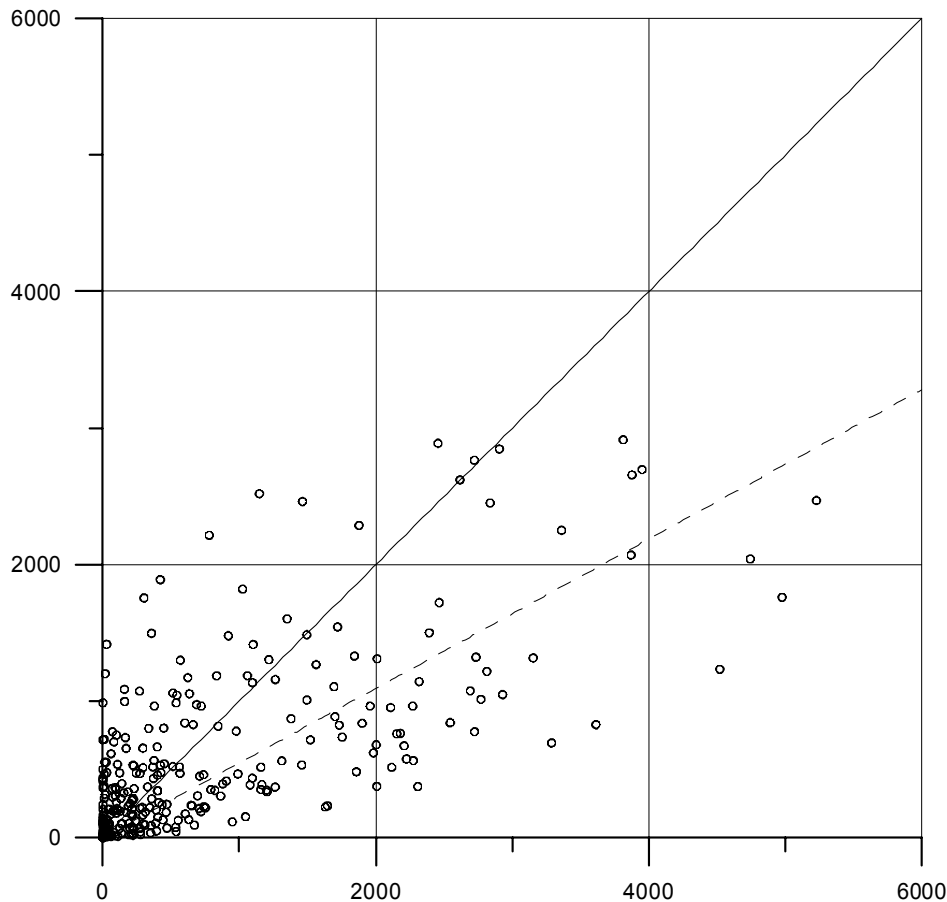


Figure 118 : Exemple de comparaison entre des observations de terrain et des prédictions d'un modèle.

La comparaison entre les modèles et les mesures est également réalisée sur la base de paramètres statistiques décrits brièvement ci-après ; ces paramètres sont définis et expliqués en détail dans un rapport de Hanna *et al.* (1991) fournit avec le « Model Validation Kit » :

- **Le biais fractionnel** :  $FB = \frac{\overline{C_p} - \overline{C_m}}{\frac{1}{2}(\overline{C_p} + \overline{C_m})}$ . Il quantifie l'erreur systématique.
- **L'erreur quadratique moyenne normalisée** :  $NMSE = \frac{\overline{(C_p - C_m)^2}}{C_p C_m}$ . Elle quantifie l'erreur locale.
- **L'écart relatif moyen** :  $ER = \left( \frac{\overline{|C_p - C_m|}}{\frac{1}{2}(\overline{C_p} + \overline{C_m})} \right)$ . Il quantifie l'erreur locale.
- **Le coefficient de corrélation** :  $R = \frac{\overline{(C_p - \overline{C_p})(C_m - \overline{C_m})}}{\sqrt{\overline{(C_p - \overline{C_p})^2} \overline{(C_m - \overline{C_m})^2}}}$
- **Le biais géométrique moyen** :  $MG = \exp \left[ \ln(\overline{C_p}) - \ln(\overline{C_m}) \right]$ . Lorsque les valeurs mesurées et simulées s'étendent sur plusieurs ordres de grandeur, les paramètres FB, NMSE, ER et R dépendent davantage des valeurs élevées que des valeurs faibles. Pour compenser cet effet, il peut être intéressant d'utiliser des paramètres basés sur le logarithme des valeurs. Le biais géométrique moyen quantifie de cette manière l'erreur systématique du modèle.

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

- **La variance géométrique quadratique moyenne** :  $VG = \exp\left[\frac{(\ln(C_p) - \ln(C_m))^2}{2}\right]$ . Elle permet de quantifier l'erreur locale pour des données dont les ordres de grandeur sont très différents.
- **La "fraction dans un facteur de 2"** : fraction FAC2 des données telles que  $0,5 \leq C_p/C_m \leq 2$ . Ce paramètre indique la capacité du modèle à ne pas dépasser une erreur limite.

Dans les équations présentées ci-dessus,  $C_p$  et  $C_m$  représentent respectivement les concentrations prédites par le modèle et mesurées.

Pour les deux cas tests, nous avons comparé les résultats de chaque modèle et les mesures des maximums de concentrations sur les arcs. Nous avons étudié les paramètres statistiques obtenus avec chaque modèle. Ces comparaisons nous permettent d'avoir une idée du comportement global d'un modèle. Pour essayer de comprendre les limites d'un modèle on étudie son comportement en fonction de la stabilité et de la distance à la source. Pour cela, pour une même distance et un même régime de stabilité, on moyenne les concentrations maximums sur l'arc mesurées et modélisées et on calcule le biais fractionnel de ces moyennes. On peut déterminer ainsi si le modèle est meilleur proche de la source ou loin de la source et si il est meilleur dans les cas stables ou les cas instables

## 4.2. LE CAS TEST DE PRAIRIE GRASS

### 4.2.1. PRESENTATION DE L'EXPERIENCE

Les expériences se sont déroulées en 1956 dans le Nebraska (Barad, 1956, Haugen, 1959). Elles ont été réalisées sur un terrain plat recouvert d'herbe. Les essais, au nombre de 70, ont été effectués pour moitié dans des conditions de stabilité atmosphérique instable (atmosphère convective) et pour le reste dans des conditions stables. Le gaz traceur utilisé était du SO<sub>2</sub> et la hauteur du rejet était de 0.5m par rapport au sol. Le gaz traceur était injecté sur des périodes de 10 minutes. Il n'y avait pas d'effet de surhauteur cinématique ou thermique. Les récepteurs étaient positionnés à une hauteur de 1.5m par rapport au sol, selon 5 arcs situés à 50m, 100m, 200m, 400m et 800m de la source. Les données météorologiques disponibles concernent les mesures à 2m du sol de la vitesse et de la direction du vent, des fluctuations du vent, ainsi que du gradient vertical de la température entre 2m et 16m du sol. D'autres données comme la vitesse de frottement, la longueur de Monin-Obukhov, ... ont pu être estimées pour chaque configuration à partir de ces mesures. De nombreux auteurs se sont intéressés à ces données pour le développement des modèles et leur validation. Les données en notre possession, relative à chaque récepteur, proviennent du site ftp de J.S. Irwin (<ftp://ftp.epa.gov/amd/asmd/irwin/>) ; ces données sont déjà interprétées et informatisées. Nous possédons aussi les données interprétées par S. Hanna pour certains essais.

### 4.2.2. ELABORATION DES SCENARIOS DE SIMULATION AVEC LE LOGICIEL ADMS ET PRESENTATION DES RESULTATS

Ne possédant pas les données météorologiques brutes nécessaires pour construire les scénarios d'ADMS, nous avons utilisé deux sources de données : les données de J.S Irwin disponibles sur le site de l'EPA et les données de S. Hanna.

Les données de J.S. Irwin couvrent 68 expériences et comprennent la date et l'heure, le vent à 8m, la couverture nuageuse, la hauteur de la couche limite. A partir de ces données, nous avons élaborés plusieurs scénarios.

- **Scénario 1**

Nous avons tout d'abord considéré les données météorologiques calculées par J.S. Irwin pour les 68 expériences comprenant la date et l'heure, le vent à 8m et la couverture nuageuse. Les résultats des simulations construites à partir de ces données sont très proches des résultats des simulations d'Irwin avec le logiciel ADMS. La comparaison des paramètres statistiques sur le maximum de concentration sur l'arc divisé par le débit de la source est présentée ci-dessous dans le Tableau 19 . Les paramètres statistiques sont ceux définis au paragraphe 4.1.3.

	Mean (10 <sup>-3</sup> s/m <sup>3</sup> )	Std (10 <sup>-3</sup> s/m <sup>3</sup> )	FB	FS	NMSE	R	FAC2	FAC5
mesures	2.23	3.90						
ADMS	1.39	3.29	0.46	0.17	1.46	0.50	0.57	0.88

Tableau 19 : comparaison des paramètres statistiques calculés pour les 68 expériences sur les concentrations maximums sur l'arc divisées par le débit

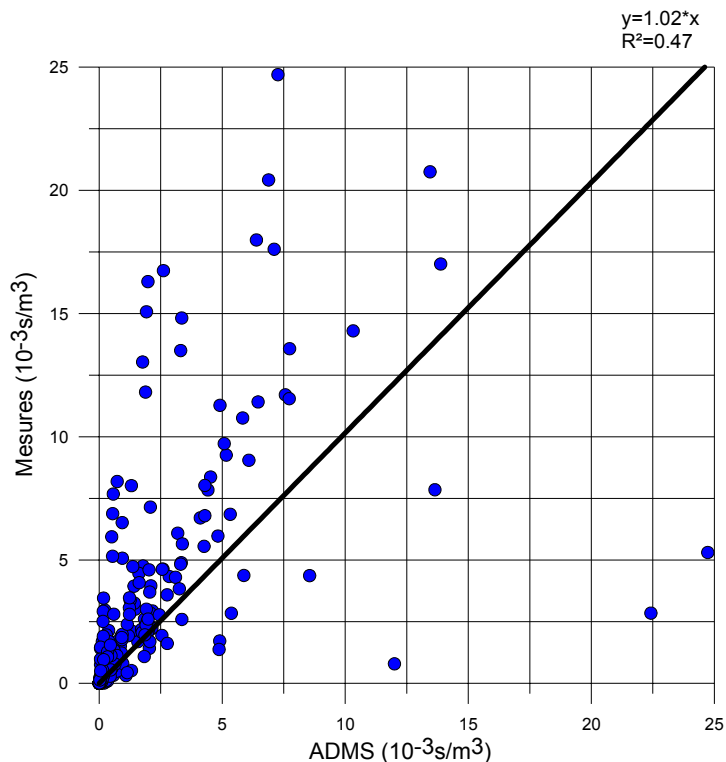


Figure 119 : comparaison des résultats du premier scénario et des mesures du maximum sur l'arc divisé par le débit de la source

• **Scénario 2**

J.S Irwin propose un classement des expériences de Prairie Grass en fonction de 7 classes de stabilité (Irwin,EPA). Nous avons donc construit un deuxième scénario utilisant les paramètres météorologiques suivants : le vent à 8 m et le flux de chaleur associé à la classe de stabilité de l'expérience. Les résultats pour ce scénario sont présentés dans le Tableau 20.

	Mean (10 <sup>-3</sup> s/m <sup>3</sup> )	Std (10 <sup>-3</sup> s/m <sup>3</sup> )	FB	FS	NMSE	R	FAC2	FAC5
mesures	2.23	3.90						
ADMS	1.18	2.90	0.62	0.29	1.81	0.46	0.51	0.86

Tableau 20 : comparaison des paramètres statistiques calculés pour les 68 expériences sur les concentrations maximums sur l'arc divisé par le débit

Les résultats des scénarios 1 et 2 sont très proches. Dans les deux cas, le modèle ADMS sous-estime les concentrations. Il est intéressant de comparer point par point les résultats et les mesures des maximums de concentration sur l'arc (cf Figure 119 Figure 120) pour les deux scénarios. On remarque que la plupart des points sont autour d'une droite moyenne, mais que certains s'en écartent beaucoup.

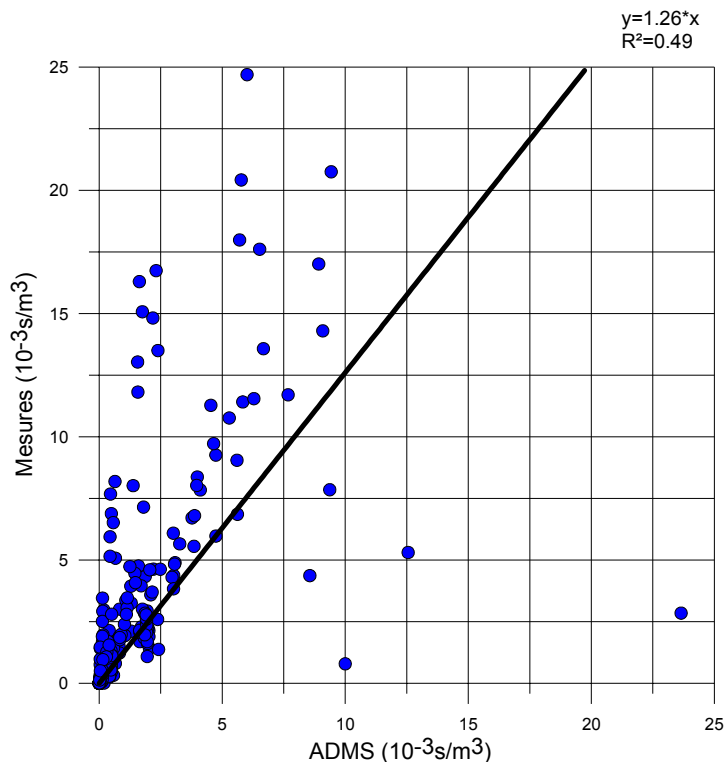


Figure 120 : comparaison des résultats du deuxième scénario et des mesures du maximum sur l'arc

- **Résultats des simulations du CERC**

Dans le rapport de validation d'ADMS fourni par le CERC, les résultats sont regroupés dans le Tableau 21

	Mean ( $10^{-3}\text{s/m}^3$ )	Std ( $10^{-3}\text{s/m}^3$ )	FB	FS	NMSE	R	FAC2
mesures	1.54	2.81					
ADMS	1.27	2.65	0.19	0.06	0.88	0.89	0.61

Tableau 21 : paramètres statistiques calculés pour les 68 expériences sur les concentrations maximums sur l'arc divisées par le débit

Les expériences qui ont permis d'obtenir ces résultats ainsi que les données météorologiques ne sont pas précisées, il est donc difficile d'interpréter les différences avec nos propres simulations. Après discussion de nos résultats avec la société NUMTECH, les différences entre les résultats de nos simulations et les leurs proviennent en partie du fait que nous avons modélisé un rejet vertical alors que dans leurs simulations, ils ont modélisé un jet horizontal.

- **Analyse des résultats**

Il est intéressant de regarder le comportement du modèle en fonction de la distance à la source et de la stabilité. La classe A de stabilité correspond au cas très instable et la classe G au cas très stable. Si on s'intéresse à l'évolution du biais fractionnel (cf Figure 121) en fonction de la distance à la source et pour différents régimes de stabilité, on remarque que le logiciel ADMS est proche des mesures dans les cas instables et qu'il a tendance à sous-estimer les mesures dans les autres cas. Pour une raison encore inexpliquée, il surestime très fortement les concentrations dans le cas très stable et proche de la source.



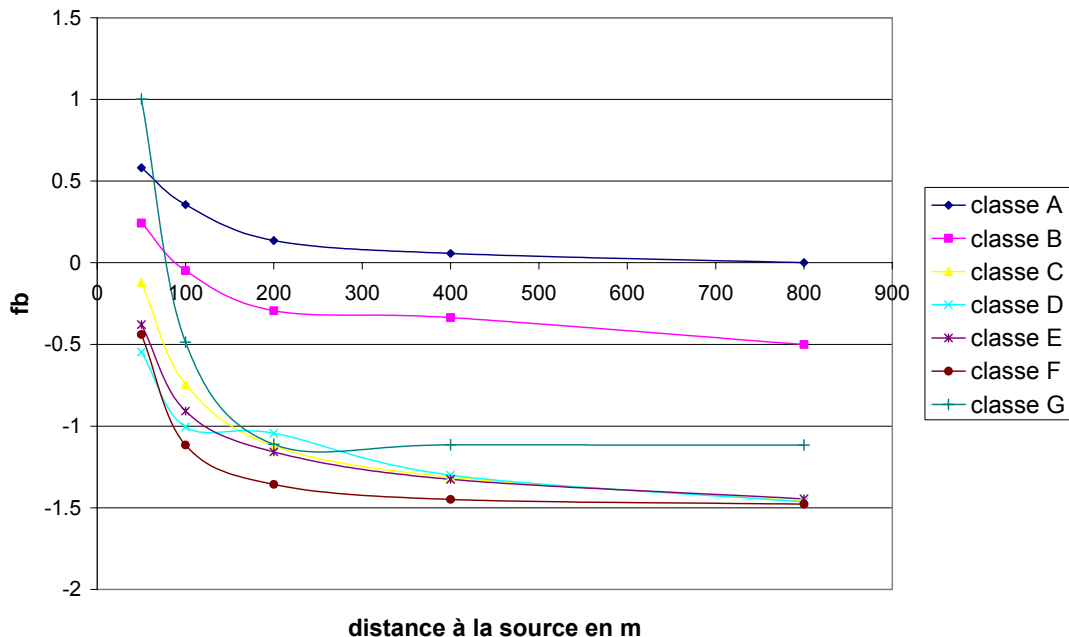


Figure 121 : Evolution du biais fractionnel en fonction de la distance à la source pour les différentes classes de stabilité

**4.2.3. ELABORATION DES SCENARIOS DE SIMULATION AVEC ARIA IMPACT ET PRESENTATION DES RESULTATS**

Nous avons construit plusieurs scénarios pour simuler le cas de Prairie Grass ; ils sont présentés ci-dessous.

- **Scénario 1**

Nous avons utilisé les données météorologiques suivantes : le vent à 8m, la température, la couverture nuageuse. Nous avons choisi la méthode « vent-nébulosité » pour calculer la classe de stabilité et nous avons utilisé les écarts-types de Pasquill pour le calcul de la concentration. N'ayant pas la possibilité de calculer la concentration à la hauteur de 1.5m au dessus du sol, nous avons calculé la concentration au niveau du sol. Les paramètres statistiques ont été calculés pour le maximum de concentration sur l'arc divisé par le débit de la source à partir des 68 expériences (Tableau 22).

	Mean (10 <sup>-3</sup> s/m <sup>3</sup> )	Std (10 <sup>-3</sup> s/m <sup>3</sup> )	FB	FS	NMSE	R	FAC2	FAC5
mesures	2.23	3.90						
Pasquill	1.86	4.05	0.18	-0.04	0.92	0.60	0.58	0.89

Tableau 22 : paramètres statistiques pour le premier scénario

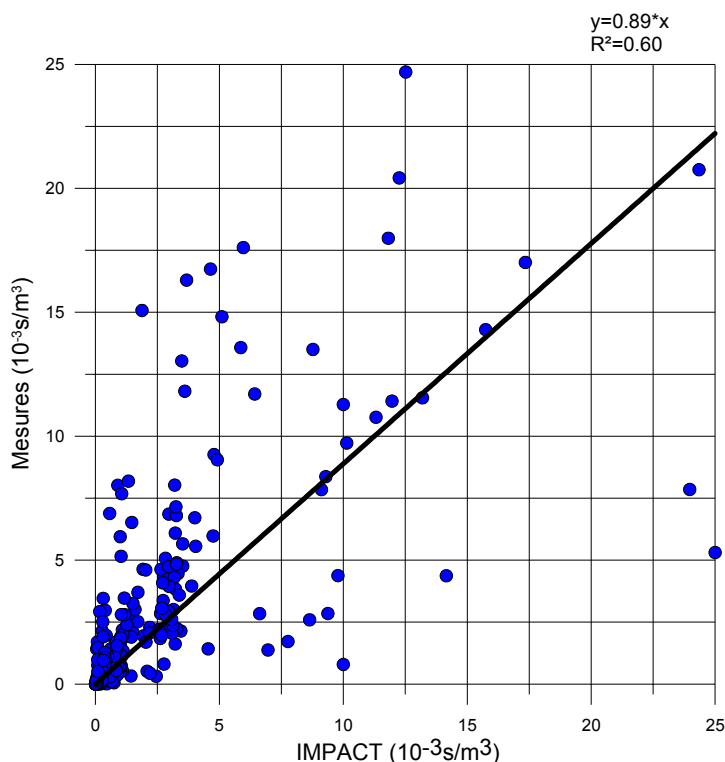


Figure 122 : comparaison modèle-mesure pour les concentrations maximums sur l'arc divisé par le débit de la source

Au regard des paramètres statistiques, la moyenne des concentrations modélisées sur toutes les expériences est proche de la moyenne des concentrations mesurées. D'autre part, le coefficient de corrélation de 0.6 et le pourcentage de résultats dans un facteur 2 par rapport aux mesures de l'ordre de 60% sont très satisfaisants. Le nuage de points (Figure 122) des résultats du modèle en fonction des mesures est cependant assez étalé et on peut remarquer un point singulier où la mesure est très faible alors que le modèle donne une concentration très élevée.

- **Scénario 2**

Nous avons gardé les mêmes paramètres météorologiques et nous avons utilisé les écarts-types de Doury pour calculer la concentration. Les paramètres statistiques ont été calculés pour le maximum de concentration sur l'arc à partir des 68 expériences (Tableau 23).

	Mean ( $10^{-3}$ s/m <sup>3</sup> )	Std ( $10^{-3}$ s/m <sup>3</sup> )	FB	FS	NMSE	R	FAC2	FAC5
mesures	2.23	3.90						
Doury	2.32	2.88	-0.04	0.30	0.71	0.65	0.39	0.75

Tableau 23 : paramètres statistiques pour le 2ème scénario

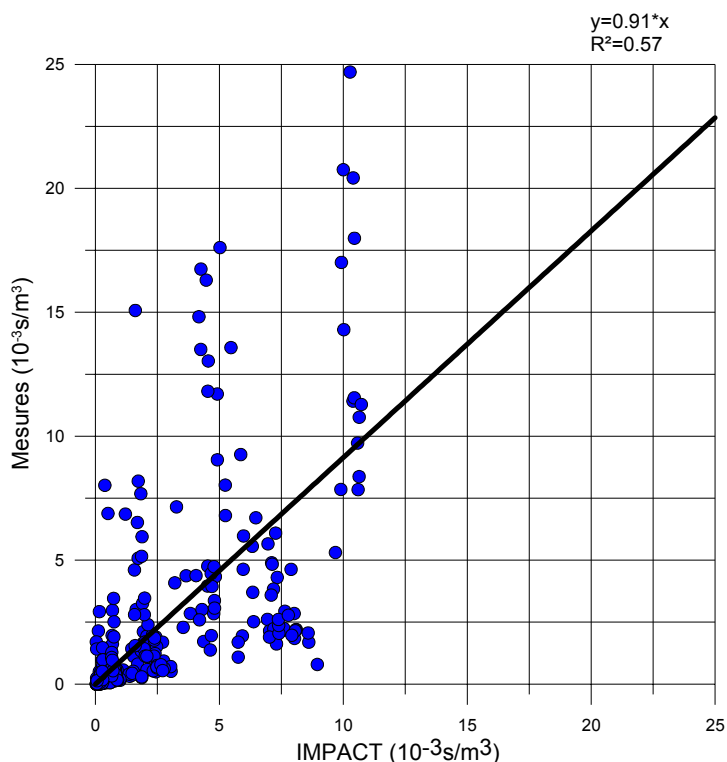


Figure 123 : comparaison modèle-mesures pour les maximums de concentration sur l'arc

En ce qui concerne les résultats de la simulation avec les écarts-types de Doury, les moyennes des concentrations mesurées et modélisées sont très proches. Le modèle surestime légèrement les concentrations. Le coefficient de corrélation est de 0.65 mais le pourcentage de résultats dans un facteur 2 est de 40% ce qui est moins bon qu'avec la modélisation de Pasquill. D'autre part, le nuage de points (Figure 123) est assez étalé et plusieurs points sont assez éloignés de la droite moyenne.

- **Scénario 3**

Nous avons aussi testé les écarts-types de Briggs avec les mêmes paramètres météorologiques. Les paramètres statistiques ont été calculés pour le maximum de concentration sur l'arc à partir des 68 expériences (Tableau 24).

	Mean ( $10^{-3}$ s/m <sup>3</sup> )	Std ( $10^{-3}$ s/m <sup>3</sup> )	FB	FS	NMSE	R	FAC2	FAC5
mesures	2.23	3.90						
Briggs	1.18	2.35	0.62	0.49	0.99	0.70	0.40	0.86

Tableau 24 : paramètres statistiques pour le 3ème scénario

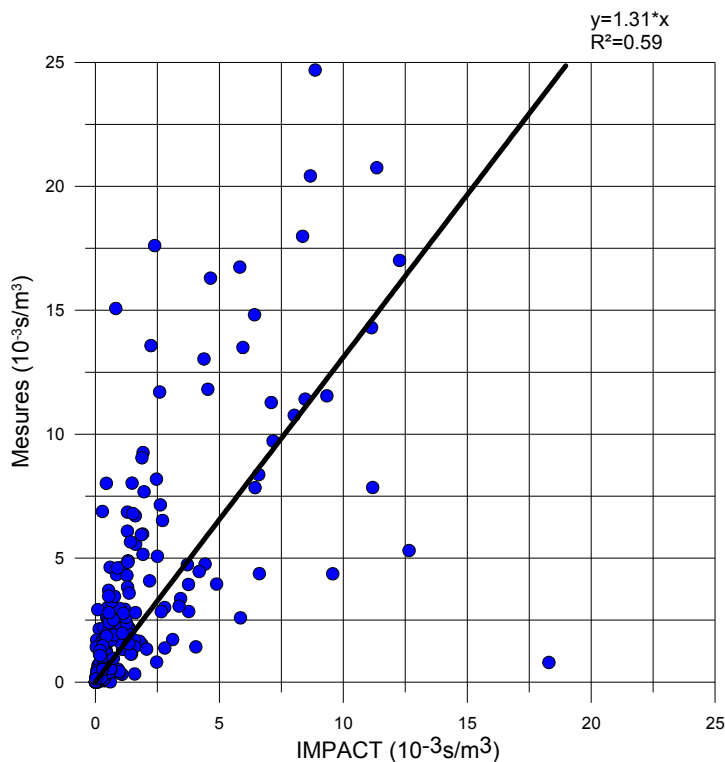


Figure 124 : comparaison modèle-mesures pour les maximums de concentration sur l'arc divisé par le débit de la source

Les résultats de la modélisation avec les écart-types de Briggs montrent que le modèle a tendance à sous-estimer les mesures. Cependant, le coefficient de corrélation est de 0.7 ce qui est très satisfaisant et le nuage de point (Figure 124) n'est pas très dispersé.

- **Scénario 4**

Enfin, nous avons gardé les mêmes paramètres météorologiques auxquels nous avons ajouté la classe de Pasquill correspondant à l'expérience. Cette classe ayant été déterminée par Irwin. Puis nous avons repris les écarts-types de Pasquill pour le calcul de la concentration. Les paramètres statistiques ont été calculés pour le maximum de concentration sur l'arc à partir des 68 expériences (Tableau 25).

	Mean ( $10^{-3}$ s/m <sup>3</sup> )	Std ( $10^{-3}$ s/m <sup>3</sup> )	FB	FS	NMSE	R	FAC2	FAC5
mesures	2.23	3.90						
Pasquill	1.94	4.83	0.14	-0.21	0.83	0.66	0.46	0.91

Tableau 25 : paramètres statistiques pour le 4<sup>ème</sup> scénario

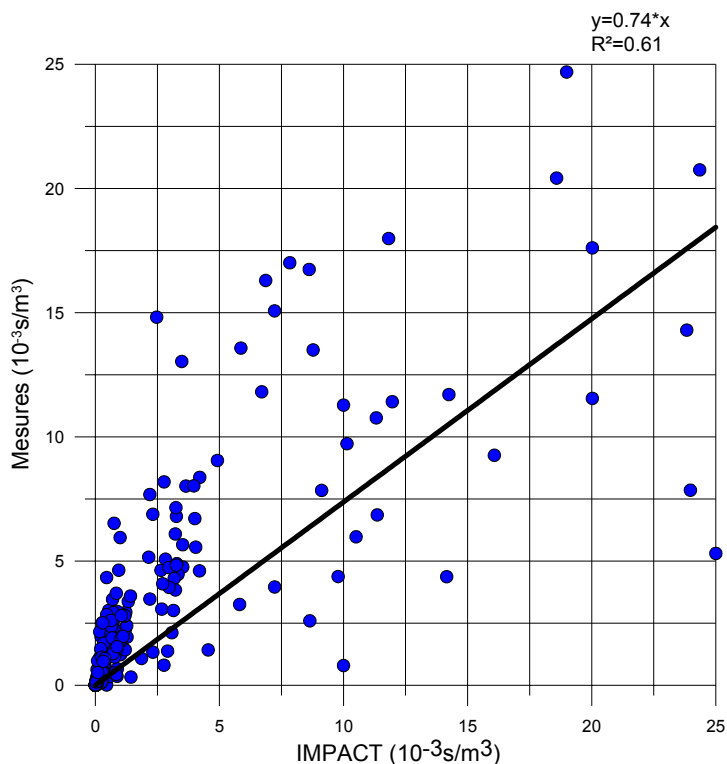


Figure 125 : comparaison modèle-mesures pour les maximums de concentration sur l'arc

Les résultats du 4<sup>ème</sup> scénario où nous avons utilisé la stabilité calculée par Irwin donne des résultats proche du premier scénario. Ceci montre que la méthode utilisée par Irwin pour calculer la stabilité est proche de la méthode « vent nébulosité » mais que quelques expériences diffèrent.

- **Analyse des résultats**

Les paramètres statistiques calculés et les nuages de points que nous avons obtenus montrent que les différentes approches de modélisation des écarts-types de diffusion ne sont pas équivalentes. La méthode la plus pertinente pour modéliser les expériences de Prairie Grass est la méthode de Pasquill. Ceci est logique car, historiquement, les écarts-types de Pasquill ont été ajustés avec les résultats de l'expérience de Prairie Grass.

Cependant, pour certaines mesures, il y a de grands écarts avec les résultats du modèle. Donc, pour essayer de comprendre les limites du modèle de Pasquill, on calcule le biais fractionnel en fonction de la distance à la source et pour différentes classes de stabilité.

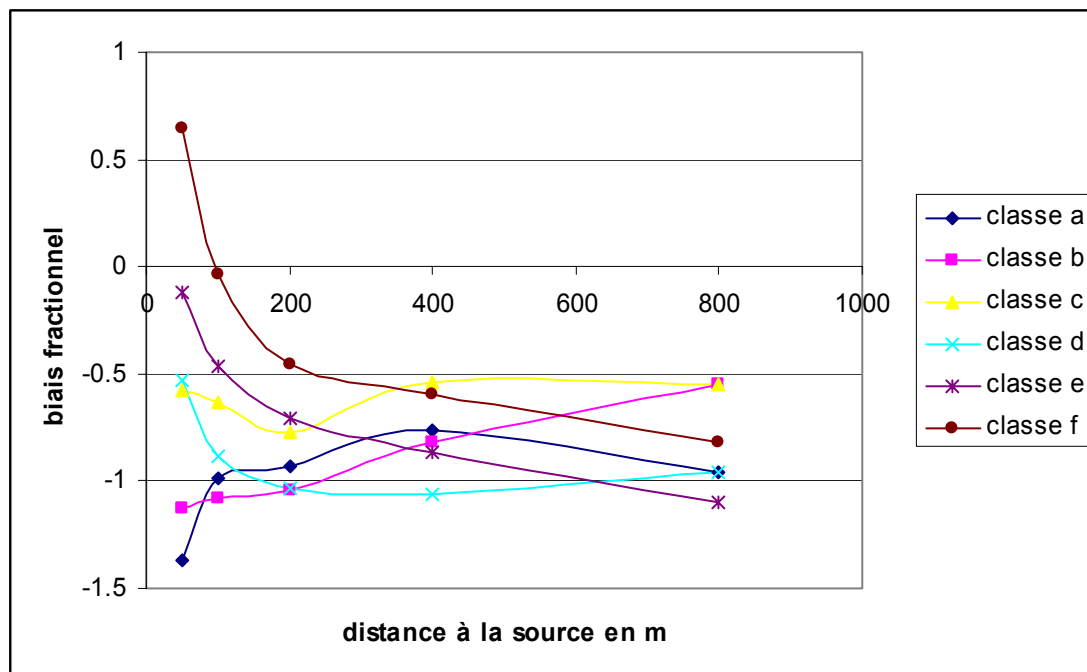


Figure 126 : évolution du biais fractionnel en fonction de la distance à la source et pour différents régimes de stabilité

On peut remarquer que dans les cas très stables (classe F) au voisinage de la source, le modèle de Pasquill surestime les concentrations. Dans les autres cas, le modèle sous-estime les concentrations.

#### 4.2.4. ELABORATION DES SCENARIOS DE SIMULATION AVEC LE MODELE TRAMES ET PRESENTATION DES RESULTATS

Pour construire les fichiers de données météorologiques nécessaires au fonctionnement de TRAMES, nous avons utilisé le modèle diagnostique MINERVE. Le relief du site de Prairie Grass étant plat, le modèle effectue uniquement une interpolation des mesures de vent et de température sur un maillage horizontal ayant un pas de 20m et un maillage vertical de 50 niveaux verticaux. Le sommet du domaine de calcul est de 50m et la hauteur du premier niveau au dessus du sol est de 1.5m. Le modèle MINERVE effectue aussi un calcul de turbulence. La turbulence est calculée par la méthode de Smagorinski et la hauteur de la couche limite est déterminée par la méthode de Vautard.

- **1<sup>er</sup> scénario**

Le modèle TRAMES est utilisé sur le même maillage que celui défini dans MINERVE. Les épisodes de rejet de SO<sub>2</sub> sont modélisés comme des rejets continus sur des périodes de 10 minutes, les bouffées sont émises toutes les 10 secondes. Le modèle de diffusion utilisé est le modèle de Pasquill et pour chaque expérience, la classe de stabilité est renseignée par l'utilisateur à partir des données d'Irwin. La hauteur de la couche limite est celle calculée par MINERVE.

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

Le calcul de la concentration au sol est moyenné sur 10 minutes. Les paramètres statistiques ont été calculés pour le maximum de concentration sur l'arc à partir des 68 expériences (Tableau 26)

	Mean ( $10^{-3}\text{s/m}^3$ )	Std ( $10^{-3}\text{s/m}^3$ )	FB	FS	NMSE	R	FAC2	FAC5
mesures	2.23	3.90						
TRAMES	1.32	2.76	0.50	0.33	0.94	0.66	0.46	0.91

Tableau 26 : paramètres statistiques pour le 1<sup>er</sup> scénario

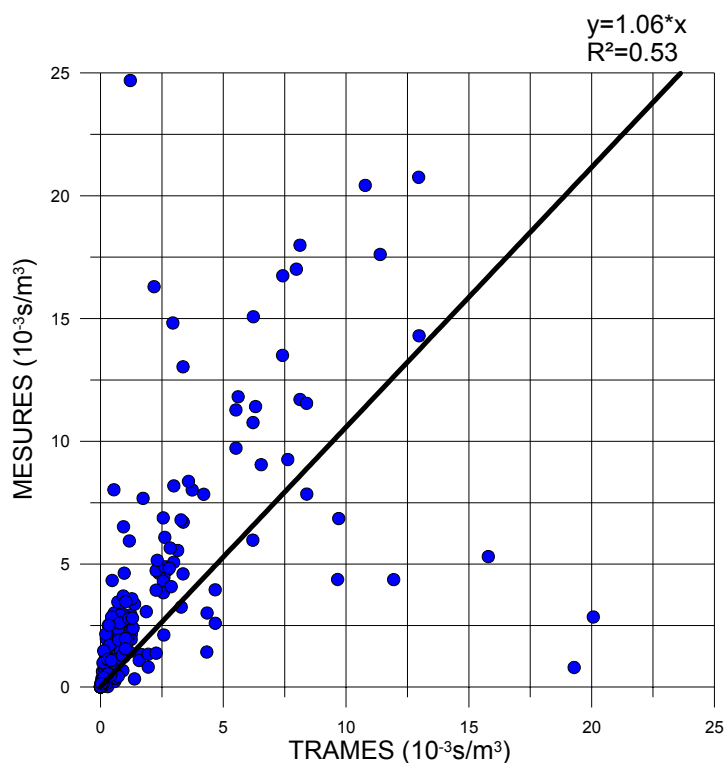


Figure 127 : comparaison des mesures et des résultats du modèle TRAMES pour les concentrations maximums sur l'arc divisé par le débit de la source

Au regard des paramètres statistiques, on remarque que le modèle TRAMES sous-estime en moyenne les concentrations. Le nuage de points (Figure 127) des résultats du modèle en fonction des mesures est assez étalé et on peut remarquer quelques points singuliers où la mesure est très différente du résultat du modèle.

- **2<sup>ème</sup> scénario**

Nous avons construit un deuxième scénario pour TRAMES, la classe de stabilité n'est plus définie par l'utilisateur, mais les coefficients de diffusion turbulente sont calculés par MINERVE en fonction des conditions météorologiques.

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

Le calcul de la concentration au sol est moyenné sur 10 minutes. Les paramètres statistiques ont été calculés pour le maximum de concentration sur l'arc à partir des 68 expériences (Tableau 27)

	Mean ( $10^{-3}\text{s/m}^3$ )	Std ( $10^{-3}\text{s/m}^3$ )	FB	FS	NMSE	R	FAC2	FAC5
mesures	2.23	3.90						
TRAMES	1.78	3.34	0.21	0.15	0.48	0.76	0.41	0.63

Tableau 27 : paramètres statistiques pour le 2<sup>ème</sup> scénario

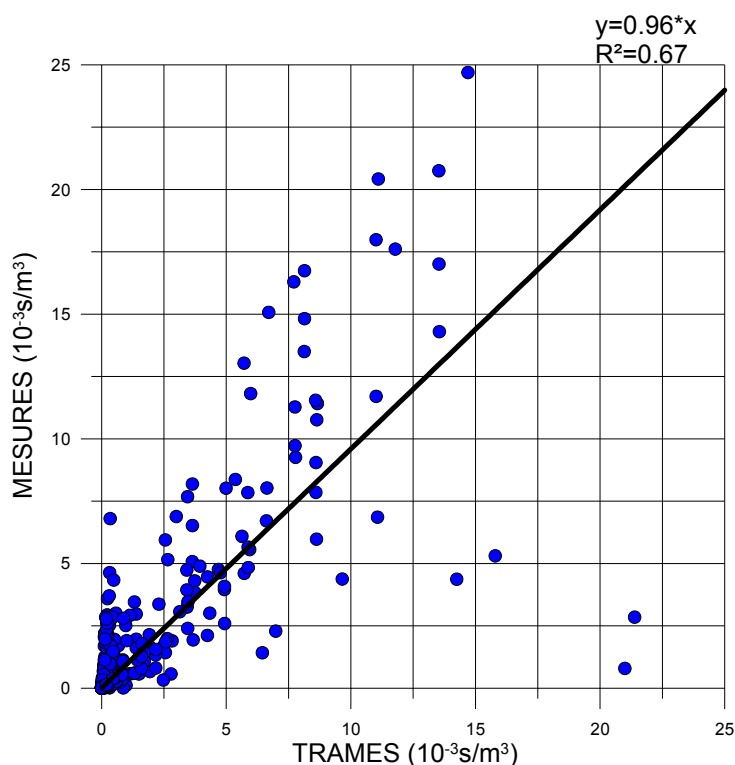


Figure 128 : comparaison des concentrations mesurées et modélisées

A partir de ce scénario, nous obtenons des résultats satisfaisants, la concentration moyenne calculée est de 1.78 pour une concentration moyenne mesurée de 2.23. D'autre part, la proportion de résultats dans un facteur 2 par rapport aux mesures est de 41%. Le nuage de points (Figure 128) des résultats du modèle en fonction des mesures est assez étalé et la proportion de résultats dans un facteur 5 par rapport aux mesures n'est que de 63%.



- **Analyse des résultats**

Pour essayer de comprendre l'origine de ces erreurs, nous avons étudié le comportement du modèle en fonction de la distance à la source et de la stabilité. (Figure 129).

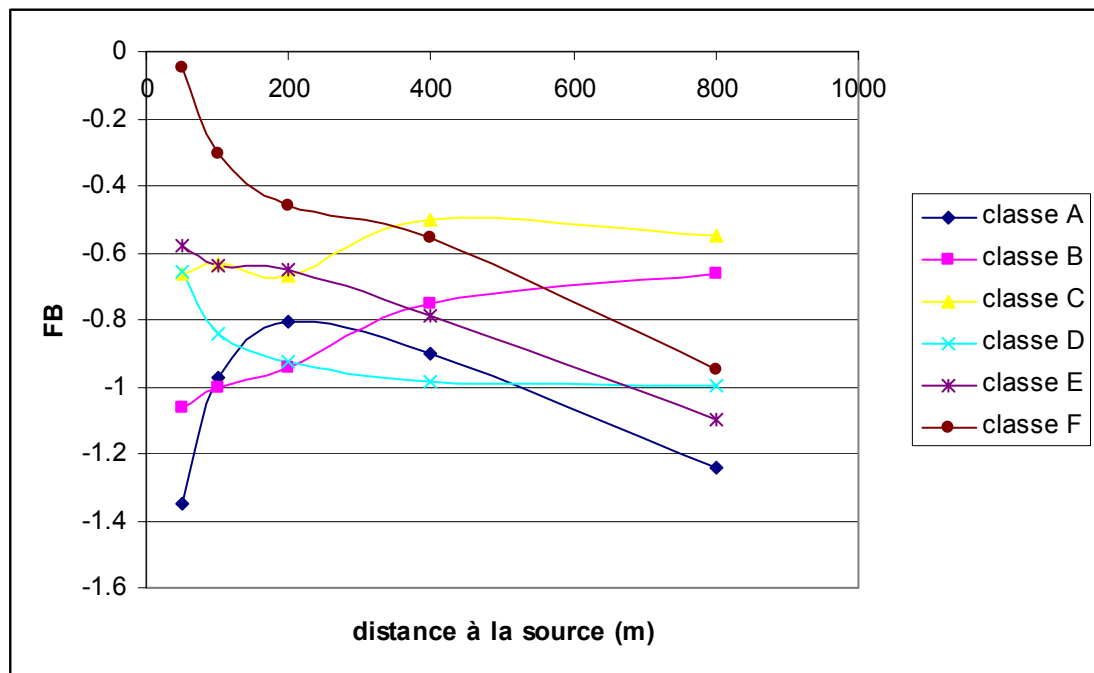


Figure 129 : évolution de biais fractionnel en fonction de la distance à la source et pour les différentes classes de stabilité pour le premier scénario

On remarque que pour toutes les situations, le modèle TRAMES sous-estime les concentrations. Cependant, pour les classes stables, le biais fractionnel augmente quand on s'éloigne de la source. En revanche pour les classes B et C, le biais fractionnel diminue quand on s'éloigne de la source.

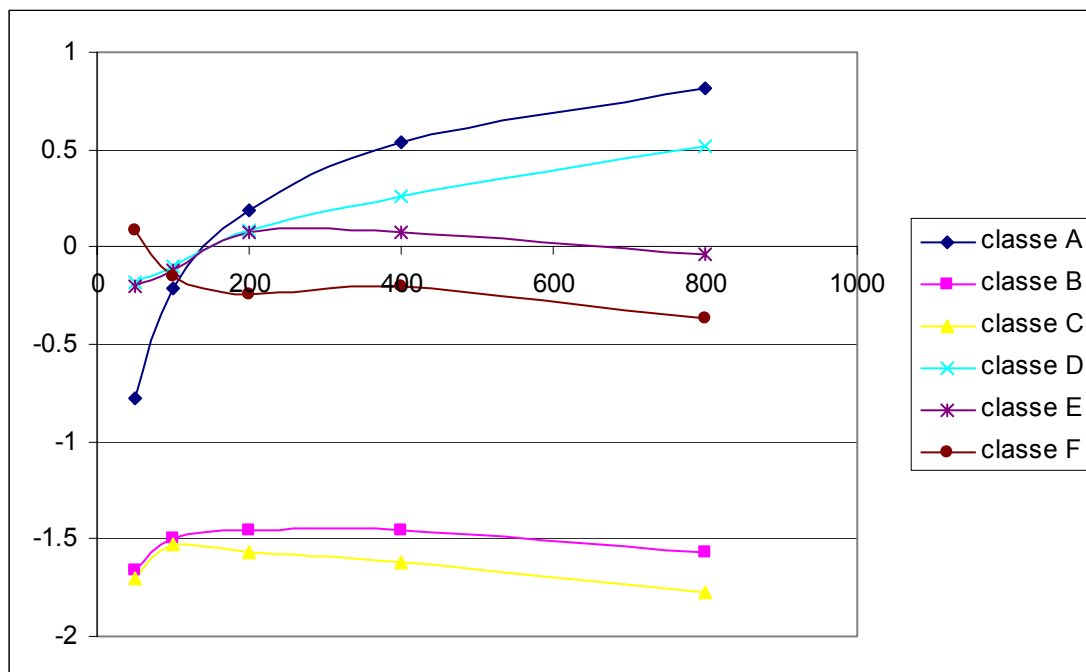


Figure 130 : évolution du biais fractionnel en fonction de la distance à la source et pour différentes classes de stabilité pour le 2<sup>ème</sup> scénario.

On remarque que pour les situations neutres et stables, le modèle donne des résultats proches des mesures puisque le biais fractionnel est voisin de 0. Pour les situations très instables, le modèle sous-estime les concentrations au voisinage de la source puis il surestime les concentrations quand on s'éloigne de la source. Dans les situations instables (classe B et C) le modèle sous-estime nettement les concentrations. L'évaluation des conditions de stabilité par le modèle pose visiblement certains problèmes.

#### 4.2.5. ELABORATION DES SCENARIOS DE SIMULATION AVEC LE MODELE SPRAY ET PRESENTATION DES RESULTATS

Les scénarios de modélisation pour le modèle SPRAY sont assez différents des scénarios de modélisation pour TRAMES. Pour construire les fichiers de données météorologiques nécessaires au fonctionnement de SPRAY, nous avons utilisé le modèle diagnostique MINERVE. Le relief du site de Prairie Grass étant plat, le modèle effectue uniquement une interpolation des mesures de vent et de température sur un maillage horizontal ayant un pas de 20m et un maillage vertical de 50 niveaux verticaux. Le sommet du domaine de calcul est de 500m et la hauteur du premier niveau vertical est de 1.5m. Le modèle MINERVE n'effectue pas le calcul de turbulence.

Le modèle SPRAY permet de calculer la turbulence à l'aide de la méthode TURKEY niveau 1. Ne possédant pas les données météorologiques des journées complètes de chaque expérience, nous avons construit les fichiers de chronologies météorologiques en imposant la valeur de la température et de la nébulosité de l'heure de l'expérience.

Le modèle SPRAY est utilisé sur le même maillage que celui défini dans MINERVE. Les épisodes de rejet de SO<sub>2</sub> sont modélisés comme des rejets de 10000 particules émises toutes les 10 secondes.

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

Les concentrations au sol sont moyennées sur 5 minutes. Pour effectuer les calculs statistiques, nous avons utilisé les concentrations calculées au bout de 10 minutes, mais dans les situations où le vent est inférieur à 2 m/s, pour les récepteurs situés à 800m de la source, nous avons utilisé les concentrations calculées à 15 minutes. Les paramètres statistiques ont été calculés pour le maximum de concentration sur l'arc à partir des 68 expériences. (Tableau 28)

	Mean ( $10^{-3}$ s/m <sup>3</sup> )	Std ( $10^{-3}$ s/m <sup>3</sup> )	FB	FS	NMSE	R	FAC2	FAC5
mesures	2.23	3.90						
SPRAY	0.7	1.05	1.03	1.15	3.05	0.66	0.39	0.81

Tableau 28 : paramètres statistiques pour le modèle SPRAY

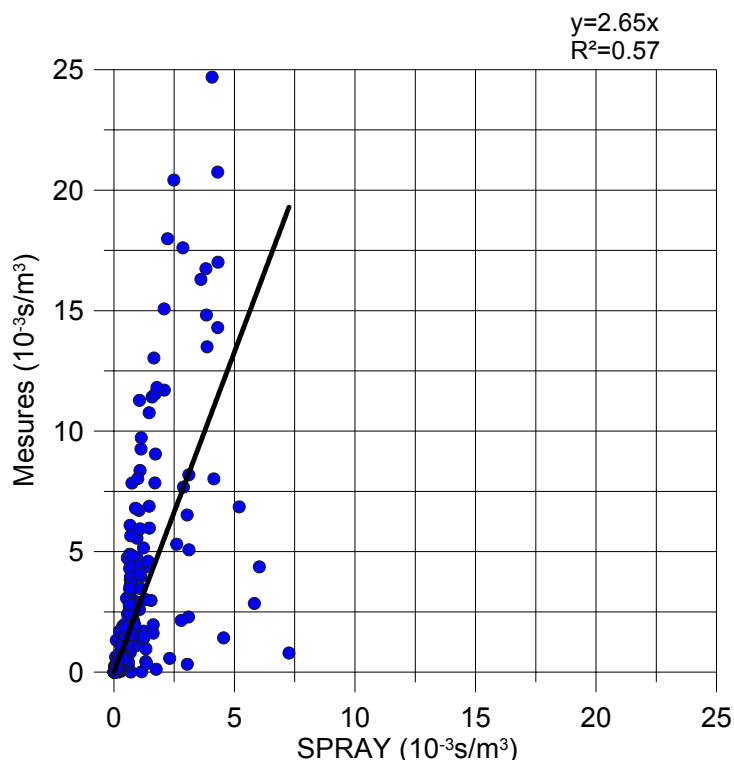


Figure 131 : comparaison des mesures et des résultats du modèle SPRAY

On remarque que le modèle SPRAY sous-estime fortement les concentrations. La moyenne des concentrations modélisées est de 0.7, alors que la moyenne des concentrations mesurées est de 2.23. Seulement 40% des résultats sont dans un facteur 2 par rapport aux mesures.

- **Analyse des résultats**

Pour essayer de comprendre l'origine de ces erreurs, nous avons étudié le comportement du modèle en fonction de la distance à la source et de la stabilité (Figure 132).

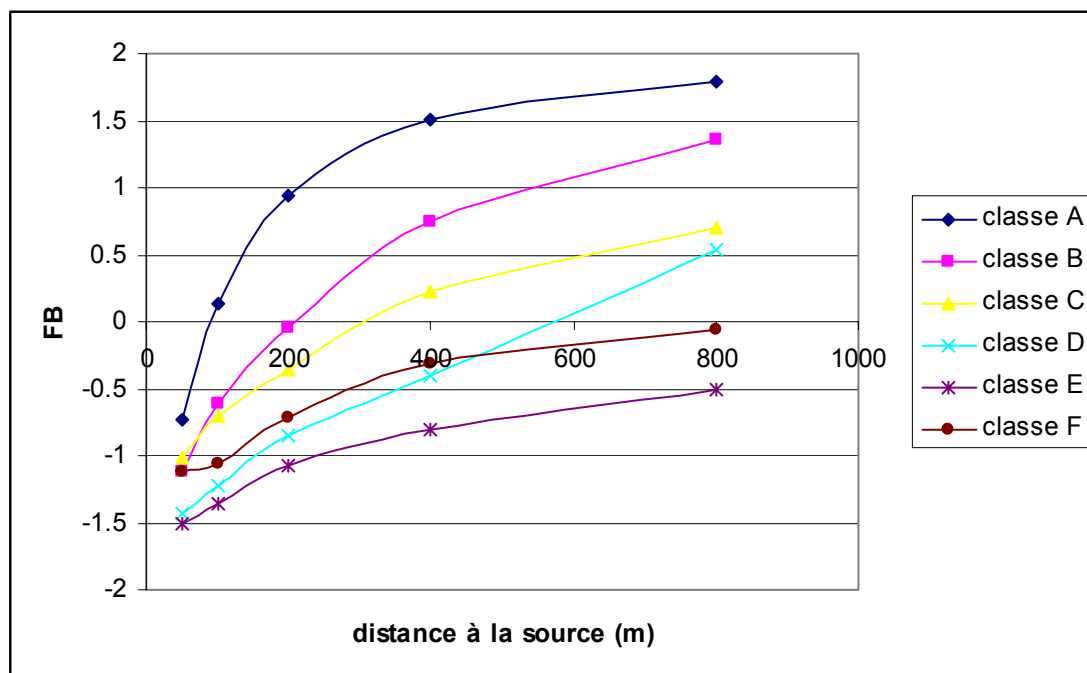


Figure 132 : évolution du biais fractionnel en fonction de la distance à la source et pour les différentes classes de stabilité

On remarque qu'au voisinage de la source, le modèle sous-estime fortement les mesures, mais les résultats sont plus proches des mesures quand on s'éloigne de la source. Cependant dans les situations instables, le modèle a tendance à surestimer les mesures.

- **Conclusion**

Les résultats du modèle SPRAY sont inférieurs aux mesures, notamment dans les situations stables. Ces erreurs sont peut-être dues au calcul de turbulence, il est possible que les écart-types sur les vitesses soient mal évalués.

#### 4.2.6. COMPARAISON DES RESULTATS DES MODELES GAUSSIENS

Les trois modèles Gaussiens : ADMS, ARIA IMPACT et TRAMES sont fondés sur des méthodologies de calcul de la dispersion très proches. Nous avons donc comparé les résultats de ces trois modèles.

Les modèles ARIA IMPACT et ADMS donnent des résultats statistiques assez proches. Si on les compare point par point (Figure 133) on remarque que les 2 modèles sont relativement proches malgré quelques points qui s'écartent de la droite moyenne. Ceci s'explique par le fait que le calcul des écart-types est différent dans les deux modèles.

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

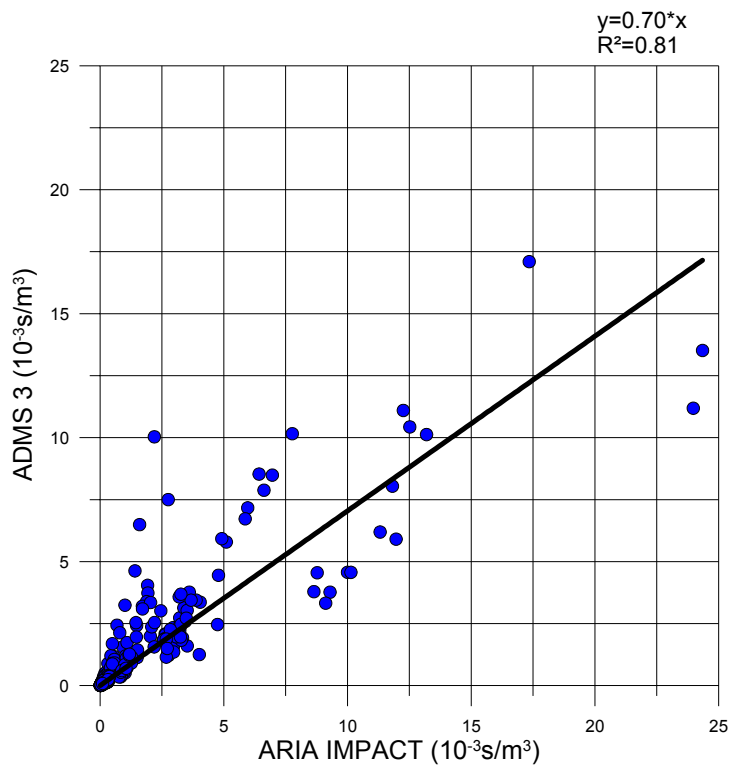


Figure 133 : comparaison des résultats d'ADMS et d'ARIA IMPACT

Le modèle TRAMES est un modèle à bouffées gaussiennes, donc sur un terrain plat la solution de ce modèle tend vers une solution gaussienne continue. Nous avons donc comparé les résultats du modèle TRAMES aux résultats du modèle ARIA IMPACT avec la même formulation des écarts-types (Figure 134 et Figure 135).

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

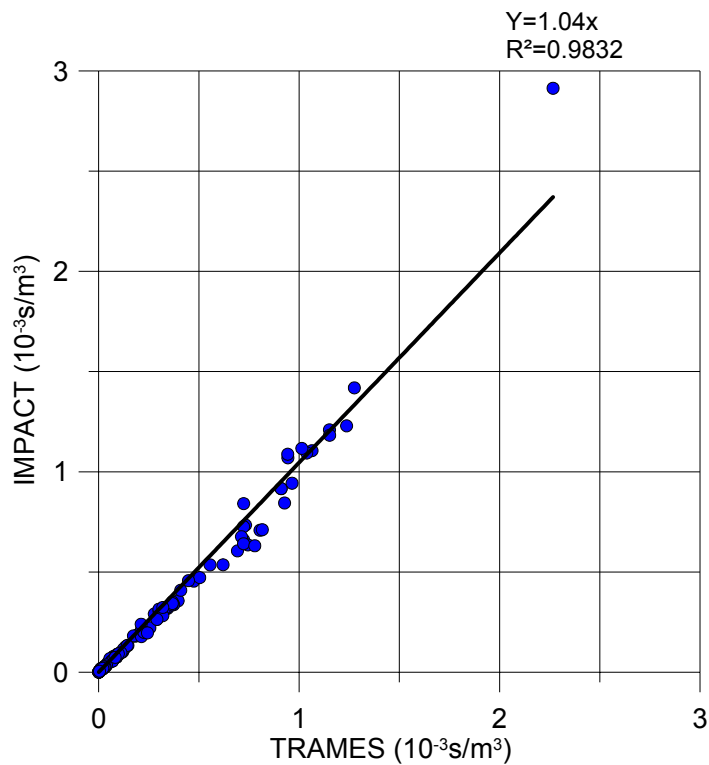


Figure 134 : comparaison des concentrations sur l'axe calculées par TRAMES et par IMPACT pour les classes de stabilité A, B et C

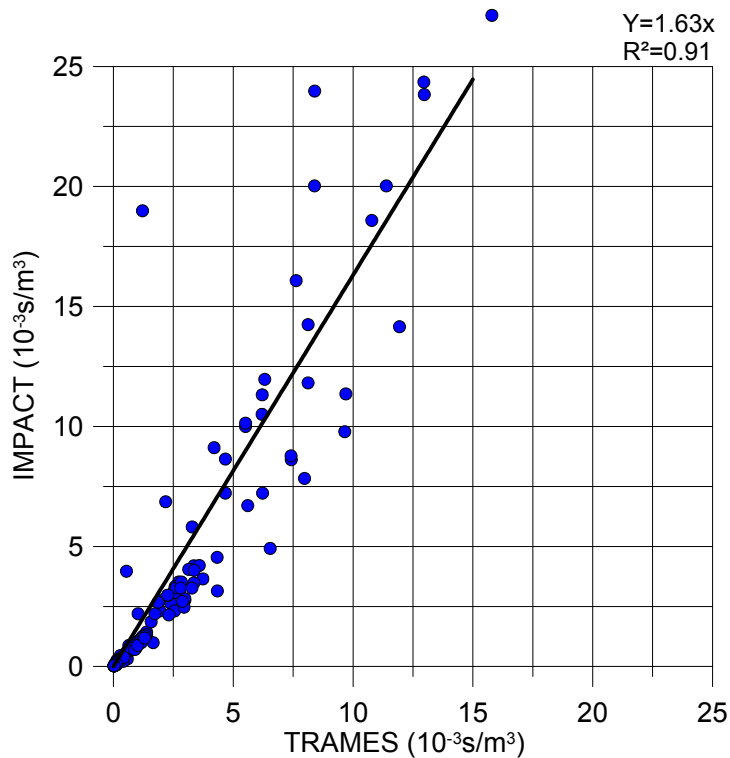


Figure 135 : comparaison des concentrations calculées par TRAMES et IMPACT pour les classes de stabilité D, E et F

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

On remarque sur ces graphes que les 2 modèles donnent des résultats très proches pour les situations instables. En revanche, pour les situations stables et neutres, les résultats du modèle TRAMES diffèrent des résultats d'IMPACT d'un facteur supérieur à 1.5.

Lors des comparaisons du modèle ARIA IMPACT avec les mesures de l'expérience de Prairie Grass, nous avons vu que les moyennes des concentrations mesurées et modélisées étaient très proches. En regardant les résultats en détails, nous avons constaté que le modèle ARIA IMPACT surestimait les concentrations au voisinage de la source dans les situations stables et sous-estimait les concentrations dans les autres cas. Or les résultats du modèle TRAMES diffèrent des résultats du modèle ARIA IMPACT dans les situations stables. La moyenne des concentrations modélisées avec TRAMES est donc plus faible que la moyenne des concentrations mesurées. Après discussion avec ARIA Technologies, le fait que le modèle TRAMES donne des concentrations plus faibles que IMPACT au voisinage de la source dans les cas stables provient de l'initialisation des écarts-types au niveau de la source. En diminuant la valeur initiale des écarts-types on obtient des concentrations plus fortes au voisinage de la source.

#### 4.2.7. CONCLUSION

En comparant les résultats des 4 modèles de dispersion sur l'expérience de Prairie Grass, on peut remarquer que les modèles gaussiens donnent des résultats semblables assez proche en moyenne des mesures. En revanche, le modèle lagrangien a tendance à sous-estimer en moyenne les mesures, bien que la proportion de résultats dans un facteur 2 soit d'environ 40% comme pour les modèles gaussiens.

### 4.3. LE CAS TEST D'INDIANAPOLIS

#### 4.3.1. PRESENTATION DE L'EXPERIENCE

L'Electric Power Research Institute (EPRI) a fait réaliser une campagne de traçage au SF<sub>6</sub> sur le site de la centrale électrique de Perry situé à Indianapolis (TRC, 1986). La centrale se situe dans un site urbain complexe (longueur de rugosité de 1m) et est entourée d'un grand nombre d'immeubles dans un rayon de 1 à 2km. Les émissions de SF<sub>6</sub> ont été réalisées à partir d'une cheminée de 83.8m de hauteur par rapport au sol. La base de données comprend 170 heures de traçage comprises entre septembre et octobre 1985, regroupées en 19 blocs de 8 à 9 heures chacun. Les mesures de concentration ont été réalisées au moyen d'un réseau de 160 récepteurs situés au niveau du sol et placés suivant des arcs à des distances comprises entre 0.25 et 12km. Les données météorologiques ont été mesurées à partir d'un mat de 94m placé au sommet d'un immeuble situé au centre du domaine d'étude et de trois mats de 10m situés à des emplacements urbain, suburbain et rural. A chaque mesure, un indicateur de qualité compris entre 0 et 3 a été affecté. Les calculs des paramètres statistiques n'ont été effectués que sur les expériences de qualité 2 ou 3.

#### 4.3.2. ELABORATION DES SCENARIOS POUR ADMS ET PRESENTATION DES RESULTATS

A partir de cette base de données, plusieurs scénarios ont été envisagés.

- **Scénario 1**

Nous avons d'abord utilisé les données de vent à 94m, la couverture nuageuse, la température au sol et la hauteur de la couche limite. La longueur de rugosité a été choisie à 1m. Les calculs statistiques sont présentés ci-dessous (cf Tableau 29).

	Mean (10 <sup>-9</sup> s/m <sup>3</sup> )	Std (10 <sup>-9</sup> s/m <sup>3</sup> )	FB	FS	NMSE	R	FAC2	FAC5
mesures	258.51	221.46						
ADMS	172.5	230.13	0.40	-0.04	0.99	0.41	0.34	0.54

Tableau 29 : paramètres statistiques calculés pour les 170 expériences de qualité 2 et 3 (excepté la journée du 29 septembre) sur les concentrations maximums sur l'arc

- **Scénario 2**

Nous avons ensuite utilisé les mesures de vent à 10m pour construire le deuxième scénario. Les calculs statistiques sont présentés ci-dessous (cf Tableau 30).

	Mean (10 <sup>-9</sup> s/m <sup>3</sup> )	Std (10 <sup>-9</sup> s/m <sup>3</sup> )	FB	FS	NMSE	R	FAC2	FAC5
mesures	258.51	221.46						
ADMS	190.67	227.8	0.30	-0.03	0.89	0.40	0.39	0.65

Tableau 30 : paramètres statistiques calculés pour les 170 expériences de qualité 2 et 3 (excepté la journée du 29 septembre) sur les concentrations maximums sur l'arc.



Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

Le modèle ADMS sous-estime les concentrations. Ces résultats sont aussi assez différents de ceux que l'on trouve dans la littérature. Nous avons donc recherché les causes possibles, responsables de tels écarts, afin d'améliorer nos scénarios de simulation et faire que nos résultats soient plus proches des mesures. Une analyse des résultats nous a permis de constater que pour les cas stables, la hauteur de la couche limite est basse (environ 200m). Une fraction importante du panache traverse la couche limite et donc n'est plus prise en compte dans le calcul. Dans les scénarios suivants, nous avons donc augmenté la longueur de rugosité de 1 m à 3 m. Augmenter la rugosité à deux effets (cf étude de sensibilité chapitre 3.5) :

- cela augmente la dispersion donc la hauteur de la couche limite calculée est plus haute.
- le profil vertical de vent est modifié et le vent calculé à 100m est plus fort pour une rugosité de 3m que pour une rugosité de 1m.

En augmentant la hauteur de couche limite, le panache ne traverse pas le sommet de cette couche mais reste confiné entre le sol et le sommet. D'autre part, il n'est pas incohérent de prendre une longueur de rugosité de 3m pour le site d'Indianapolis qui est un site fortement urbanisé avec des bâtiments hauts et proches les uns des autres.

### • Scénario 3

Le troisième scénario est identique au deuxième, à un paramètre près, nous avons augmenté la longueur de rugosité de 1m à 3m. Les calculs statistiques sont présentés ci-dessous (cf Tableau 31).

	Mean ( $10^{-9}$ s/m <sup>3</sup> )	Std ( $10^{-9}$ s/m <sup>3</sup> )	FB	FS	NMSE	R	FAC2	FAC5
mesures	257.78	221.56						
ADMS	248.78	249.32	0.03	-0.12	0.98	0.28	0.39	0.74

Tableau 31 : paramètres statistiques calculés pour les 170 expériences de qualité 2 et 3 pour les concentrations maximum sur l'arc

*Remarque* : nous n'avons pas effectué de scénario avec les mesures de vent à 94m et une longueur de rugosité de 3m car pour un grand nombre d'expériences ADMS calcule une situation de vent calme au sol et n'est donc pas en mesure de poursuivre le calcul.

### • Scénario 4

Le scénario précédent donne des résultats très satisfaisants. ADMS sous-estime légèrement les concentrations (4 %) mais dans la littérature les tests effectués sur le logiciel ADMS montrent une tendance à la surestimation (CERC 2001), ce qui n'est pas le cas de nos résultats. Nous avons donc cherché à définir un scénario correspondant aux résultats présentés dans ces articles. Le quatrième scénario a été construit avec les mêmes données que le troisième scénario mais la hauteur de la couche limite n'est plus spécifiée par l'utilisateur, elle est calculée par le logiciel. Nous obtenons ainsi les résultats suivants pour les expériences de qualité 2 et 3 (cf Tableau 32).

	Mean ( $10^{-9}$ s/m <sup>3</sup> )	Std ( $10^{-9}$ s/m <sup>3</sup> )	FB	FS	NMSE	R	FAC2	FAC5
mesures	257.78	221.56						
ADMS	257.63	234.6	0.01	-0.06	0.90	0.28	0.43	0.79

Tableau 32 : paramètres statistiques calculés pour les 170 expériences de qualité 2 et 3 pour les concentrations maximum sur l'arc

Il est important de noter que la comparaison point par point des maximums de concentration sur l'arc donne un nuage de points très étalé (Cf Figure 136).

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

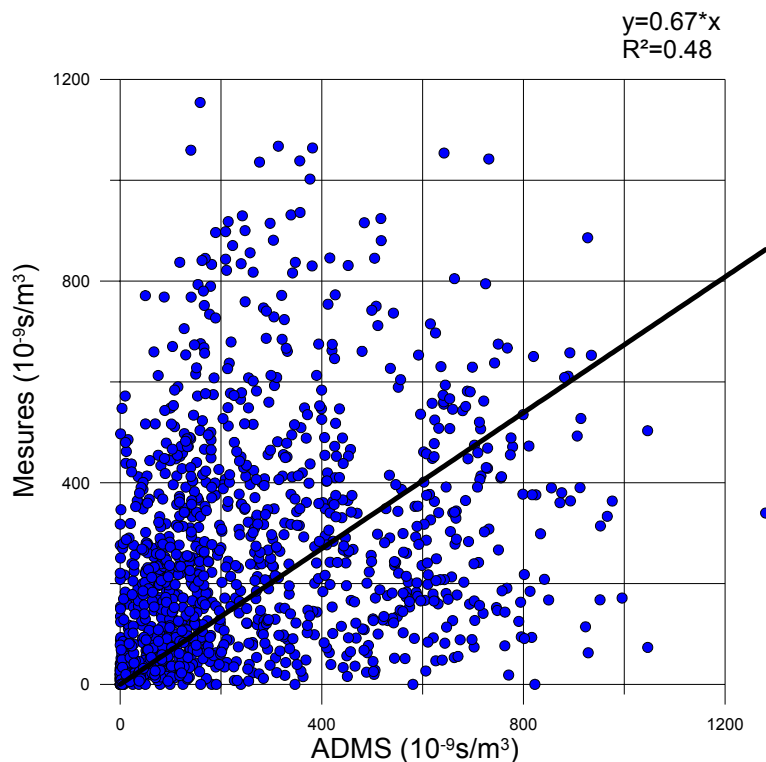


Figure 136 : Comparaison des résultats du quatrième scénario d'ADMS et des mesures

- **Résultats des simulations du CERC**

Dans le rapport de validation d'ADMS fourni par le CERC, les résultats de la validation du logiciel sur le cas test d'Indianapolis sont les suivants (cf Tableau 33).

	Mean ( $10^{-9}\text{s/m}^3$ )	Std ( $10^{-9}\text{s/m}^3$ )	FB	FS	NMSE	R	FAC2
mesures	257.8	221.6					
ADMS	267.3	258.2	-0.04	-0.15	1.3	0.23	0.42

Tableau 33 : paramètres statistiques calculés pour les 170 expériences de qualité 2 et 3 pour les maximums de concentration sur l'arc

Les moyennes sur les concentrations maximales obtenues par le CERC ne sont pas tout à fait les mêmes que les nôtres, mais les proportions de valeur dans un facteur 2 sont semblables : Fac2=40% pour les deux simulations.

- **Analyse des résultats**

On étudie l'évolution du biais fractionnel en fonction de la distance à la source et de la stabilité. (cf Figure 137).

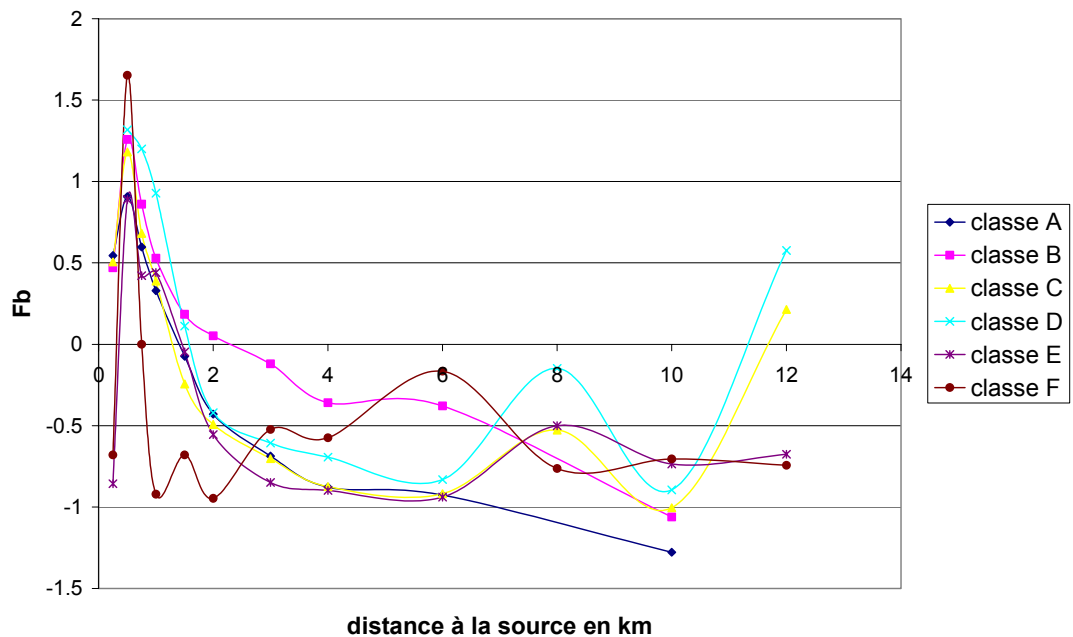


Figure 137 : Evolution du biais fractionnel des résultats d'ADMS en fonction de la distance à la source pour différents régimes de stabilité

Le logiciel ADMS a tendance à surestimer les concentrations au voisinage de la source et à les sous-estimer sur les arcs plus éloignés.

### 4.3.3. ELABORATION DES SCENARIOS POUR ARIA IMPACT ET PRESENTATION DES RESULTATS

Compte tenu des différences entre les logiciels ARIA IMPACT et ADMS, il n'est pas possible de réaliser rigoureusement les mêmes simulations avec les deux logiciels. Nous avons donc construit de nouveaux scénarios pour étudier le cas d'Indianapolis, ils sont présentés ci-dessous.

- **Scénario 1**

Nous avons d'abord utilisé les données de vent à 94m, la température au sol et la classe de stabilité de Pasquill. La longueur de rugosité a été choisie à 1m et les écarts-types de Briggs ont été utilisés. Il n'y a pas de blocage par la couche limite. Les surhauteurs de panache sont calculées avec la méthode de Briggs. Les calculs statistiques ont été réalisés pour les résultats de toutes les expériences de qualité 2 et 3, excepté pour la journée du 29 septembre, uniquement sur la concentration maximum sur l'arc.

- **Scénario 2**

Nous avons ensuite gardé les mêmes paramètres météorologiques et nous avons utilisé les écarts-types de Pasquill. Les calculs statistiques ont été réalisés pour les résultats de toutes les expériences de qualité 2 et 3 excepté pour la journée du 29 septembre.

	Mean ( $10^{-9}$ s/m <sup>3</sup> )	Std ( $10^{-9}$ s/m <sup>3</sup> )	FB	FS	NMSE	R	FAC2	FAC5
mesures	259.00	221.52						
IMPACT Briggs	261.13	269.42	-0.01	-0.20	0.87	0.37	0.40	0.65
IMPACT Pasquill	247.44	290.35	0.05	-0.27	0.81	0.45	0.42	0.63

Tableau 34 : comparaison des paramètres statistiques pour l'expérience d'Indianapolis

Les résultats des deux scénarios donnent des résultats semblables. La modélisation avec les écart-types de Briggs a tendance à surestimer très légèrement les résultats alors que la modélisation avec les écarts-types de Pasquill tend à les sous-estimer. La proportion de résultats dans un facteur 2 est la même pour les deux approches de modélisation.

Il est intéressant de comparer les résultats du logiciel et les observations point par point. Bien que les moyennes sur toute l'expérience soient bonnes, les nuages de points sont assez étalés (Figure 138 Figure 139).

*Remarque : nous avons modifié l'échelle de la figure représentant les concentrations obtenues avec le deuxième scénario pour pouvoir visualiser tous les points*

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

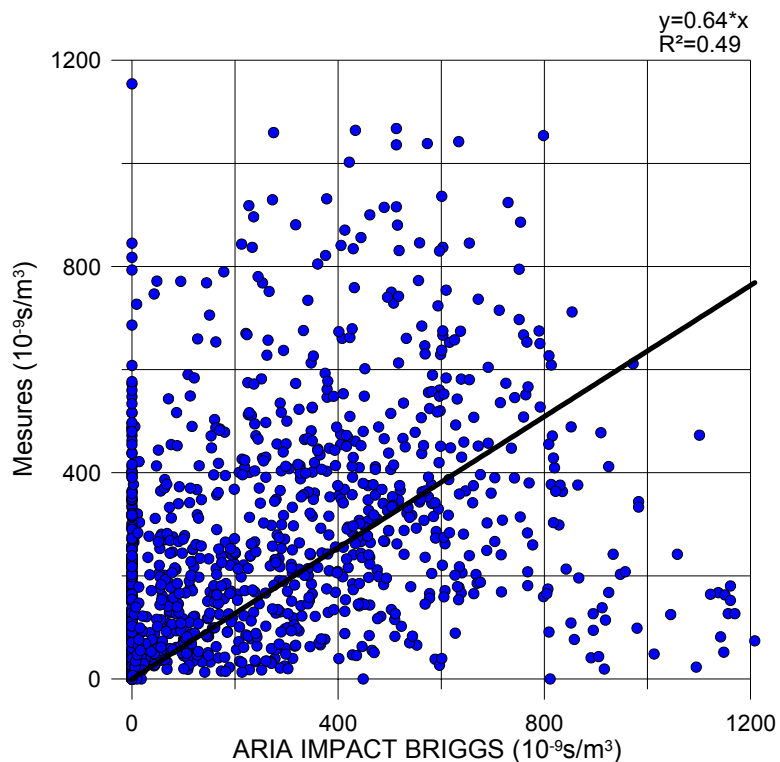


Figure 138 : comparaison des mesures et des résultats d'ARIA IMPACT sur le scénario 1

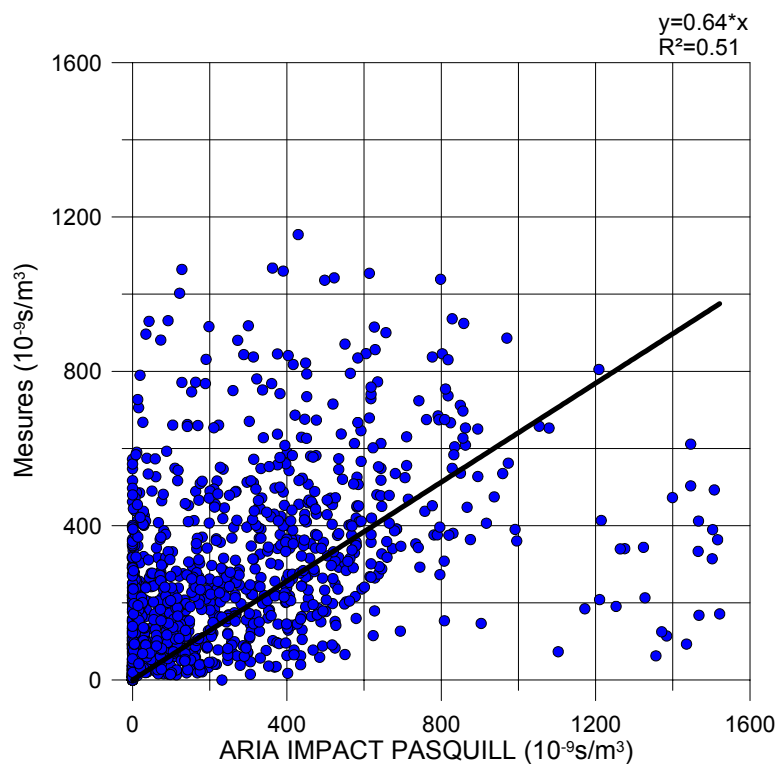


Figure 139 : comparaison des mesures et des résultats d'ARIA IMPACT sur le scénario 2 (attention, l'échelle n'est pas la même que dans la précédente comparaison)

• **Analyse des résultats**

Pour essayer de comprendre les limites des modèles, on étudie leur comportement en fonction de la stabilité et de la distance à la source. (cf Figure 140 et Figure 141).

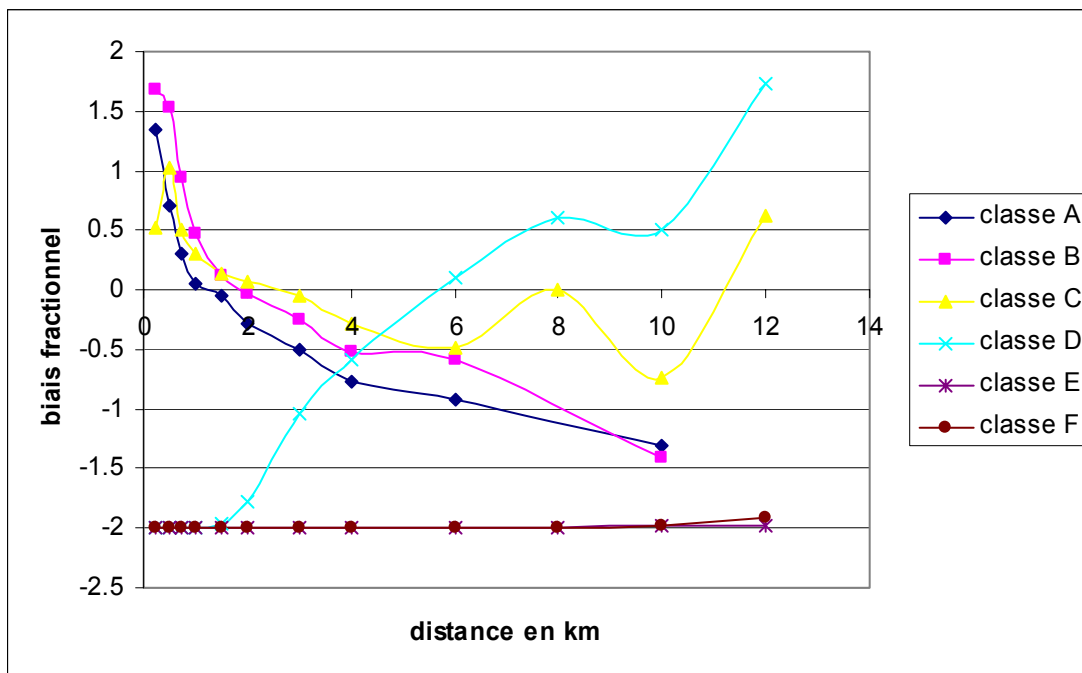


Figure 140 : Evolution du biais fractionnel des résultats du modèle de Briggs en fonction de la distance à la source pour différents régimes de stabilité

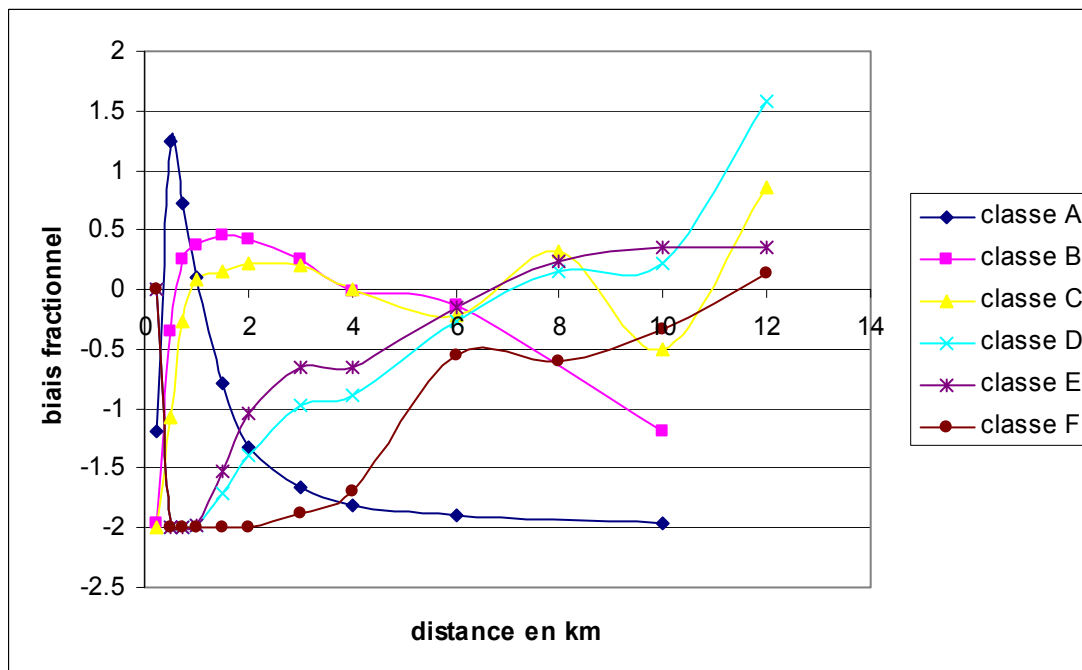


Figure 141 : évolution du biais fractionnel des résultats du modèle de Pasquill en fonction de la distance à la source pour différents régime de stabilité

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

On remarque sur les courbes de la Figure 140 que le modèle de Briggs sous-estime très largement les concentrations dans les situations stables. Ceci est du au fait qu'avec la modélisation de Briggs, dans les situations stables, le panache atteint le sol à une distance supérieure à 12 km c'est pourquoi les concentrations sont nulles sur les arcs. En revanche le modèle de Pasquill (Figure 141) donne une bonne estimation des concentrations dans les situations stables à partir de 4 km. Au voisinage de la source le modèle sous-estime les concentrations. Dans les situations instables, le modèle de Briggs et le modèle de Pasquill surestime légèrement les concentrations au voisinage de la source puis les sous-estime lorsqu'on s'éloigne de la source.

#### 4.3.4. ELABORATION DES SCENARIOS POUR LE MODELE TRAMES ET ANALYSE DES RESULTAS

Pour construire les fichiers de données météorologiques nécessaires au fonctionnement de TRAMES, nous avons utilisé le modèle diagnostique MINERVE. Le relief du site d'Indianapolis étant plat, le modèle effectue uniquement une interpolation des mesures de vent et de température sur un maillage tridimensionnel. Pour diminuer les temps de calculs, nous avons choisi 2 maillages horizontaux en fonction de la position des récepteurs. Le premier maillage ayant un pas de 100m sur l'horizontal et un maillage vertical de 50 niveaux verticaux, le deuxième maillage ayant un pas de 200m sur l'horizontal et un maillage vertical de 50 niveaux. Le sommet du domaine de calcul est de 600m et la hauteur du premier niveau au dessus du sol est de 10m. la longueur de rugosité du sol est de 1m.

Le modèle TRAMES est utilisé sur le même maillage que celui défini dans MINERVE. Les épisodes de rejet de SF<sub>6</sub> sont modélisés comme des rejets continus sur des périodes de 1 heures, les bouffées sont émises toutes les 10 secondes. Le modèle de diffusion utilisé est le modèle de Briggs Urban et pour chaque expérience, la classe de stabilité et la hauteur de la couche limite sont renseignées par l'utilisateur à partir des données présentées dans la base de données du cas test.

Le rejet de SF<sub>6</sub> étant chaud et dynamique, le modèle calcule les surhauteurs par la méthode de Briggs.

Remarque : dans les situations stables, la hauteur de la couche limite est de l'ordre de 200m et les surhauteurs calculées peuvent atteindre 400m. Dans ces cas précis, la modélisation du rejet est telle que tout le polluant est émis au dessus de la couche limite et ne redescend pas vers le sol. Les concentrations au sol modélisées sont alors nulles. Pour s'affranchir de ce problème, nous avons choisi une hauteur de couche limite minimum de 500m.

Les calculs statistiques ont été réalisés sur les maximums de concentration sur les arcs pour les résultats de toutes les expériences de qualité 2 et 3 excepté pour la journée du 29 septembre.

	Mean (10 <sup>-9</sup> s/m <sup>3</sup> )	Std (10 <sup>-9</sup> s/m <sup>3</sup> )	FB	FS	NMSE	R	FAC2	FAC5
mesures	258.51	221.46						
TRAMES	233.76	215.03	0.10	0.03	0.80	0.33	0.41	0.71

Tableau 35 : paramètres statistiques pour le modèle TRAMES

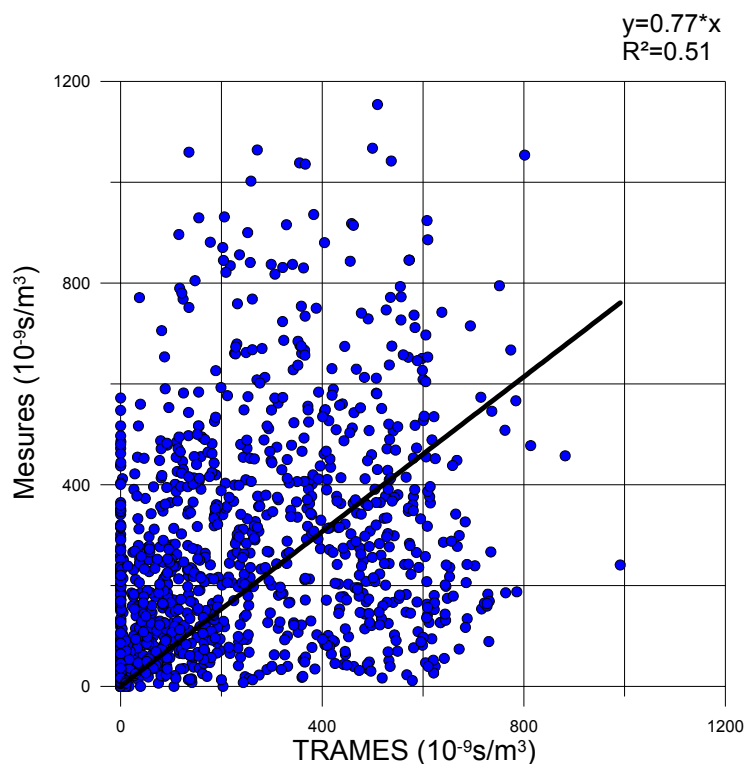


Figure 142 : comparaison des mesures et des résultats du modèle TRAMES pour les concentrations maximales sur l'arc divisées par le débit de la source

On remarque d'après les paramètres statistiques que le modèle TRAMES sous-estime légèrement les concentrations. La moyenne des maximums de concentrations sur l'arc modélisés est très proche de la moyenne mesurée. Cependant, le nuage de points est assez étalé. La proportion de résultats dans un facteur 2 par rapport aux mesures est de 40%.



- **Analyse des résultats**

On calcule le biais fractionnel en fonction de la distance à la source et pour les différentes classes de stabilité (Figure 143). On peut déterminer ainsi si le modèle est meilleur proche de la source ou loin de la source et si il est meilleur dans les cas stables ou les cas instables.

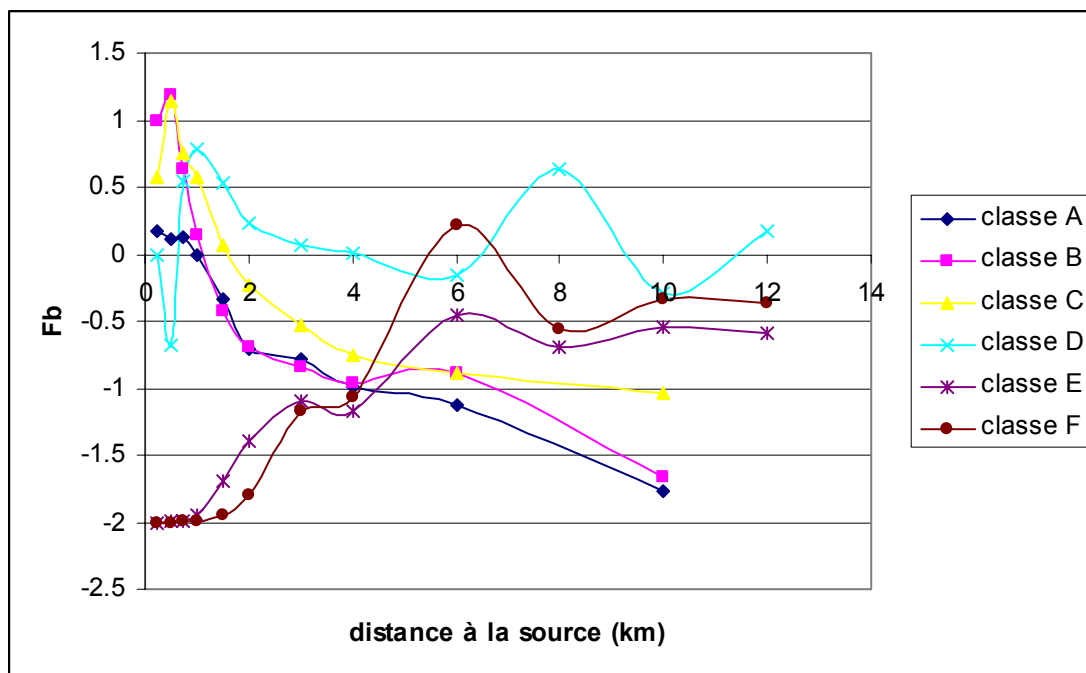


Figure 143 : évolution du biais fractionnel en fonction de la distance à la source et pour différentes classes de stabilité

On remarque que dans les situations instables, le modèle TRAMES surestime les concentrations au voisinage de la source puis les sous-estime en s'éloignant de la source. Mais pour les situations stables, le panache modélisé atteint le sol à une distance importante de la source et donc la concentration modélisée au voisinage de la source est nulle. En s'éloignant de la source, les concentrations mesurées sont proches des concentrations modélisées.

#### 4.3.5. ELABORATION DES SCENARIOS POUR LE MODELE SPRAY ET ANALYSE DES RESULTATS

Pour construire les fichiers de données météorologiques nécessaires au fonctionnement de SPRAY, nous avons utilisé le modèle diagnostique MINERVE. Le relief du site d'Indianapolis étant plat, le modèle effectue uniquement une interpolation des mesures de vent et de température sur un maillage tridimensionnel. Pour diminuer les temps de calculs, nous avons choisi 2 maillages horizontaux en fonction de la position des récepteurs. Le premier maillage ayant un pas de 100m sur l'horizontal et un maillage vertical de 50 niveaux verticaux, le deuxième maillage ayant un pas de 200m sur l'horizontal et un maillage vertical de 50 niveaux. Le sommet du domaine de calcul est de 600m et la hauteur du premier niveau au dessus du sol est de 10m. La longueur de rugosité est de 1m.

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

Le modèle SPRAY permet de calculer la turbulence à l'aide de la méthode TURKEY niveau 1. Ne possédant pas les données météorologiques des journées complètes de chaque expérience, nous avons construit les fichiers de chronologies météorologiques de la manière suivante :

- Chaque expérience faisant partie d'une série de mesures sur 8 ou 9 heures, nous avons utilisé les mesures disponibles aux heures précédant l'expérience pour renseigner la température la nébulosité et le flux radiatif net.
- Pour les heures pour lesquelles on ne dispose pas de mesure, on impose la valeur de la température et de la nébulosité et du flux radiatif net de l'heure de l'expérience.

Le modèle SPRAY est utilisé sur le même maillage que celui défini dans MINERVE. Les épisodes de rejet de SF<sub>6</sub> sont modélisés comme des rejets de 5000 particules émises toutes les 10 secondes pendant une heure. La concentration au sol est moyennée sur 10 minutes et les résultats sont stockés toutes les 10 minutes.

Le rejet de SF<sub>6</sub> étant chaud et dynamique, le modèle calcule les surhauteurs par la méthode de Briggs.

Les premiers résultats ont montré qu'un nombre de 5000 particules par pas de temps n'était pas suffisant pour modéliser la continuité du panache. Sur une même expérience d'une heure, on observe de grands écarts entre 2 pas de stockage de la concentration du fait du caractère aléatoire du modèle Lagrangien. Cependant, un nombre plus grand de particules n'est pas envisageable car cela augmente considérablement les temps de calcul. Pour lisser les résultats, pour chaque expérience, nous avons fait la moyenne des concentrations calculées toutes les 10 minutes.

Les calculs statistiques ont été réalisés sur les maximums de concentration sur les arcs pour les résultats de toutes les expériences de qualité 2 et 3 excepté pour la journée du 29 septembre.

	Mean (10 <sup>-9</sup> s/m <sup>3</sup> )	Std (10 <sup>-9</sup> s/m <sup>3</sup> )	FB	FS	NMSE	R	FAC2	FAC5
mesures	258.09	221.63						
SPRAY	187.29	284.74	0.32	-0.25	1.65	0.23	0.26	0.45

Tableau 36 : paramètres statistiques pour le modèle SPRAY

*Remarque : nous avons modifié l'échelle de la figure représentant les concentrations modélisées en fonction des mesures pour pouvoir visualiser tous les points*

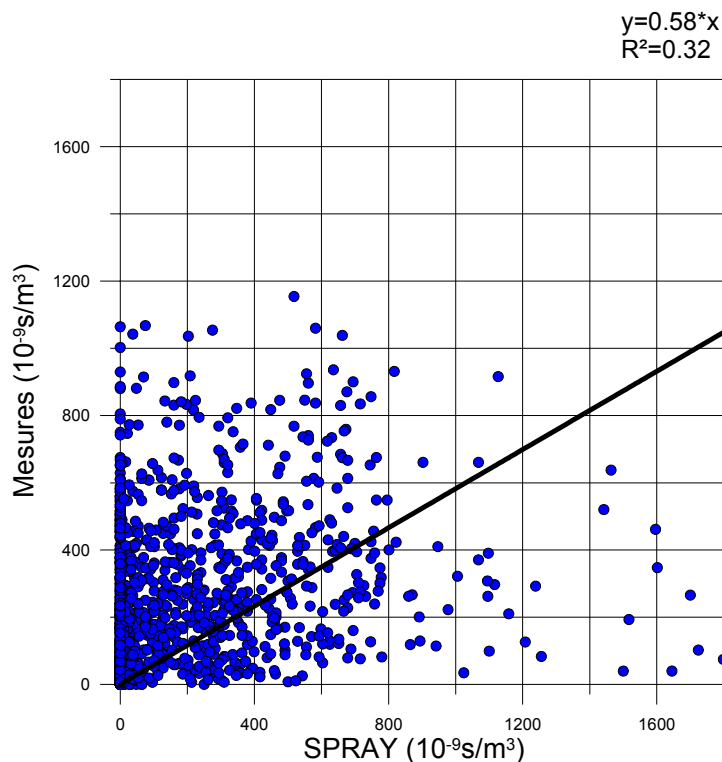


Figure 144 : comparaison modèle mesure pour SPRAY pour le premier scénario (attention, changement d'échelle)

On remarque que le modèle SPRAY sous-estime en moyenne les concentrations. Plusieurs explications sont possibles : tout d'abord, la hauteur de la couche limite est calculée par le modèle en utilisant la méthode METPRO évolutive. Dans les situations stables, la hauteur de la couche limite calculée est inférieure à 200m, or la hauteur du rejet avec surhauteur est supérieure à 200m. Dans ces situations particulières, tout le polluant est rejeté au dessus de la couche limite et la concentration calculée au sol est nulle. Contrairement au modèle TRAMES, l'utilisateur ne peut pas imposer la hauteur de la couche limite. Une solution pour augmenter la hauteur de la couche limite serait de prendre une longueur de rugosité de 3m comme cela a été fait avec le logiciel ADMS. En augmentant la rugosité, on augmente la turbulence dans la couche limite et donc la hauteur de la couche limite.

D'autre part, nous avons remarqué que dans certaines situations, le gradient de température au sol dans les fichiers MINERVE était très élevé et ne correspondait pas aux mesures. En concertation avec ARIA Technologies, nous avons utilisé une autre méthode d'interpolation pour déterminer le champ de température. A partir de ces nouveaux fichiers météorologiques et en prenant une longueur de rugosité de 3m, nous obtenons les résultats suivants

	Mean ( $10^{-9}$ s/m <sup>3</sup> )	Std ( $10^{-9}$ s/m <sup>3</sup> )	FB	FS	NMSE	R	FAC2	FAC5
mesures	257.78	221.58						
SPRAY	252.56	195.53	0.02	0.12	0.72	0.32	0.44	0.75

Tableau 37 : paramètres statistiques pour le modèle SPRAY

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

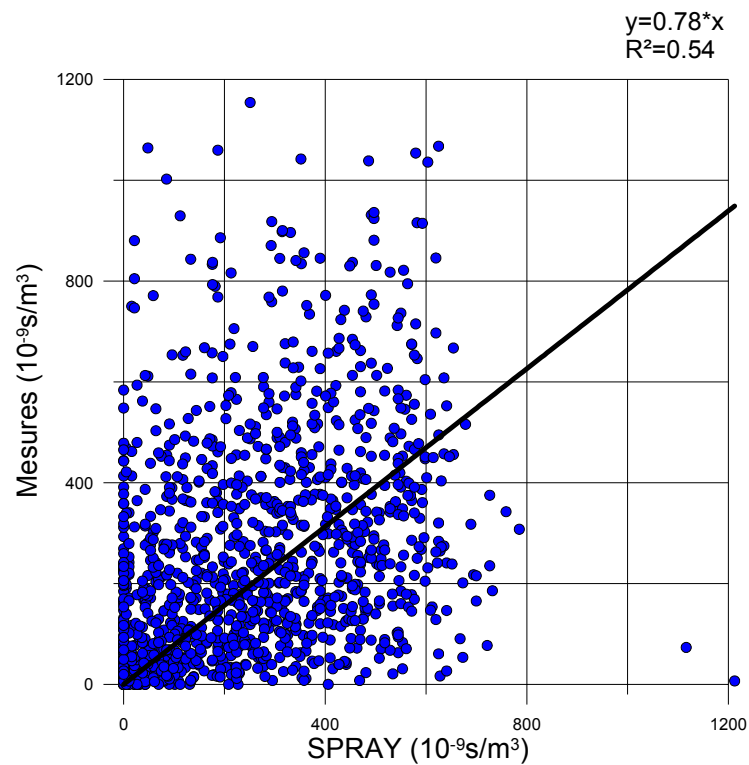


Figure 145 : comparaison modèle-mesure pour le deuxième scénario (attention changement d'échelle)

Les résultats statistiques du modèle SPRAY avec ce deuxième scénario sont très satisfaisants. En moyenne les concentrations modélisées sont très proches des concentrations mesurées. Cependant le nuage de point est très dispersé. La proportion de résultat dans un facteur 2 est de 40%.

- **Analyse des résultats**

On calcule le biais fractionnel en fonction de la distance à la source et pour différentes classes de stabilité (Figure 146).

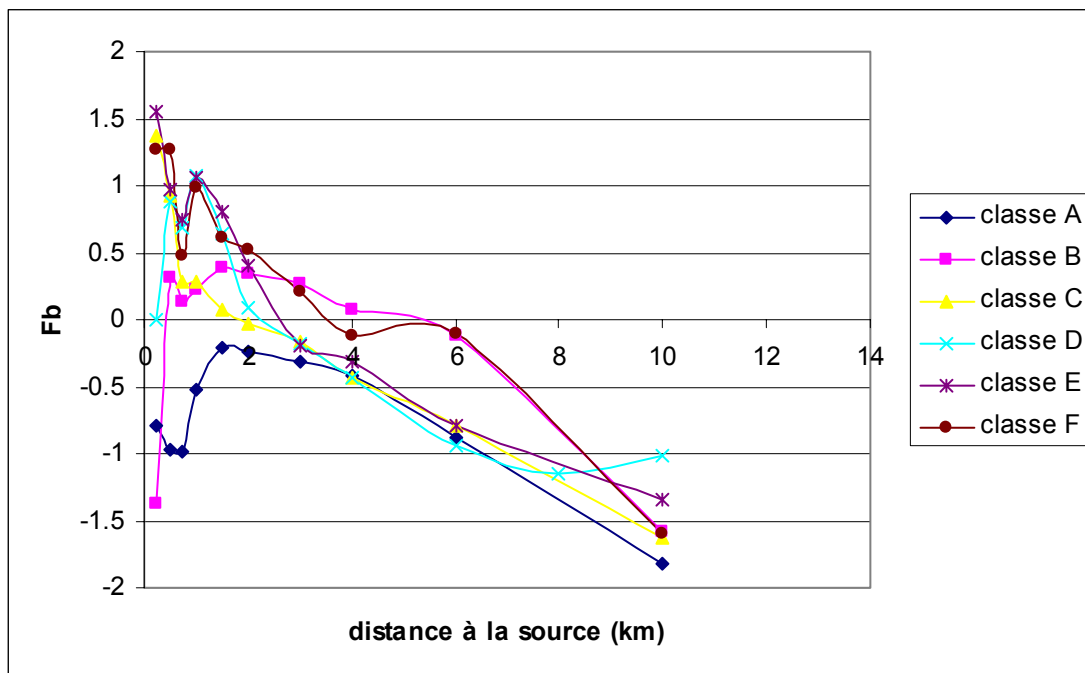


Figure 146 : évolution du biais fractionnel en fonction de la distance à la source et pour différentes classes de stabilité

On remarque que le modèle SPRAY a un comportement satisfaisant entre 1km et 6 km quelque soit la classe de stabilité. Lorsqu'on s'éloigne de la source, le modèle sous-estime les concentrations. Ceci est en partie dû à notre méthode de calcul de la concentration en moyennant les concentrations calculées toutes les 10 minutes. En effet, un récepteur situé à 10 km de la source est atteint par le polluant au bout d'environ 50 minutes pour un vent de 3m/s. La concentration moyennée sur une heure est donc plus faible que la concentration moyennée sur les 10 dernières minutes de l'heure de l'expérience.

#### 4.3.6. COMPARAISON DES MODELES GAUSSIENS

Les deux modèles ADMS et ARIA IMPACT donnent des résultats statistiques comparables. Les moyennes des concentrations maximales sur les arcs sont proches des mesures et les coefficients de corrélation sont de l'ordre de 0.4. Cependant, il faut émettre une certaine réserve quant aux résultats. On peut dire que pour un ensemble de situations météorologiques couvrant des cas stables et des cas instables, les deux modèles sont en moyenne proche de la réalité mais si on regarde les résultats au cas par cas, on s'aperçoit que les modèles ont tendance à surestimer les concentrations dans certains cas et à les sous-estimer dans d'autres. Les erreurs se compensent et en moyenne les résultats du modèle sont cohérents avec les mesures. L'écart du modèle à la mesure serait encore plus grand si on s'intéressait à des comparaisons de concentration sur tout l'arc et non pas uniquement sur le maximum sur l'arc (cf chapitre 4.1.)

Si on compare les résultats d'ADMS et ceux d'ARIA IMPACT (cf Figure 147), ils sont globalement cohérents, même si certains points sont assez éloignés de la droite moyenne, notamment les points correspondant aux situations stables pour lesquels le modèle ARIA IMPACT donnait une concentration nulle au sol.

De même, les résultats de TRAMES et d'ARIA IMPACT sont assez cohérents (Figure 148).

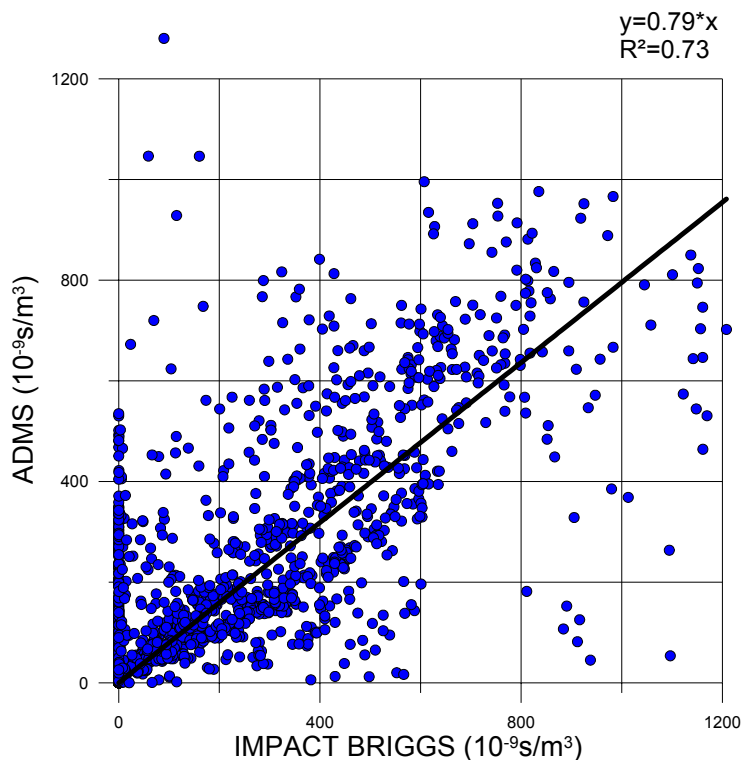


Figure 147 : Comparaison des résultats des modèles ADMS et ARIA IMPACT sur le cas test d'Indianapolis

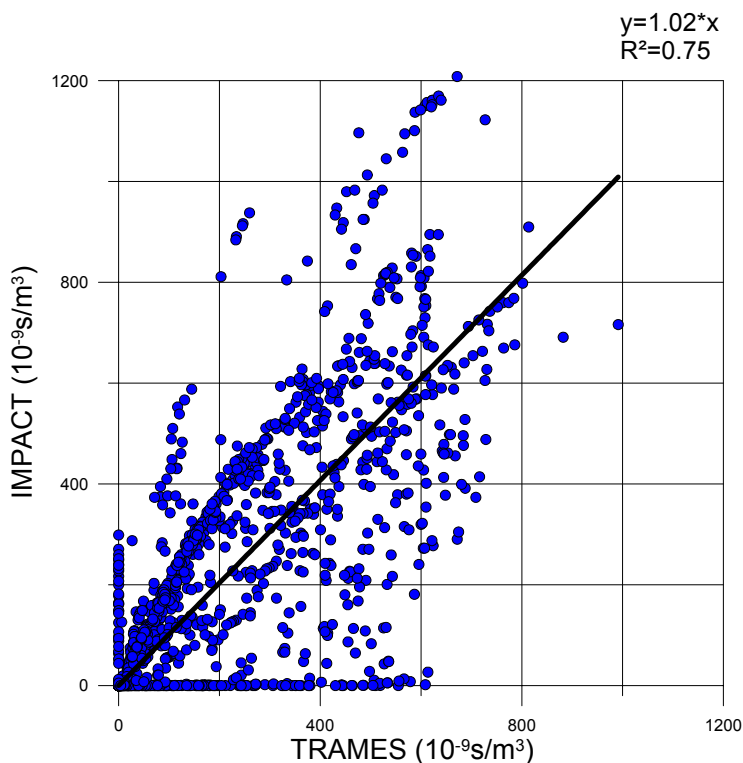


Figure 148 : Comparaison des résultats des modèles TRAMES et ARIA IMPACT sur le cas test d'Indianapolis

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup>  
partie : Evaluation des modèles .

**4.3.7. CONCLUSION**

En comparant les résultats des 4 modèles de dispersion sur l'expérience d'Indianapolis, on peut remarquer que les modèles ADMS, ARIA IMPACT, TRAMES et SPRAY donnent des résultats semblables très proches en moyenne des mesures. Les comparaisons expériences par expériences des modèles par rapport aux mesures sont très dispersées dans tous les cas.

#### 4.4. CONCLUSION SUR L'ETUDE DES CAS TESTS

Au cours de cette étude, nous avons étudié avec l'ensemble des modèles deux cas tests relativement simples : un rejet ponctuel sur un terrain plat soumis à différents régimes météorologiques. Ces expériences sont représentatives des situations couramment rencontrées dans les études d'impact. La démarche que nous avons adoptée pour étudier les cas tests a été de construire des scénarios de modélisation à partir des mesures de terrain effectuées pour ces expériences et des observations disponibles et ensuite d'analyser les résultats de ces différents scénarios. Les résultats obtenus à partir du premier scénario établi étaient souvent assez peu satisfaisants. Certains paramètres des scénarios de modélisation ont nécessité quelques ajustements afin d'obtenir des résultats satisfaisants avec les différents modèles. L'analyse des résultats du modèle en fonction de la distance des récepteurs par rapport à la source et en fonction des conditions météorologiques a permis d'identifier d'éventuelles erreurs dans les logiciels de dispersion et de les corriger avec l'aide des fournisseurs de logiciels.

Sur le cas test de Prairie Grass, les modèles gaussiens donnent des concentrations moyennes proches des mesures et relativement meilleurs que le modèle lagrangien. Ce résultat est assez logique pour les modèles ARIA IMPACT et TRAMES car les écart-types de diffusion de ces modèles gaussiens ont été calculés à partir de cette expérience. Sur les cas test d'Indianapolis, les résultats statistiques des modèles gaussiens sont très proches des mesures, le modèle lagrangien sous-estime légèrement les mesures. Cependant les nuages de points sont très dispersés pour tous les modèles. Il faut donc être prudent sur l'interprétation des résultats : un modèle qui donne de bons résultats à la lecture des paramètres statistiques n'est pas pour autant fiable dans toutes les situations. D'autant plus que les paramètres statistiques sont calculés sur les maximums de concentrations sur les arcs et non sur toutes les mesures de concentrations. On ne peut donc pas affirmer qu'un des modèles testés est plus performant qu'un autre.

L'étude des cas tests a permis aussi de prendre conscience de l'intérêt des études statistiques par rapport aux études ponctuelles. En effet, pour étudier l'impact d'un rejet sur un site, on modélise parfois le cas météorologique le plus défavorable pour la dispersion et on extrapole les résultats aux cas où la dispersion est meilleure. Or si le modèle sous estime très fortement les concentrations dans les cas stables, on ne peut pas conclure que les concentrations des cas instables seront plus faibles. Il est donc parfois nécessaire de calculer une concentration moyenne annuelle à partir d'une rose des vents ou d'une série météorologique afin de ne pas privilégier inconsciemment une situation particulière où le modèle n'est pas forcément très performant.



#### 4.5. RESUME SUR L'ETUDE DES CAS TESTS

La comparaison des résultats des modèles à des mesures de terrain permet d'évaluer les performances propres des modèles. Cependant, cet exercice est assez délicat. Une faible variations sur les conditions météorologiques peut entraîner des différences importantes sur les processus de dispersion et donc sur la concentration au sol. Pour améliorer la cohérence des comparaisons modèles-mesures, on s'intéresse aux concentrations sur l'axe du panache pour le modèle et aux maximums de concentrations sur les arcs de mesures pour les expériences. On trace ainsi le nuage de points modèle-mesure pour l'ensemble des expériences d'un cas test. Les cas tests permettent de couvrir un grand nombre de situations météorologiques différentes. Une étude statistique des résultats des modèles pour l'ensemble de ces situations permet de s'affranchir en partie du caractère aléatoire de la météorologie. Pour chaque modèle on calcule la concentration moyenne obtenue sur l'ensemble des expériences du cas test ainsi que divers paramètres statistiques comme l'écart-type, le biais fractionnel, le coefficient de corrélation, la proportion de résultat dans un facteur 2 par rapport aux mesures et la proportion de résultat dans un facteur 5 par rapport aux mesures.

Deux cas tests représentatifs des situations couramment rencontrées dans les études d'impact ont été retenus pour cette étude :

- **Le cas test de Prairie Grass**

Cette expérience a été réalisée dans les années 50 sur un site plat recouvert d'herbe. Le rejet étudié concerne un rejet de SO<sub>2</sub> au sol sans surhauteur. Les arcs de récepteurs sont situés à 50, 100, 200, 400 et 800m de la source. Les expériences réalisées couvrent des situations météorologiques, stables, neutres et instables. Le tableau ci-dessous résume les meilleurs résultats statistiques obtenus avec chaque modèle.

	Moyenne	Ecart-type	Biais fractionnel	Corrélation	Fac2	Fac5
<b>Mesures</b>	2.23	3.90				
<b>IMPACT (Pasquill)</b>	1.86	4.05	0.18	0.60	0.58	0.89
<b>ADMS</b>	1.39	3.29	0.46	0.5	0.57	0.88
<b>TRAMES (Pasquill)</b>	1.32	2.76	0.50	0.66	0.46	0.91
<b>SPRAY</b>	0.7	1.05	1.03	0.66	0.39	0.81

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

- **Le cas test d'Indianapolis**

Il a été réalisé dans les années 80 sur un site urbain, plat. Le rejet étudié est un rejet de SF<sub>6</sub> issu d'une cheminée haute de 84m avec une forte surhauteur thermique. Les arcs de récepteurs sont situés entre 250m et 12 km de la source. Les expériences réalisées couvrent des situations météorologiques, stables, neutres et instables. Le tableau ci-dessous résume les meilleurs résultats statistiques obtenus avec chaque modèle

	Moyenne	Ecart-type	Biais fractionnel	Corrélation	Fac2	Fac5
<b>Mesures</b>	257.8	221.7				
<b>IMPACT (Briggs Urban)</b>	261.1	269.4	0.05	0.37	0.40	0.65
<b>ADMS</b>	257.6	243.6	0.01	0.28	0.43	0.79
<b>TRAMES (Briggs Urban)</b>	233.7	215.0	0.10	0.33	0.41	0.71
<b>SPRAY</b>	252.6	195.5	0.02	0.32	0.44	0.75

Ces résultats montrent que les différents modèles étudiés sur un grand nombre de situations météorologiques différentes donnent des résultats corrects en moyenne mais que la comparaison modèle-mesure sur une situation météorologique particulière est très aléatoire. Ces résultats montrent ainsi l'intérêt des études statistiques par rapport aux études de scénarios particuliers pour les études d'impact afin de ne pas privilégier une situation où le modèle ne donne pas de résultat satisfaisant. Enfin, il est très difficile de différencier les modèles sur ces cas tests simples où la variabilité des conditions météorologiques est déterminante pour la qualité des résultats.

## 5. ETUDE DES CAS INDUSTRIELS

### 5.1. OBJECTIFS INITIAUX ET REORIENTATIONS DE L'ETUDE

Les objectifs initiaux de l'étude de cas réels étaient en particulier de montrer et d'expliquer la démarche de modélisation dans des situations complexes rencontrées par les industriels et les simplifications pouvant être introduites. C'était également de montrer comment préparer les données d'entrée nécessaires au modèle et comment interpréter les résultats en sortie du modèle. C'était enfin de disposer d'un ensemble de cas de référence bien documentés pour la formation des utilisateurs et la prise en main des modèles.

Comme nous l'avons déjà mentionné auparavant, les premières conclusions des entretiens avec les tuteurs industriels, nous ont amené à réorienter l'étude en diminuant la partie relative aux cas tests pouvant être interprétée comme trop scientifique et en se focalisant sur des situations plus concrètes couramment rencontrées dans les études d'impact. Il ressort en effet de ces entretiens que la problématique de la modélisation de la dispersion dans les études d'impact conduit à réaliser des calculs de dispersion sur le long terme. Dans ce cas, les industriels pensent que l'utilisation de modèles compliqués pour calculer la dispersion n'est pas adaptée. Ces calculs avec des modèles compliqués seront plus onéreux, demanderont plus de temps et plus de données en entrée des modèles ainsi que plus de compétences au niveau des utilisateurs. En revanche, si les industriels sont convaincus qu'il faut utiliser des modèles simples pour les études d'impact, ils se posent encore beaucoup de questions quant à leur mise en œuvre dans des situations complexes. Ils sont en particulier intéressés par l'influence que peuvent avoir des simplifications dans la démarche de modélisation sur les résultats.

Pour guider les industriels dans leur choix de modèles et dans leur mise en œuvre sur des cas réels, nous avons établi une méthodologie. Cette méthodologie permet à l'utilisateur d'identifier parmi les caractéristiques du site industriel, de la météorologie et des caractéristiques du rejet, tous les facteurs déterminants dont il doit tenir compte dans sa modélisation. Cette méthodologie permet aussi de faire le point sur les données que l'utilisateur doit rassembler pour réaliser une étude. Le chapitre suivant détaille les différents points de la méthodologie proposée.

Nous pensons que l'étude de sensibilité permet de répondre à un grand nombre de questions concernant les simplifications que l'utilisateur est amené à faire dans sa démarche de modélisation. L'étude d'un cas réel présentant des problèmes similaires à ceux étudiés dans l'étude de sensibilité n'apporterait pas d'éléments de réponse supplémentaires. Nous avons donc étudié en détail le cas réel concernant un site de montagne. Pour visualiser les effets de la topographie particulière du site, nous avons imaginé d'étudier ce cas avec 3 modèles : le modèle ADMS, le modèle SPRAY couplé avec le modèle diagnostique d'écoulement MINERVE et enfin le modèle eulérien de mécanique des fluides MERCURE. L'utilisation de ce dernier a cependant posé un grand nombre de problèmes notamment en raison du peu de données météorologiques que nous possédions sur ce cas réel. Nous avons donc décidé d'utiliser le modèle HERMES et de comparer les résultats avec le modèle SPRAY. Nous avons également étudié plusieurs scénarios de modélisation : l'utilisation de données météorologiques séquentielles sur une année entière, l'utilisation d'une rose des vents, l'utilisation de scénarios météorologiques représentatifs de journées types.

## 5.2. DEMARCHE DE MODELISATION DES CAS INDUSTRIELS

Les études de dispersion atmosphérique sur des sites industriels peuvent être très différentes les unes des autres en fonction des caractéristiques du site industriel et des objectifs de l'étude. Cette diversité des problèmes relatifs à un site particulier ne permet pas d'établir des règles précises d'utilisation des modèles de dispersion applicables à tous les sites. En revanche, il est possible d'établir une liste des problèmes que le modélisateur peut rencontrer dans l'étude d'un cas industriel et des questions qu'il doit se poser pour établir des scénarios de modélisation le plus pertinents possibles. Il est fondamental que le modélisateur ait conscience de l'impact de ses choix de modélisation sur le résultat d'une simulation et qu'il puisse les justifier. C'est dans cette optique que nous avons établi cette méthodologie d'étude des cas industriels. Nous proposons trois axes de réflexion :

- Quels sont les phénomènes physiques qui influent sur la dispersion d'un polluant (les caractéristiques météorologiques, la nature du polluant, les caractéristiques du rejet) ?
- Quelles sont les données disponibles ?
- Quelles sont les possibilités qui s'offrent au modélisateur en terme de choix de modèles, de choix d'options de modélisation et de choix de scénarios de modélisation ?

### 5.2.1. DEFINITION DE LA SITUATION PHYSIQUE A MODELISER

Avant de construire un scénario de modélisation de la dispersion atmosphérique sur un site industriel, il convient d'analyser différents paramètres pour évaluer l'impact sur le résultat de la simulation des hypothèses retenues. Nous allons donc détailler dans cette partie les questions que l'utilisateur doit se poser pour analyser la situation qu'il doit modéliser.

#### 5.2.1.1. *Les phénomènes météorologiques locaux*

*Remarques générales :* cette partie décrit les phénomènes météorologiques locaux qui peuvent apparaître sur un site. Suivant leur importance, il est parfois nécessaire d'utiliser un modèle spécifique pour les prendre en compte. Cependant, une mesure météorologique pertinente est parfois suffisante pour tenir compte de la modification de l'écoulement par les éléments extérieurs. D'autre part différents phénomènes peuvent interagir : un site peut être situé à proximité d'une montagne et d'un bâtiment. Ces deux éléments vont avoir un impact sur l'écoulement. Suivant l'objectif de l'étude d'impact, il est parfois possible de négliger un phénomène par rapport à un autre. Cependant, ces situations sont souvent très complexes à modéliser et nécessitent une attention particulière. L'utilisateur doit avoir une bonne connaissance de l'impact sur le résultat que peut induire une simplification dans la modélisation des phénomènes locaux.

#### **L'impact de l'occupation des sols**

- *Sol homogène*

L'occupation des sols a un impact direct sur la dispersion atmosphérique. Tout d'abord, la rugosité du sol par des effets de frottement va influencer le profil vertical du vent dans la couche limite et par des effets mécaniques, la rugosité va influencer la turbulence verticale. (cf étude de sensibilité). D'autre part, la nature du sol et plus précisément les caractéristiques thermiques et radiatives du sol vont avoir un impact sur les échanges thermiques au niveau du sol et donc sur la stabilité de la couche limite.

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

- *Variation de l'occupation des sols*

De même que la rugosité moyenne du site est importante, une forte variation de rugosité (environ d'un facteur 10) ou de l'occupation des sols (transition ville campagne) à proximité du site peut avoir un impact fort sur la dispersion. Cet impact peut concerner uniquement les caractéristiques turbulentes de l'atmosphère mais lorsque la différence d'occupation des sols est telle que la température de l'air est différente sur les deux zones, il se crée des brises thermiques qui modifient totalement l'écoulement. Il est alors intéressant d'utiliser un modèle spécifique (ADMS ou ARIA Industry) qui permet de prendre en compte les variations des caractéristiques du site.

- *Le cas spécifique du bord de mer*

La présence de la mer à proximité d'un site industriel n'est pas sans conséquence pour la dispersion atmosphérique : la variation de rugosité d'une part et de température au niveau du sol d'autre part induisent des phénomènes très particuliers comme les brises côtières ou les phénomènes de fumigation (cf état de l'art). Si le site industriel est suffisamment éloigné de la mer (10 km), ces phénomènes peuvent être négligés, sinon, il convient de les modéliser avec un modèle spécifique.

Il existe différentes méthodes plus ou moins précises pour prendre en compte l'occupation des sols. Par exemple un modèle gaussien fondé sur les écarts-types de Briggs distingue seulement 2 types de sols : urbain ou rural. D'autres modèles plus élaborés prennent en compte la valeur numérique de la longueur de rugosité dans le calcul des écarts-types.

L'occupation des sols peut être définie sous forme de classe (urbain, terrain agricole,...) ou par l'intermédiaire de paramètres physiques comme la longueur de rugosité dont on connaît la valeur numérique.

### **La topographie du site**

La topographie du site a un impact direct sur l'écoulement et donc sur la dispersion.

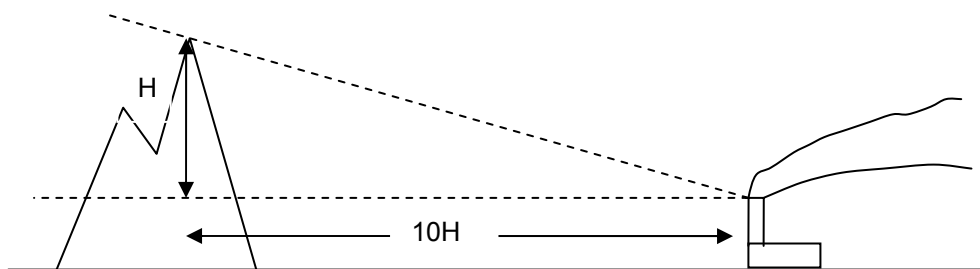
*Présence de relief « important » autour du site.*

Un site industriel situé dans une zone de relief accidenté, va être soumis à un écoulement particulier fortement influencé par ce relief. On distingue deux types de perturbations induites par le relief :

- *La modification de l'écoulement par des effets dynamiques*

Le relief agit comme un obstacle dans l'écoulement. Il se crée donc une zone de sillage en aval du relief dans lequel l'écoulement est fortement perturbé. L'écoulement est aussi modifié en amont du relief. Pour savoir s'il est nécessaire de prendre en compte ces perturbations dans la modélisation d'un site industriel, nous avons retenu le critère décrit ci-dessous.

Pour un relief situé à moins de 10 km du site, si la source est située à une distance inférieure à 10 fois la hauteur du relief, le panache va subir l'influence du relief. Il est alors nécessaire de prendre en compte la perturbation induite par le relief.



Pour un relief important situé à une distance supérieure à 10 km de la source, l'écoulement général va être perturbé mais une mesure météorologique pertinente permet de prendre en compte cette perturbation.

- *La modification de l'écoulement par des effets thermiques*

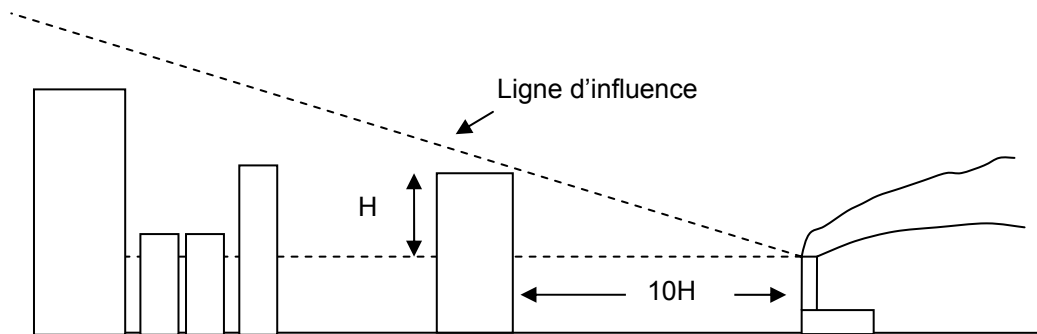
Pour les sites de montagnes, où il existe de forts gradients de température entre la vallée et les sommets, des brises thermiques et des effets particuliers de stratification peuvent apparaître. Si les données de la station météorologique utilisées pour simuler la dispersion sont représentatives de ces phénomènes, il ne sera pas indispensable d'utiliser un modèle spécifique. En revanche, si les mesures météorologiques ne sont pas représentatives du site, un modèle qui permet de prendre en compte les effets météorologiques liés à la topographie du site peut être intéressant.

*Présence d'obstacles au voisinage du site*

La présence d'obstacles (bâtiment ou autre) à proximité de la source perturbe l'écoulement et donc la dispersion. La présence d'obstacle se traduit par une diminution du vent moyen et une augmentation de la turbulence. La présence de l'obstacle pourra être négligée si la source est située à une distance supérieure à environ 10 fois la hauteur de l'obstacle. Sinon il sera nécessaire d'utiliser un modèle qui permet de prendre en compte les obstacles et de connaître la dimension et la géométrie de ceux-ci.

Les obstacles peuvent être pris en compte de deux manières :

- Une augmentation de la rugosité : pour les obstacles situés en champ lointain et suffisamment peu élevés pour être sous la ligne d'influence, une augmentation de la longueur de rugosité permet de prendre en compte les effets de ces obstacles.
- Une modification des caractéristiques de l'écoulement (vitesse moyenne et turbulence) : pour les obstacles situés en champ proche et coupant la ligne d'influence, il est nécessaire d'utiliser un modèle spécifique qui prend en compte la modification de l'écoulement induite par les obstacles en fonction de la géométrie et de la position de ceux-ci.



Si on trace une droite faisant un angle de 6 degrés avec l'horizontale et partant de la source, les bâtiments situés sous la droite peuvent être pris en compte en augmentant la longueur de rugosité, alors que les bâtiments coupés par la droite doivent être pris en compte par un modèle spécifique.

Dans le cas où la cheminée est placée au sommet d'un bâtiment. Si la hauteur de la cheminée est supérieure à 5 fois la hauteur du bâtiment, l'influence du bâtiment peut-être négligée.

#### **Les vents calmes**

Certains sites sont soumis à des régimes de vents particuliers où la direction du vent n'est pas stable et où la vitesse, en moyenne faible, varie beaucoup. Ces situations dites de vents calmes sont très pénalisantes pour la dispersion et assez difficile à modéliser. Pour les sites présentant un grand nombre de situations de vents calmes au cours d'une année, un modèle qui permet de prendre en compte ces situations particulières est nécessaire.

#### **5.2.1.2. La nature des polluants**

Le comportement d'un polluant dans l'atmosphère dépend de ses caractéristiques chimiques et physiques. Il convient donc de distinguer les différents types de polluant.

##### **Gaz sans réaction chimique**

Tous les modèles de dispersion permettent de modéliser un gaz inerte.

##### **Gaz avec réaction chimique**

Certains gaz sont très réactifs et se transforment rapidement dans l'atmosphère (les oxydes d'azote par exemple). Une modélisation classique peut donc surestimer les concentrations du polluant initial et sous-estimer les concentrations du produit de la réaction. Il est donc parfois nécessaire d'utiliser un modèle chimique.

Si l'utilisateur souhaite modéliser la concentration exacte d'un tel polluant dans l'atmosphère, il doit utiliser des données de pollution de fond.

##### **Les particules**

Les particules ayant une masse intrinsèque, leur comportement est différent de celui d'un gaz. Plusieurs phénomènes rentrent en jeu :

- La sédimentation : au fur et à mesure de l'étalement du nuage, les particules vont se déposer sur le sol et appauvrir le nuage.
- Coalescence de particules : en s'entrechoquant les unes avec les autres, les particules peuvent s'agglomérer et donc former des particules plus grosses et ayant des propriétés différentes.
- Comportement chimique des particules : comme pour les gaz, les particules peuvent être inertes ou réactives avec l'atmosphère et générer de nouveaux polluants.

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

- Les dépôts sec et humides : au voisinage du sol, les polluants peuvent se déposer au sol. La quantité de polluant déposée dépend de la nature du sol et du polluant. Le lessivage par la pluie entraîne le dépôt humide de particules au sol.

Des modèles spécifiques permettent de prendre en compte ces phénomènes. Il est alors nécessaire de renseigner le modèle sur les caractéristiques des particules (granulométrie).

Si la taille des particules est inférieure à 5 microns, on peut considérer que le polluant se comporte comme un gaz.

### **5.2.1.3. Les caractéristiques du rejet**

Les caractéristiques du rejet ont un impact sur les phénomènes de dispersion. Suivant que le rejet est ponctuel ou réparti spatialement, suivant sa température et sa vitesse d'éjection, la définition du terme source diffère.

#### **Rejet ponctuel imposé sans surhauteur**

#### **Rejet chaud ou avec une vitesse d'éjection pouvant induire une surhauteur**

Un rejet chaud ou ayant une vitesse initiale va s'élever au dessus de la source par des effets de flottabilité et des effets dynamiques. Cette élévation du panache au-dessus de la source a un impact sur la concentration au sol (cf étude de sensibilité). Il convient alors d'utiliser un modèle qui prend en compte ces effets thermiques et dynamiques de la dispersion.

#### **Rejet réparti spatialement (source linéique, surfacique ou volumique)**

La géométrie d'une source peut avoir un impact sur les concentrations en polluant. Suivant les dimensions de la source et la distance entre les récepteurs et la source, cet impact peut ou non être négligé. (cf étude de sensibilité).

#### **Caractéristiques du rejet dépendant des conditions météo (envol de poussières, évaporation de liquide)**

Dans certaines situations, la caractérisation du terme source n'est pas immédiate. Par exemple dans les situations d'envol de poussière ou d'évaporation de liquide, le débit de polluant dépend des caractéristiques météorologiques. Ces situations nécessitent un modèle spécifique qui permet de calculer les émissions en fonction de la météorologie.

## **5.2.2. INVENTAIRE DES DONNEES DISPONIBLES**

Lorsque les différents phénomènes physiques qui vont influencer la dispersion sur un site ont été identifiés, il convient de recenser les données nécessaires pour la modélisation. Ces données concernent la description du site, le rejet, les polluants et la météorologie.

### **5.2.2.1. Les données concernant le site**

#### **Les coordonnées géographiques du site**

Il est nécessaire de renseigner le modèle sur la position du site sur la Terre et donc de définir les coordonnées géographiques du site. La précision de ces données a peu d'importance pour le calcul de la dispersion. La position de la source sur la Terre peut être définie à 50 km près sans impact sur le calcul de la concentration de polluant.

En général, un repère est ensuite défini par l'utilisateur et les éléments géographiques du site (les sources, les récepteurs, les obstacles,...) sont définis dans ce repère local.

#### **L'occupation des sols (rugosité, albédo,...)**

Les paramètres caractéristiques pour décrire l'occupation des sols sont les suivants.

- Caractéristique dynamique : la longueur de rugosité correspond à la hauteur où la vitesse du vent s'annule par effet de frottement.



Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

- Caractéristique radiative :
  - L'albédo : rapport entre le rayonnement incident et le rayonnement réfléchi
  - L'émissivité : capacité du sol à émettre un rayonnement
- Caractéristique thermique : capacité thermique
- Caractéristique hygrométrique : humidité

L'utilisateur doit spécifier les caractéristiques de l'occupation des sols du site qu'il modélise. Il peut spécifier la nature du sol (terrain agricole, zone urbaine, forêt...) et utiliser la valeur des paramètres physiques correspondant à la catégorie choisie. Il peut aussi définir les caractéristiques du site en précisant la valeur numérique des paramètres physiques décrits ci-dessus.

L'utilisateur peut choisir de décrire l'occupation des sols de manière plus ou moins précise :

- L'occupation des sols est uniforme sur la zone
- Le site est défini par 2 zones distinctes où l'occupation des sols est différente
- Le site est maillé et l'occupation des sols de chaque maille est connue (données Corine Land Cover ou USGS). Cette description très fine de l'occupation des sols n'est pas utile dans le cadre de notre problématique.

Des données d'occupation des sols sont disponibles sur le site de l'USGS : <http://lpdaac.usgs.gov/glcc/glcc.asp> Ces données couvrent l'ensemble du globe.

Des données européennes (Corinne Land Cover) sont aussi disponibles sur le site de l'IFEN : [www.ifen.fr](http://www.ifen.fr)

#### **La topographie (format, précision)**

Lorsqu'un utilisateur souhaite modéliser un site au relief marqué, il doit se procurer des données de topographie dans un format et avec une précision compatible avec le logiciel qu'il utilise et avec le problème à traiter.

A titre d'exemple : l'IGN fournit des données de relief payantes avec une précision allant jusqu'à 50m. L'USGS fournit des données gratuites avec une précision allant jusqu'à 1km : <http://edcdaac.usgs.gov/gtopo30/gtopo30.asp>

#### **La géométrie des bâtiments et des obstacles**

L'utilisateur peut choisir de modéliser la présence d'obstacles ou de bâtiments autour du site qu'il étudie.

Deux méthodes permettent de prendre en compte la présence d'obstacles :

- Les obstacles situés dans un voisinage très proche de la source peuvent être décrits directement : position, géométrie. Il faut noter que la plupart des modèles qui prennent en compte les obstacles les considèrent de forme parallélépipédique.
- Les obstacles peuvent être pris en compte via la longueur de rugosité. On impose une longueur de rugosité assez élevée pour simuler l'augmentation de la turbulence créée par les obstacles.

#### **5.2.2.2. Les caractéristiques du rejet**

##### **Position des sources**

L'utilisateur doit spécifier la position des sources qu'il étudie. Il faut donc déterminer les coordonnées des sources.

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

### **Géométrie des sources**

Il est important de renseigner le modèle sur la géométrie des sources.

S'il s'agit de sources ponctuelles, il faut spécifier la hauteur de la source et éventuellement le diamètre.

Si l'utilisateur souhaite prendre en compte la géométrie des sources complexes (linéiques, surfaciques ou volumiques) suivant le modèle qu'il utilise, il doit préciser toutes les caractéristiques géométriques ou un paramètre comme une longueur ou une surface caractéristique.

### **La température du rejet**

C'est un paramètre important pour évaluer la surhauteur

### **La vitesse du rejet**

C'est un paramètre important pour évaluer la surhauteur

### **Le débit de polluant**

Le débit de polluant est un paramètre fondamental pour calculer la concentration de polluant.

Dans certains cas particuliers comme les envolées de poussières ou les évaporations de liquide, le débit de la source dépend des conditions météorologiques. Ces cas particuliers nécessitent un modèle spécifique pour calculer le terme source.

### **Modulation des caractéristiques du rejet**

Ces trois derniers paramètres peuvent être constants ou modulés dans le temps. L'utilisateur peut donc choisir de spécifier cette modulation. Il devra alors utiliser des données météorologiques séquentielles.

## **5.2.2.3. Les caractéristiques du polluant**

### **Masse volumique**

#### **Granulométrie**

Lorsque l'utilisateur choisit de modéliser la dispersion de poussières, il doit spécifier les caractéristiques granulométriques des particules : diamètre des particules, vitesse de dépôt.

#### **Paramètres chimiques**

De même si l'utilisateur choisit de modéliser les réactions chimiques du polluant, il doit spécifier les paramètres chimiques notamment les constantes de réaction si elles ne sont pas intégrées dans le module de chimie du modèle.

#### **La pollution de fond.**

Il doit aussi spécifier la pollution de fond pour toute la durée de l'épisode modélisé s'il souhaite connaître la concentration en polluant totale dans l'atmosphère et pas seulement la concentration du polluant due au rejet.

#### 5.2.2.4. La météorologie

Les données météorologiques peuvent provenir d'un site de mesure ou d'un modèle météorologique. Lorsque les données sont mesurées, il faut regarder la position de la station de mesure par rapport à la source et s'assurer que la météorologie mesurée est représentative du site industriel. Dans certains modèles, il est possible d'utiliser des données provenant d'une station de mesure éloignée de la source et installée sur un site dont les caractéristiques d'occupation des sols sont différentes du site industriel. Il faut alors renseigner le modèle sur ces caractéristiques.

Les mesures de vent issues d'une station peuvent avoir différents formats :

- Les données séquentielles : heure par heure on mesure le vent en vitesse et en direction.
- Les données moyennes sous forme d'une rose des vents. Pour une gamme de vitesse donnée, par exemple 1 à 3 m/s, et une direction donnée, par exemple entre 250° et 259°, on connaît la fréquence d'occurrence annuelle, par exemple 1000 heures dans l'année.

##### La vitesse du vent

Il est important, quand on renseigne un modèle sur la vitesse du vent, de le renseigner aussi sur la hauteur à laquelle cette vitesse correspond. Pour les mesures Météo France, cette hauteur est de 10m

La vitesse du vent est à donner en m/s. la précision des données de Météo France étant de 1m/s.

##### La direction du vent

La direction du vent est généralement donnée en degré, mais elle peut aussi être donnée en secteur (nord, sud-sud-est,...). Nous avons vu dans l'étude de sensibilité que la précision sur la direction du vent pouvait avoir un impact important sur la concentration au sol. Il est donc important de noter la précision des mesures de direction de vent. Les données Météo France ont une précision de 10°.

##### La température

Les données de température ne sont pas toujours indispensables suivant les modèles. Le plus souvent, la température utilisée dans les modèles est la température au niveau du sol. Les données Météo France sont souvent les données de température sous abri à 1,5m du sol avec une précision au dixième de degré.

##### Les précipitations

Dans le cas d'un calcul de dépôt humide, le lessivage par la pluie joue un rôle très important. Il est donc nécessaire de connaître les précipitations sur le site que l'on étudie. Les mesures de précipitations représentent une hauteur d'eau cumulée par heure. Les mesures Météo France sont précises au mm/h près.

### Le paramètre de « stabilité »

Pour déterminer les caractéristiques turbulentes de l'atmosphère, il faut spécifier certains paramètres aux modèles. Suivant les modèles, ces paramètres peuvent être :

- La couverture nuageuse. Ce paramètre est souvent donné en oktas sur une échelle de 0 à 8.
- Le flux thermique : il est le résultat du bilan des échanges radiatifs à la surface de la terre. C'est une puissance par unité de surface.
- Le rayonnement. C'est l'énergie apportée par le soleil. C'est une puissance par unité de surface
- Le gradient de température : il permet de décrire la stabilité thermique de l'atmosphère. Il s'exprime en °C/m.
- Les fluctuations horizontales du vent : elles décrivent l'état turbulent de l'atmosphère.

Suivant les modèles, d'autres paramètres peuvent encore être précisés comme la hauteur de la couche limite.

### Humidité et pression

Les variables humidité et pression ne sont pas indispensables au calcul de dispersion classique, mais elles sont nécessaires dans le cas d'une problématique de panache de condensation.

Le réseau de capteur Météo France permet de couvrir toute la France. Il existe au moins une station par département. Ces données sont payantes et disponibles sur le site : <http://climatheque.meteo.fr/okapi/accueil/okapiWeb/index.jsp>

Il est aussi possible d'obtenir des sorties de modèles météorologiques en s'adressant à Météo France.

## 5.2.3. LE CHOIX DES HYPOTHESES DE MODELISATION

### 5.2.3.1. *Le choix du modèle*

Comme nous l'avons déjà vu précédemment, il existe plusieurs types de modèles :

- Les modèles de panache gaussien
- Les modèles à bouffées gaussiennes
- Les modèles eulériens
- Les modèles lagrangiens

L'analyse de la situation physique à modéliser et des données disponibles doit permettre de guider l'utilisateur dans le choix du modèle de dispersion. Cependant, le choix du modèle est souvent motivé par des contraintes extérieures aux problèmes de dispersion atmosphérique. En effet, souvent, l'utilisateur possède déjà un modèle ou des contraintes d'ordre financière ou informatique impose de choisir un modèle simple et peu coûteux. Cependant, même si le modèle est imposé, il faut encore faire le choix des options de modélisation et de la mise en œuvre de la simulation.

### **5.2.3.2. Le choix des options de modélisation**

Un logiciel de dispersion, même s'il est fondé sur une modélisation précise, peut proposer plusieurs options de calcul. En fonction du problème à traiter, l'utilisateur choisit de les utiliser ou non.

Ces options concernent les problèmes suivants :

- La description du site
  - Le choix du domaine
  - L'occupation des sols
- La description de l'écoulement
  - Le calcul d'un profil de vent et de température
  - La prise en compte du relief
  - La prise en compte des obstacles
  - La modélisation du bord de mer
  - Les variations de l'occupation des sols
  - Les phénomènes de vents calmes
- La description du rejet
  - Le calcul de la surélévation du panache
  - La géométrie de la source
  - Le blocage du polluant par la couche limite
  - Les dépôts de polluants au sol, secs ou humides
  - Les réactions chimiques du polluant avec l'atmosphère

### 5.2.3.3. **Le choix de la mise en œuvre du problème**

Indépendamment du choix du modèle et des options de modélisation, l'utilisateur doit déterminer une méthode pour traiter son problème.

#### **Les grandeurs à calculer**

En fonction des exigences des études d'impact, l'utilisateur peut choisir de calculer les moyennes annuelles de concentration de polluant au sol ou en des points récepteurs précis. Certaines valeurs statistiques peuvent être exigées comme les percentiles ou les valeurs limites de concentration et les fréquences de dépassement.

#### **Le traitement de la statistique temporelle**

Pour réaliser une étude d'impact, plusieurs approches sont possibles. Le choix d'une approche par rapport à une autre dépend beaucoup des données disponibles et des temps de calcul des modèles.

##### *Utilisation de données séquentielles*

On peut calculer la dispersion pour toutes les heures d'une année et calculer ensuite la moyenne des concentrations en certains points ainsi que des paramètres statistiques comme des percentiles ou des fréquences de dépassement d'une valeur limite. Cette méthode nécessite de posséder des données météorologiques séquentielles pour toutes les heures de l'année.

Pour les approches de modélisation utilisant des données météorologiques séquentielles, l'utilisateur doit se poser la question de la modulation des émissions. Si les émissions du site ne sont pas constantes et que l'utilisateur connaît la modulation temporelle des caractéristiques du rejet, il peut choisir de prendre en compte cette modulation ou de faire une simulation avec les caractéristiques moyennes des émissions.

##### *Utilisation d'une rose des vents*

Il est aussi possible de calculer la dispersion sur un site industriel à partir de la rose des vents du site. Connaissant la fréquence d'occurrence des situations météorologiques, on calcule la moyenne pondérée de toutes les situations. La rose des vents peut être plus ou moins détaillée :

- Les intervalles de direction du vent peuvent être de 5°, 10°, 20° ou 30°
- On peut définir plusieurs intervalles de vitesse, par exemple on définit 3 classes de vent : vent faible inférieur à 3 m/s, vent moyen compris entre 3 et 7 m/s et vent fort supérieur à 7m/s. On calcule une rose des vents pour chaque classe de vitesse.
- On peut imposer une classe de stabilité, ou calculer une rose des vents par régime de stabilité.

##### *Utilisation d'un scénario type*

Il est possible de réaliser une étude d'impact en définissant un scénario de modélisation. Ce scénario peut représenter une situation météorologique pénalisante, on calcule ainsi la concentration que l'on peut obtenir dans un cas défavorable pour la dispersion.

Le scénario de modélisation peut aussi représenter une journée type. L'objectif est de représenter les fluctuations journalières moyennes de la météorologie. Cette méthode permet par exemple de représenter les cycles de vents thermiques. Généralement, on distingue les journées d'été et les journées d'hiver, les fluctuations météorologiques étant relativement dépendantes de la saison. La méthode pour déterminer les caractéristiques de la journée type est la suivante :

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

- A partir des données météo horaires d'une ou plusieurs années, on établit une rose des vents pour chaque heure de la journée. On peut éventuellement distinguer les journées d'hiver et les journées d'été.
- On affecte à chaque heure de la journée type la température moyenne de cette heure ainsi que la vitesse du vent moyenne et éventuellement la nébulosité et les précipitations moyennes.
- La direction du vent pour chaque heure est la direction privilégiée qui apparaît sur la rose des vents horaire.

Cette méthode permet d'étudier l'évolution du polluant sur une journée complète. Elle peut notamment permettre de modéliser les phénomènes d'accumulation de polluant d'une heure sur l'autre lorsque le vent est faible.

#### **Le regroupement des sources**

Certaines situations présentent plusieurs sources distinctes. Suivant la géométrie des sources, leurs positions les unes par rapport aux autres et la position des cibles, l'utilisateur peut choisir de regrouper les sources en une source ponctuelle équivalente. Mais cette hypothèse peut parfois induire des erreurs importantes dans les résultats (cf étude de sensibilité) et il est alors nécessaire de modéliser toutes les sources.

### **5.3. APPLICATION DE LA METHODOLOGIE D'ETUDE D'UN CAS REEL A L'USINE DE LA CHAMBRE**

Dans cette partie, nous allons étudier le cas industriel de l'usine de la commune de La Chambre en Savoie. L'objectif de cette partie est de montrer une application de la méthodologie d'étude d'un cas réel que nous avons précédemment établie. Nous nous sommes efforcés autant que possible de suivre le plan de la méthodologie, mais l'étude des caractéristiques du site et l'inventaire des données disponibles sont liées. Ces deux parties ont donc été regroupées.

Nous proposons 3 solutions différentes pour modéliser la dispersion des polluants issue de l'usine. Nous analyserons les mises en œuvre de ces 3 solutions ainsi que les résultats obtenus.

#### **5.3.1. DEFINITION DE LA SITUATION PHYSIQUE A MODELISER**

##### **5.3.1.1. Analyse du site et des phénomènes météorologiques locaux**

#### **Les coordonnées géographiques du site**

L'usine de La Chambre a pour coordonnée 45.356°N et 6.298°E. Soit en coordonnées Lambert II, 910250 km selon x et 2047250 selon y.

#### **L'occupation des sols**

Le village de La Chambre est situé dans la vallée de la Maurienne en Savoie au bord de l'Arc et à proximité du village de La Chambre. L'environnement autour de l'usine est de type rural (alternance de champ ouvert, de village et de forêt). Il n'y a pas de variation notable de l'occupation des sols au voisinage du site. L'environnement de type rural au voisinage de l'usine est modélisé par une rugosité de 0.5m, un albédo de 0.18 et un rapport de Bowen de 0.5. Ces grandeurs sont uniformes sur toute la zone. Ces valeurs ont été choisies arbitrairement d'après les valeurs proposées par l'USGS pour ce type d'occupation des sols.

#### **La topographie du site**

*Présence de relief « important » autour du site.*

L'usine est située dans une vallée alpine très encaissée, avec des sommets de plus de 2000m d'altitude à moins de 3 km du site.

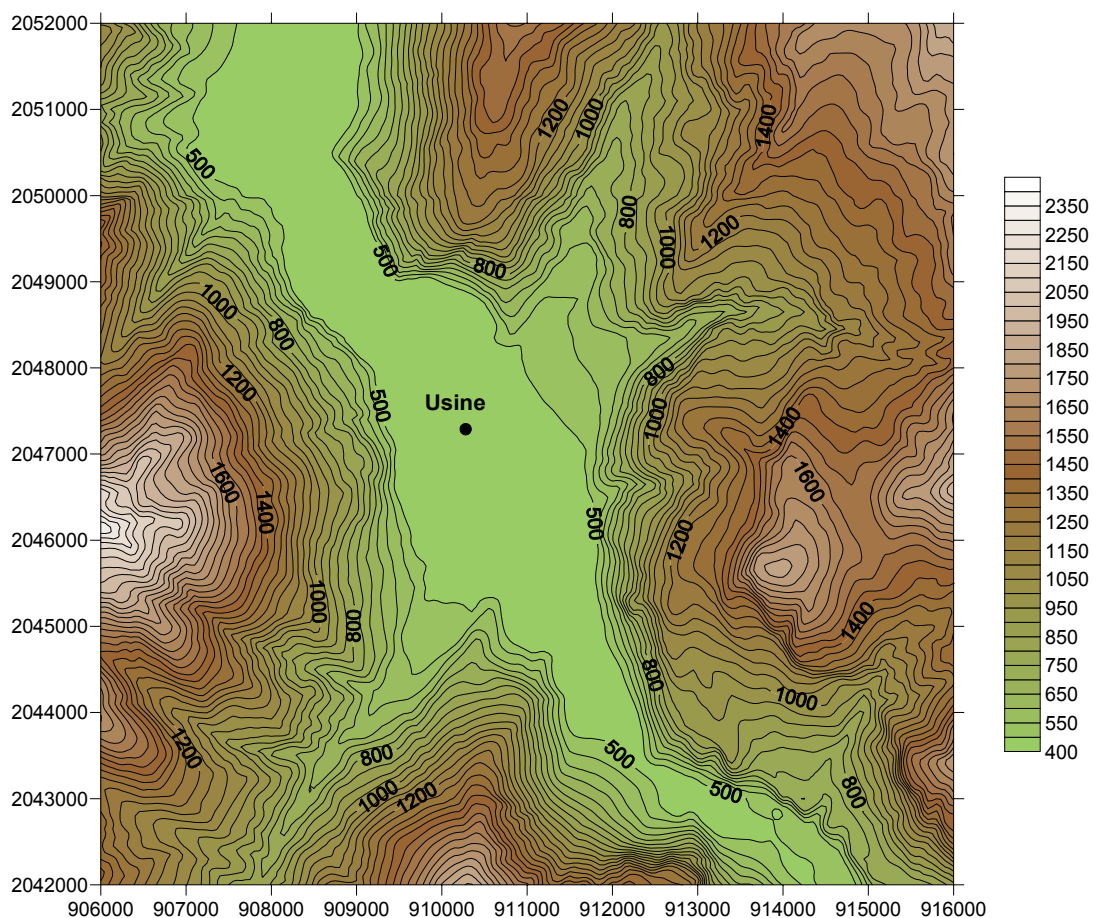


Figure 149 : le relief autour du site de La Chambre

- *La modification de l'écoulement par des effets dynamiques*

Le vent dans la vallée est canalisé par le relief et dépend peu du vent synoptique en altitude.

- *La modification de l'écoulement par des effets thermiques*

Des brises thermiques peuvent apparaître en fonction de l'ensoleillement. Au cours de la journée, l'ensoleillement dans la vallée chauffe les couches d'air à proximité du sol. L'air en altitude est beaucoup plus froid. Il se crée une circulation d'air : l'air chaud s'élève en remontant l'axe de la vallée.

Nous possédons les données de relief de l'IGN, avec une précision de 50m.

*Présence d'obstacles au voisinage du site*

La cheminée de rejet des polluants est haute de 47 m. elle n'est pas soumise à l'influence des bâtiments de l'usine. Aucun obstacle autour du site n'est susceptible de perturber l'écoulement.

### 5.3.1.2. *La nature des polluants*

Le rejet étudié est un rejet de SO<sub>2</sub> ou de NO<sub>2</sub>. On ne tient pas compte des éventuelles réactions chimiques du gaz avec l'atmosphère. On considère que le polluant étudié est un gaz inerte de même masse volumique que l'air.



Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

### **5.3.1.3. Les caractéristiques du rejet**

#### **Rejet chaud avec une vitesse d'éjection pouvant induire une surhauteur**

Le polluant est issue d'une cheminée de 47.5m de hauteur et ayant un diamètre de 1.5m. On modélise cette source comme une source ponctuelle. La température de rejet est de 224.15°C et la vitesse d'éjection des gaz est de 13.75 m/s. le rejet va donc être soumis à des phénomènes de surhauteur élevée dont il faudra tenir compte.

#### **Le débit de polluant**

Le débit de polluant est de 8.51 g/s en moyenne.

#### **Modulation des caractéristiques du rejet**

Nous ne disposons pas des données de modulation de ces caractéristiques d'émission. Le rejet est supposé constant.

### **5.3.1.4. La météorologie**

Les données météorologiques dont on dispose, sont d'une part des mesures Météo France issues de la station de mesure de Sainte Marie de Cuines située à 2km de l'usine. Ces données sont disponibles toutes les heures sur 3 années : 2000, 2001 et 2002. Les mesures de la station de Ste Marie de Cuines concernent le vent à 10m avec une précision de 1m/s pour le module et une précision de 10 degrés pour la direction ainsi que la température sous abri avec une précision de 0.1°C.

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

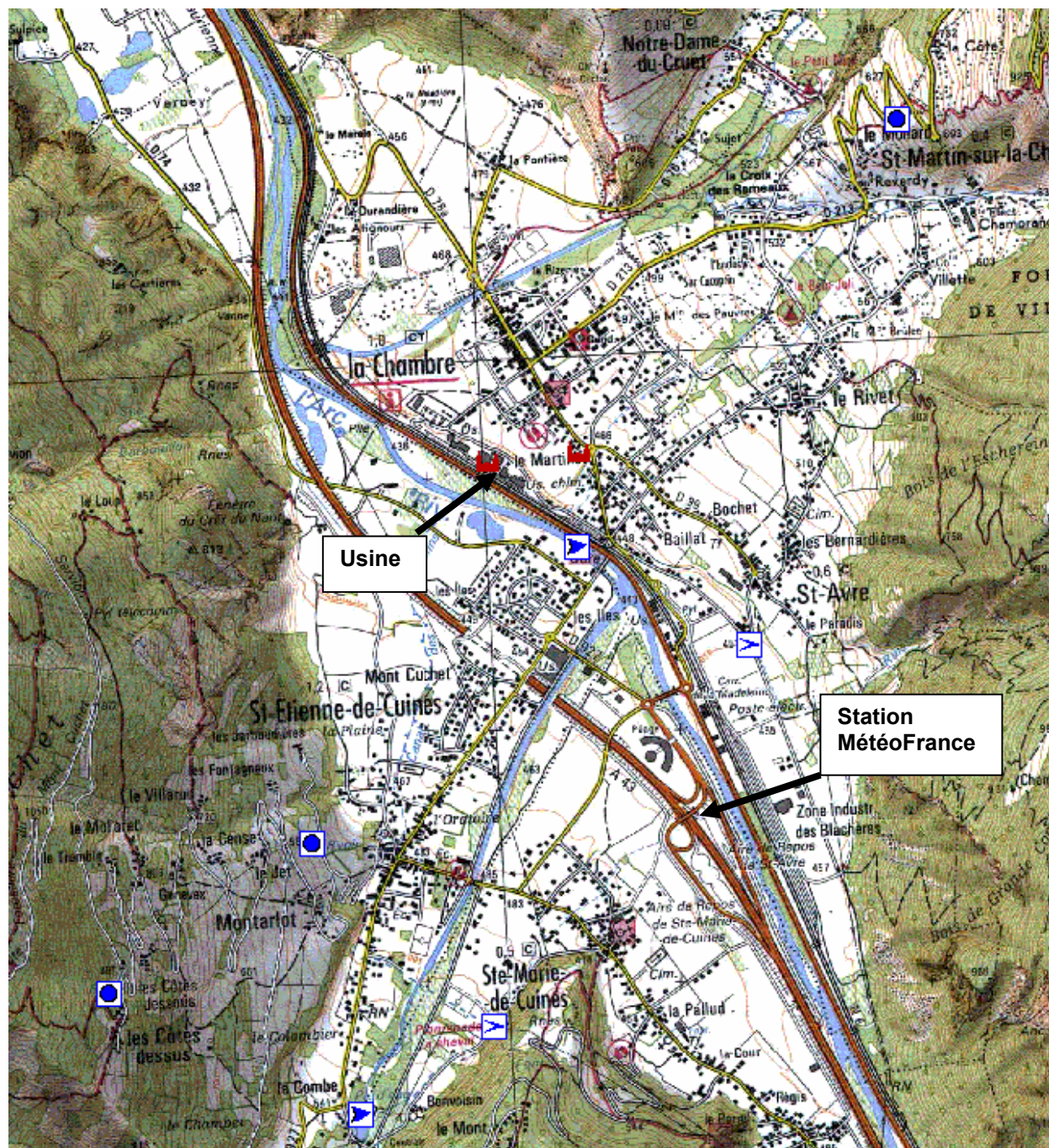


Figure 150 : localisation de l'usine et de la station Météo France

D'autre part, nous possédons les données issues du modèle ALADIN de Météo France. Ces données sont disponibles toutes les 6 heures sur 3 années : 2000, 2001 et 2002. Elles concernent le vent en vitesse et en direction, la température et l'humidité relative pour différents niveaux de pression : 1000hpa, 950 hpa, 925 hpa, 900 hpa, 850 hpa, 800 hpa, 700 hpa, 600 hpa, 500 hpa, ainsi que la couverture nuageuse en oktas.

### 5.3.1.5. Analyse climatologique

#### Les données mesurées par Météo France à Ste Marie de Cuines

L'analyse des roses des vents pour les années 2000, 2001 et 2002 (Figure 151 Figure 152 Figure 153) nous permet de faire les remarques suivantes. Les vents dominants dans la vallée sont orientés dans l'axe principal de la vallée, c'est-à-dire dans les directions nord-ouest et sud-est. Il apparaît aussi des vents dans la direction sud-ouest. On remarque également que les vents forts (supérieur à 7m/s) apparaissent essentiellement dans la direction sud-est.

D'autre part, les situations de vents faibles sont très fréquentes, on comptabilise plus de 8000 heures avec un vent nul pour les 3 ans ; soit environ 1/3 du temps.

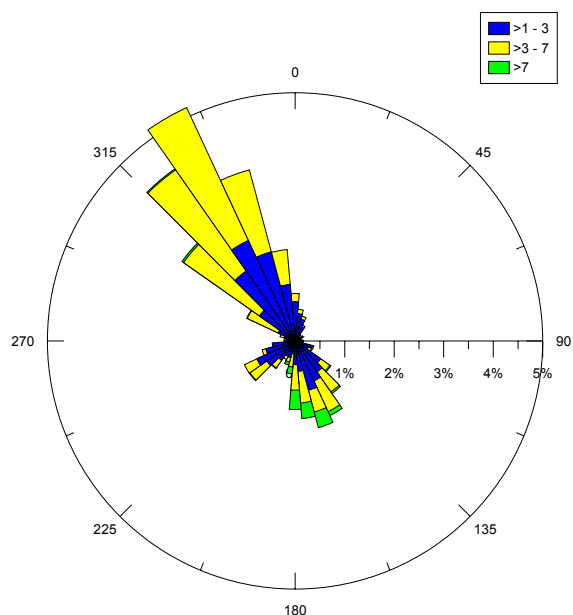


Figure 151 : rose des vents à Ste Marie de Cuines pour l'année 2000

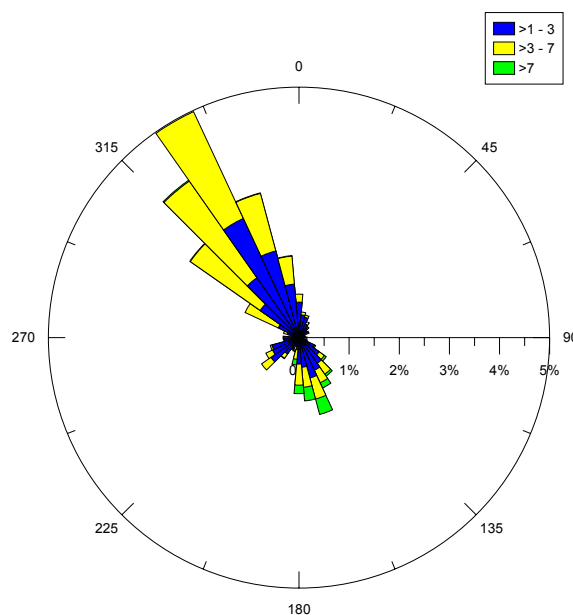


Figure 152 : rose des vents à Ste Marie de Cuines pour l'année 2001

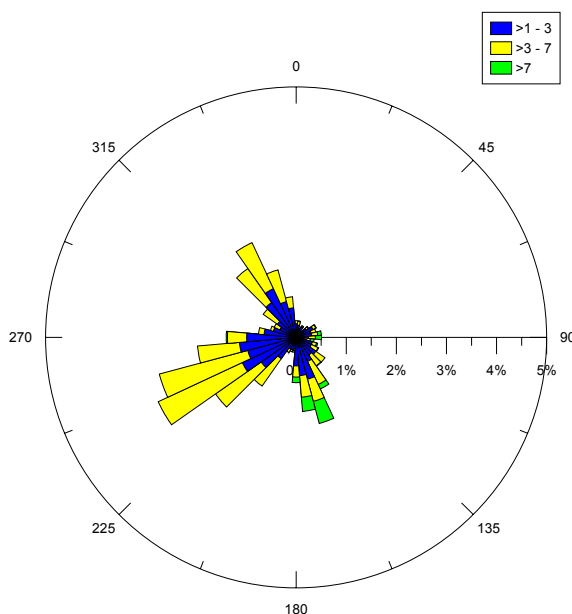


Figure 153 : rose des vents à Ste Marie de Cuines pour l'année 2002

L'usine étant située dans une vallée encaissée, il convient d'étudier en détail les régimes de vents thermiques. On construit donc les roses des vents pour différentes heures de la journée et on différencie les mois d'été et les mois d'hiver (Figure 154 à Figure 161).

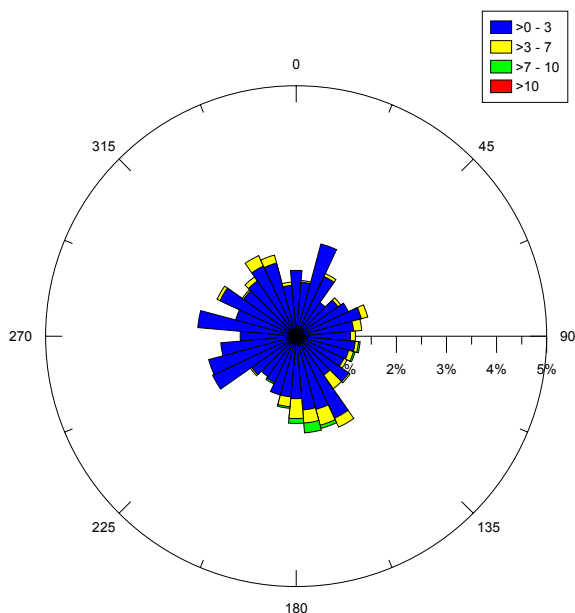


Figure 154 : été 0h-5h

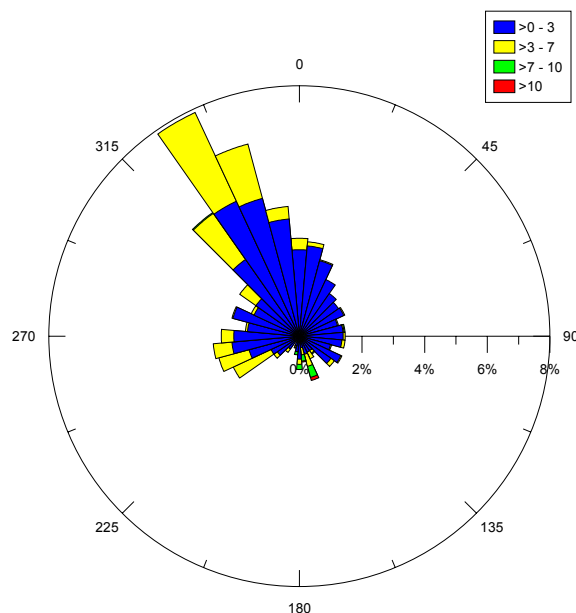


Figure 155 : été 6h-11h

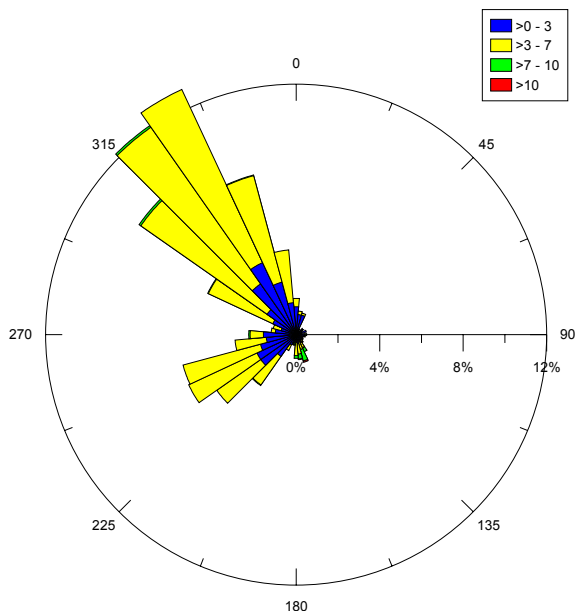


Figure 156 : été 12h-17h

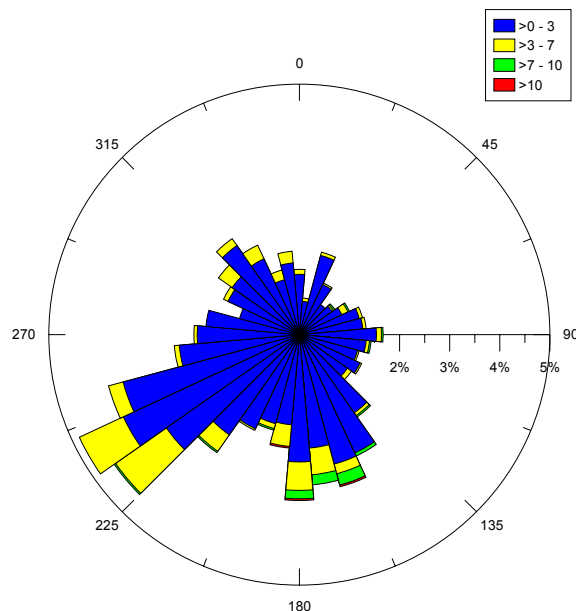


Figure 157 : été 18h-23h

On remarque que pendant les mois d'été, le vent est majoritairement orienté au Nord-ouest pendant les heures les plus chaudes (12h-17h). L'air qui s'échauffe remonte la vallée. Il se crée donc un vent moyen (compris entre 3 et 7m/s) orienté au Nord-ouest. Pendant les heures de nuit, le vent est plus faible il n'a pas vraiment d'orientation privilégiée.

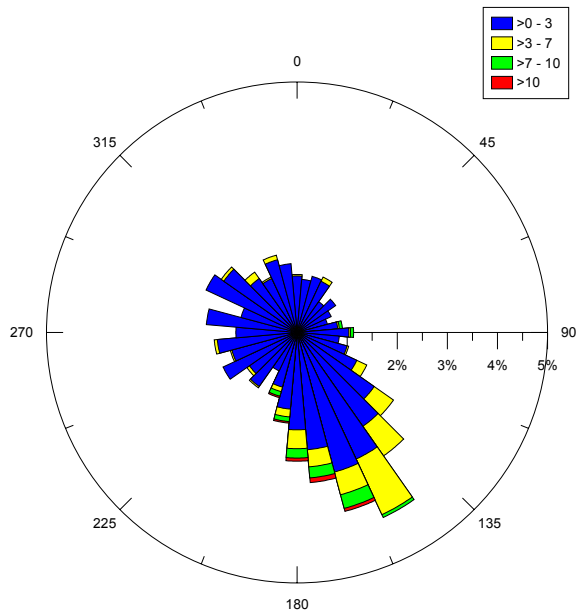


Figure 158 : hiver 0h-5h

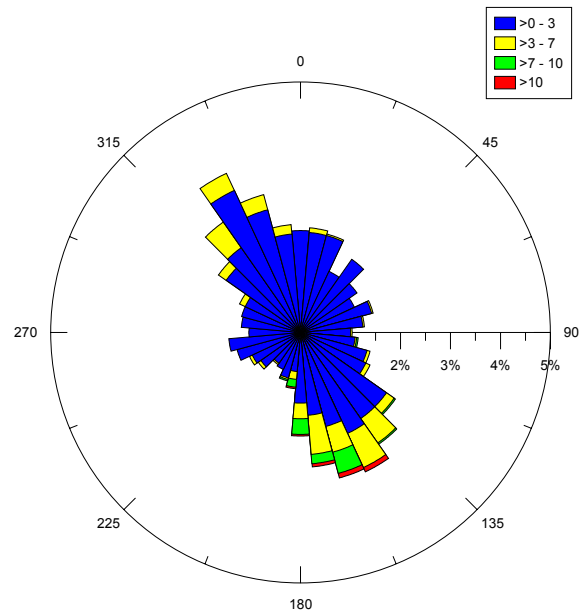


Figure 159 : hiver 6h-11h

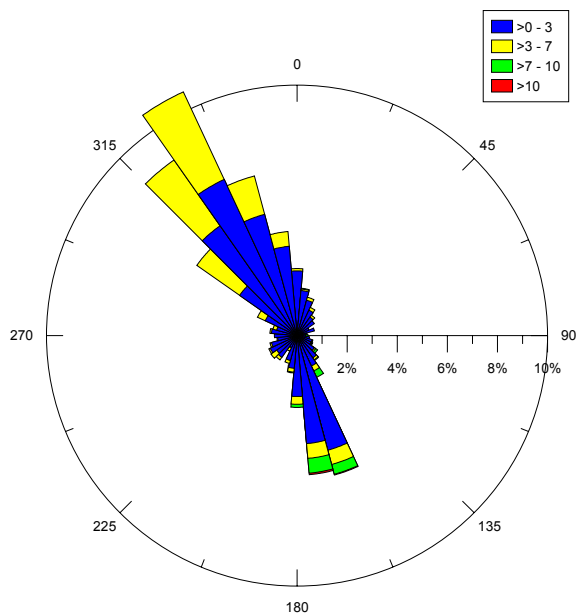


Figure 160 : hiver 12h-17h

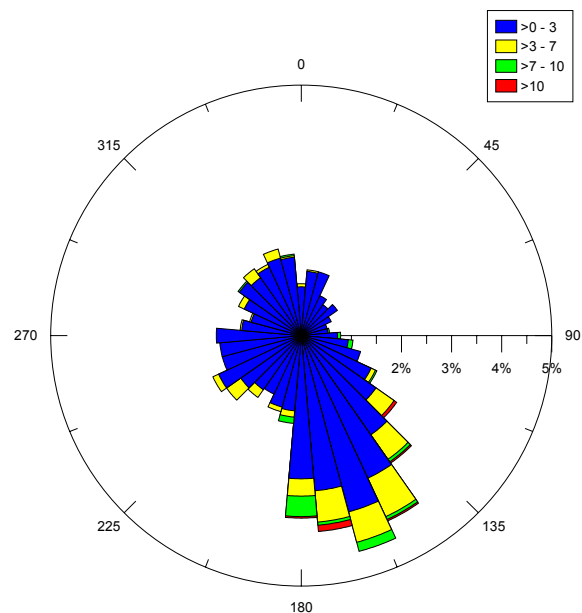


Figure 161 : hiver 18h-23h

Pour les mois d'hiver, on remarque que les vents de sud-est sont légèrement majoritaires pendant les heures de nuit et les vents de Nord-ouest sont plus fréquents le jour.

La vallée est donc bien soumise à un régime de vent de type thermique. Avec les modèles actuels, ces régimes de vents sont assez difficiles à modéliser à l'échelle du site de la Chambre. Il faudrait plusieurs points de mesures pour connaître plus précisément le champ de vent dans la vallée.

### Les données du modèle ALADIN

Les données du modèle ALADIN correspondent à un point situé au nord de l'usine. Si on s'intéresse au vent pour un niveau de pression de 1000 hPa, ce qui correspond à quelques mètres au dessus du sol, on remarque que les vents sont orientés majoritairement Nord-ouest et Sud-est (Figure 162). Pour une pression de 800 hpa, les vents sont encore orienté dans l'axe de la vallée, mais les vents d'ouest sont plus fréquents (Figure 163). Pour une pression de 500hpa, ce qui correspond à une altitude de 5000m, les vents sont orientés entre le sud-ouest et le nord-ouest (Figure 164). Le vent en altitude et le vent dans la vallée sont décorrélés. Le vent dans la vallée n'est donc pas déterminé par un courant à grande échelle mais bien par des phénomènes locaux comme les brises thermiques.

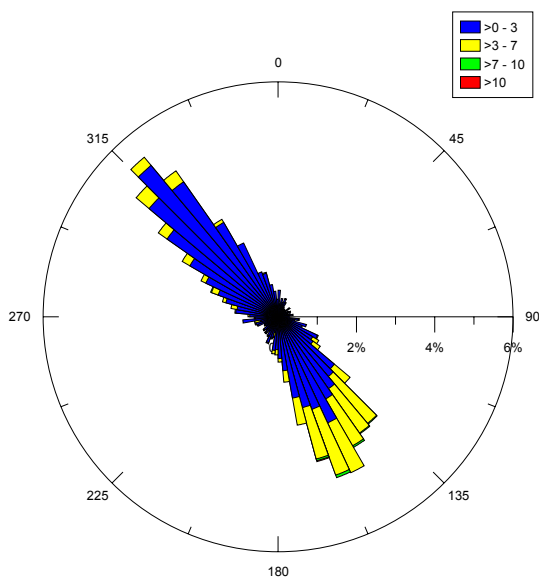


Figure 162 : rose des vents ALADIN pour le niveau 1000 hPa

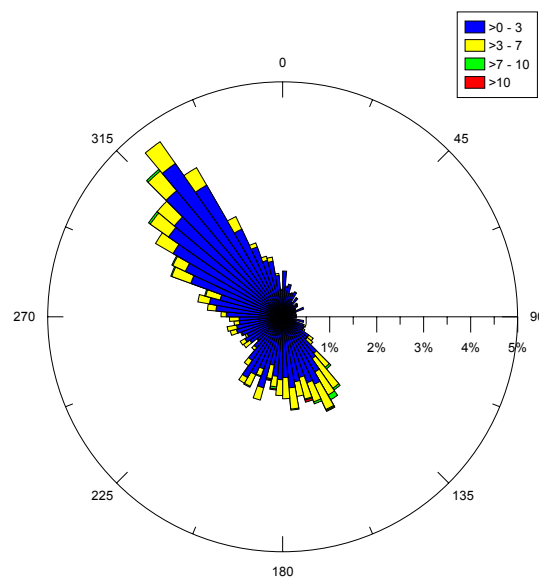


Figure 163 : rose des vents ALADIN pour le niveau 800 hPa

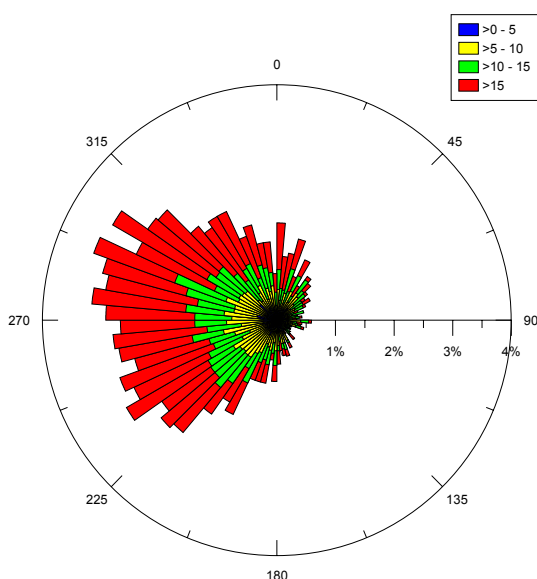


Figure 164 : rose des vents ALADIN pour le niveau 500 hPa

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

Pour pouvoir exploiter au mieux les données du modèle ALADIN, on étudie la corrélation entre le modèle et les mesures. Pour tous les vents ALADIN au niveau 1000 hPa et au niveau 500 hPa compris entre 300 et 360 degrés puis entre 120 et 180 degrés, on compte les fréquences d'occurrence des vents mesurés à Ste Marie de Cuines dans toutes les directions (Figure 165 ).

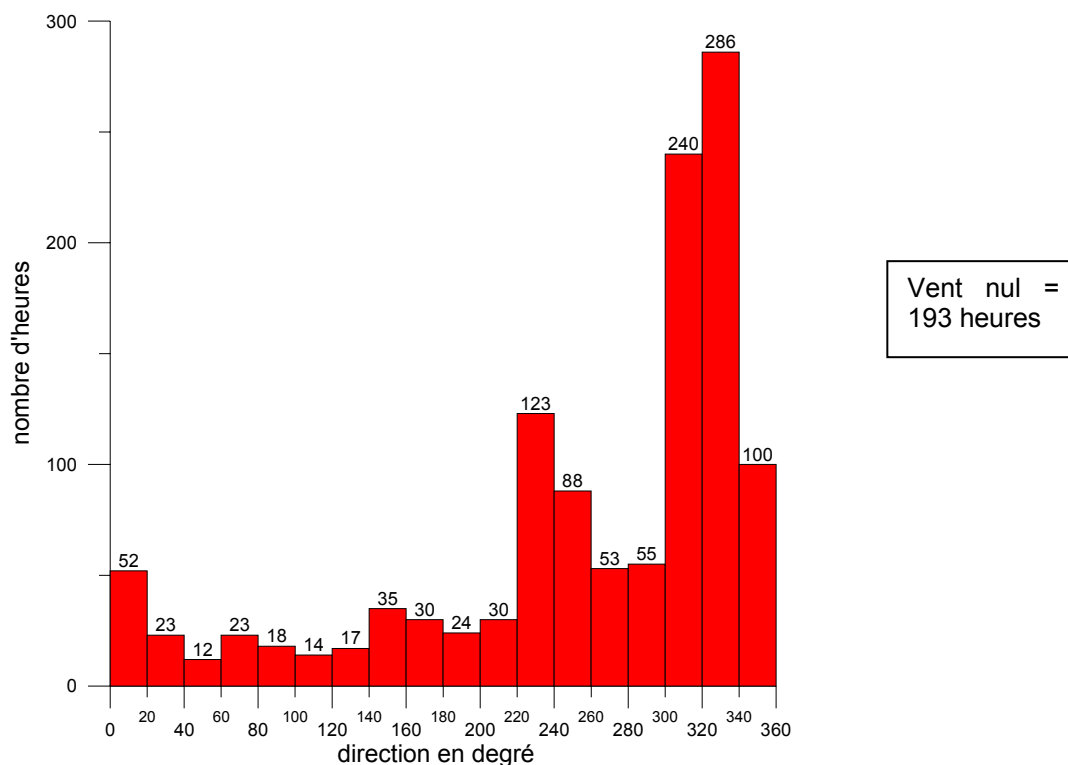


Figure 165 : Corrélation entre le vent modélisé à 1000hpa ayant une direction comprise entre 300 et 360 et les mesures

On remarque que les vents mesurés sont majoritairement dans la direction nord-ouest. Cependant, il apparaît un nombre non négligeable de cas où le vent est orienté sud-ouest.

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

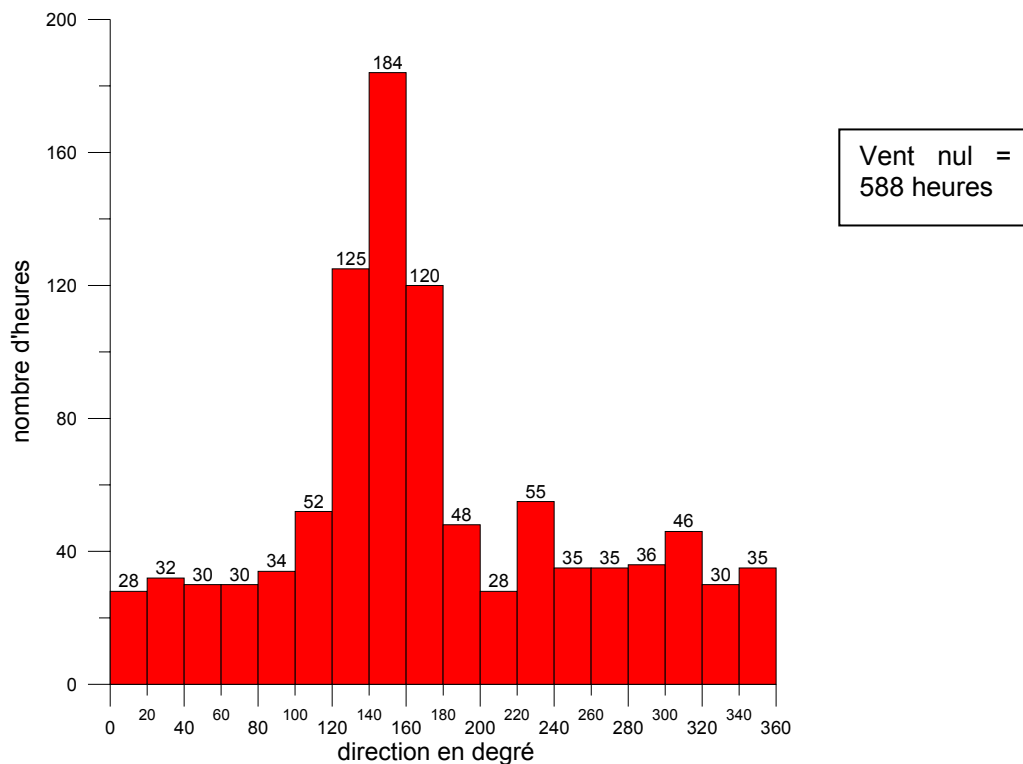


Figure 166 : Corrélation entre le vent modélisé à 1000hpa ayant une direction comprise entre 120 et 180 et les mesures

Les vents mesurés sont majoritairement nuls ou orientés sud-est.

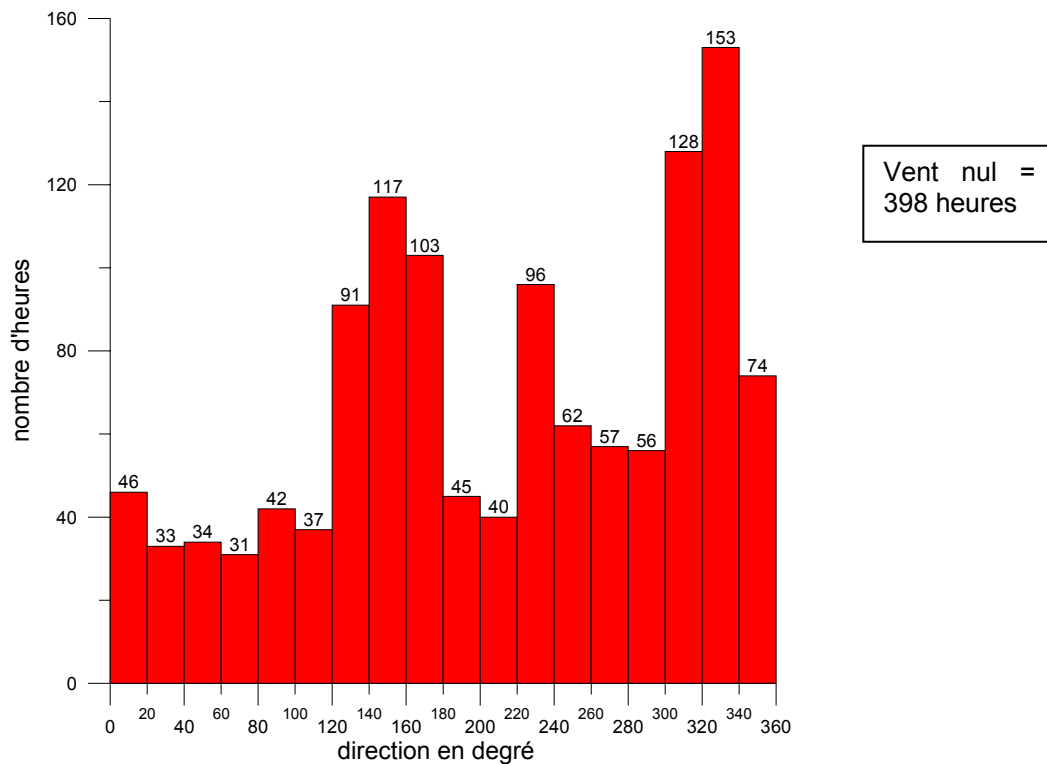


Figure 167 : Corrélation entre le vent modélisé à 500hpa ayant une direction comprise entre 180 et 270 et les mesures



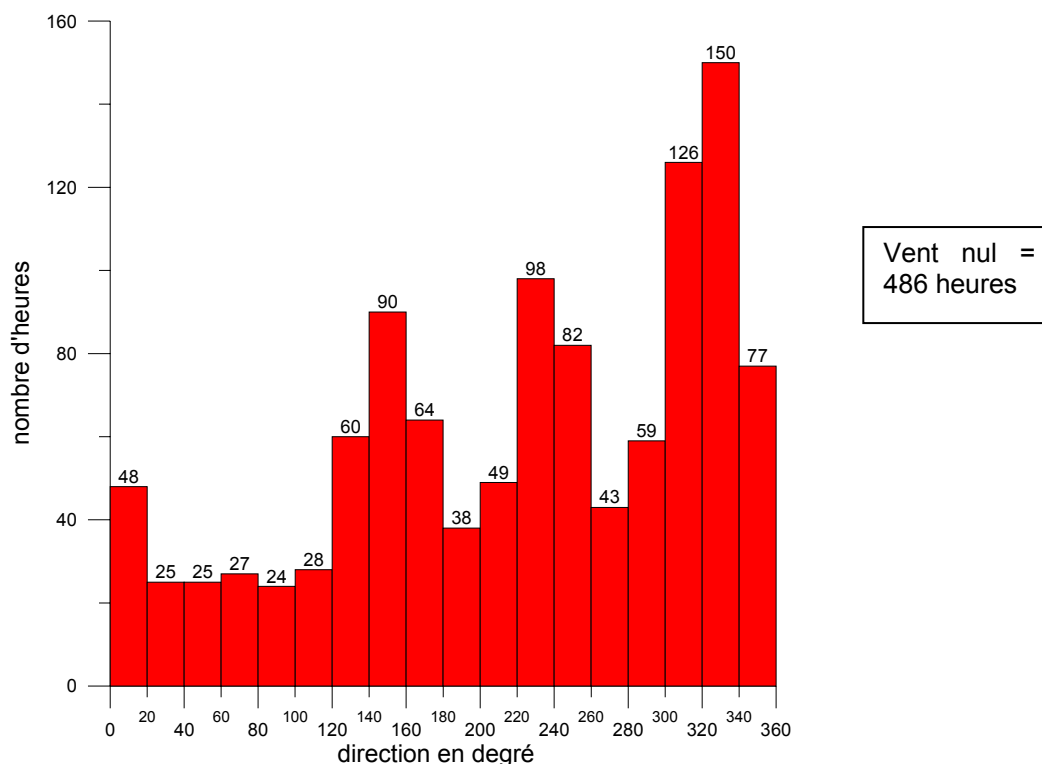


Figure 168 : Corrélation entre le vent modélisé à 500hpa ayant une direction comprise entre 280 et 360 et les mesures

Les directions privilégiées qui apparaissent dans les deux cas (Figure 167et Figure 168) sont les directions nord-ouest et sud-est, c'est-à-dire les directions qui apparaissent sur la rose des vents globale du capteur de Sainte-Marie de Cuines. Il n'y a donc pas de corrélation évidente entre le vent à grande échelle et le vent au niveau du sol.

Les données d'ALADIN concernant la couverture nuageuse sont disponibles tous les jours des 3 années toutes les 6 heures. Nous avons effectué ensuite une interpolation de ces données pour déterminer la couverture nuageuse pour toutes les heures. Les données de vent sont plus difficiles à exploiter : le modèle ADMS ne permet d'utiliser les données météorologiques de plusieurs stations. Pour tenir compte des deux informations, celle du modèle Aladin et celle de la station de mesures, il faudrait faire une interpolation « à la main » des données mesurées à Ste Marie de Cuines et des données d'ALADIN ce qui n'a pas beaucoup de sens.

### 5.3.2. APPLICATION DE PLUSIEURS MODELES DE DISPERSION AU CAS INDUSTRIEL ATOFINA

#### 5.3.2.1. *Le choix du modèle*

Pour illustrer les différences de mise en œuvre des modèles de dispersion, nous avons utilisés 3 modèles différents et 3 approches de modélisations différentes.

- Le modèle de panache gaussien ADMS.
- Le modèle lagrangien SPRAY couplé avec le modèle météorologique diagnostique MINERVE.
- Le modèle eulérien HERMES couplé avec le modèle météorologique diagnostique MINERVE.

Nous présentons dans les parties suivantes les hypothèses qui ont été retenues pour chacun des modèles en fonction de ses capacités ainsi que les choix de mise en œuvre de ces modèles. Nous présentons aussi les résultats obtenus en terme de concentration moyenne.

#### 5.3.2.2. *Application du modèle ADMS*

Le modèle ADMS est un modèle de panache gaussien. Il est donc très rapide et permet d'étudier 3 ans de données météorologiques séquentielles dans un temps raisonnable (environ 1h). Pour modéliser l'usine du site de La Chambre, nous avons retenu les options suivantes

- La description du site
  - Nous nous sommes limités à la partie plate autour de l'usine. Les limites de la zone d'étude sont donc 909000 m et 913000 m dans la direction est-ouest et 2044500 m et 2049000 m dans la direction nord-sud. La cheminée de l'usine est située au point de coordonnées 910250, 2047250.
  - La latitude moyenne du domaine est de 45.3°N
  - La rugosité du site est uniforme et égale à 0.5m
- La description de l'écoulement
  - Les mesures météorologiques utilisées sont les mesures de vent et de température à la station de Ste Marie de Cuines pour les années 2000, 2001 et 2002.
  - Pour le calcul de la stabilité, on détermine la couverture nuageuse à partir des données en altitude issues du modèle ALADIN.
  - Nous avons choisi de ne pas activer l'option d'ADMS qui permet de prendre en compte le relief. En effet, le modèle FLOWSTAR d'ADMS qui permet de calculer l'écoulement en présence de relief ne peut s'appliquer que dans le cas d'un relief simple. La vallée encaissée de la Maurienne est un relief trop marqué avec des pentes trop fortes pour pouvoir être modélisée par FLOWSTAR. D'autre part, initialiser le modèle FLOWSTAR avec une mesure météorologique au fond de vallée n'aurait pas de sens. Nous avons donc limité l'étude à la zone plate de la vallée et nous avons supposé que les mesures météorologiques de Ste-Marie de Cuines étaient représentatives du vent dans toute la zone. Cette approximation est assez grossière, mais elle est plus raisonnable que l'utilisation du modèle d'écoulement FLOWSTAR en dehors de son cadre d'application.

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

- Il n'est pas possible de prendre en compte les vents calmes avec le modèle ADMS ; la valeur minimale du vent à 10m étant de 0.75m/s. Or les heures de vent calmes sont très nombreuses (environ 1/3 des heures dans la série météorologique) on ne peut donc pas les négliger. Pour chaque heure de vent calme, nous avons forcé le vent à 1m/s et nous avons calculé la concentration pour 18 directions de vent. On moyenne ensuite la concentration de ces 18 calculs. Cette hypothèse revient à dire que les situations de vents nuls sont en fait des situations de vents faibles mais tournants.
- La description du rejet
  - La source est modélisée comme une source ponctuelle de hauteur égale à la hauteur de la cheminée (47.5 m) et de diamètre égal à 1.51m.
  - Le modèle est renseigné sur la température et la vitesse du rejet afin d'effectuer un calcul de surhauteur.
  - Le modèle tient compte du blocage des polluants par la couche limite
  - Il n'y a pas de calcul des dépôts au sol ni des réactions chimiques avec l'atmosphère.

#### **Le choix de la mise en œuvre du problème**

Indépendamment du choix du modèle et des options de modélisation, l'utilisateur doit déterminer une méthode pour traiter son problème.

- **Le traitement de la statistique temporelle**

Les bonnes performances d'ADMS en terme de temps de calcul nous permettent d'étudier ce cas en utilisant 3 années de météorologie de façon séquentielle. En revanche, nous ne connaissons pas la modulation temporelle des caractéristiques des émissions, nous avons donc considéré les données moyennes pour le débit de la source, ainsi que pour la température et la vitesse du rejet.

- **Les grandeurs à calculer**

Deux modes de calcul sont disponibles dans ADMS, pour les calculs à court terme le logiciel stocke la concentration pour toutes les heures de la séquence, le nombre d'heure étant limité. L'utilisateur peut ensuite traiter les résultats comme il le souhaite pour calculer la concentration moyenne ou les percentiles. Pour un calcul à long terme, le logiciel stocke uniquement la concentration moyenne et les percentiles sur tout le domaine. Nous avons choisi cette deuxième solution. Cependant, notre méthode de calcul des situations de vents calmes ne nous permet pas de calculer les percentiles. Pour chaque situation de vent calme, il faudrait stocker la concentration calculée pour les 18 directions de vent et en faire la moyenne puis intégrer ces résultats à l'ensemble des résultats de concentration pour toutes les heures des 3 années étudiées. Ensuite il serait possible de calculer « à la main » les percentiles. Cette opération est très fastidieuse et le stockage des résultats du calcul ADMS pour chaque heure est très coûteux en place mémoire, nous nous intéresserons donc uniquement à la concentration moyenne au sol (Figure 184).

## Présentation des résultats

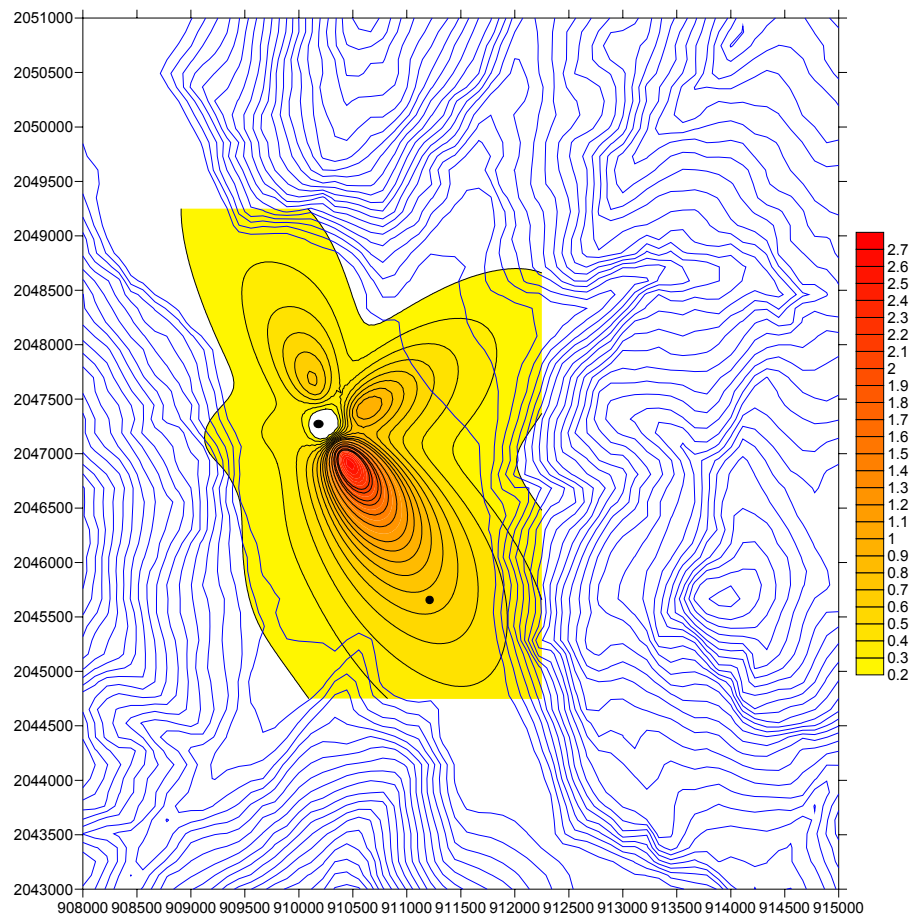


Figure 169 : concentration moyenne ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) obtenue à partir de 3 années de météorologie

Le résultat du calcul ADMS (Figure 169) montre que les niveaux de concentration moyens sont relativement faibles (inférieur à  $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Les panaches sont orientés dans l'axe principal de la vallée. Conformément à la rose des vents. Il est important de noter que la concentration à proximité de la source est très faible, ceci est dû au fait que la cheminée est assez haute et que la surhauteur est importante. Le panache atteint donc le sol loin de la source.

L'hypothèse du champ de vent uniforme dans la vallée n'est pas satisfaisante. La météorologie mesurée à Ste Marie de Cuines est certainement assez proche de la météo du site industriel, mais l'écoulement est modifié au voisinage des reliefs. Cette hypothèse nous oblige aussi à étudier uniquement la zone plate autour du site ; or l'impact de l'usine est non négligeable sur une zone plus étendue qui prend en compte les reliefs. En effet, dans les situations stables, le panache s'élève au dessus de la source par des effets de surhauteur et il se disperse très peu. La concentration au sol sur la zone plate autour de la source est donc très faible mais lorsque le panache atteint le relief sur la ligne de niveau correspondant à l'altitude du panache, la concentration est forte. Or, le modèle ADMS ne permet pas de créer un maillage au sol qui suive le relief sans activer le modèle d'écoulement. Pour calculer l'impact sur une zone plus étendue tenant compte des reliefs, il aurait fallu préciser « à la main » des récepteurs permettant de simuler le relief.

Enfin, le modèle ADMS ne permet pas de prendre en compte les éventuels effets d'accumulation de polluant d'une heure sur l'autre lorsque le vent est calme.

### 5.3.2.3. Application des logiciels MINERVE et SPRAY au cas réel de l'usine de La Chambre

Le modèle SPRAY est un modèle lagrangien. Les temps de calcul étant relativement longs, il ne permet pas d'étudier 3 ans de données météorologiques séquentielles dans un temps raisonnable. Nous avons donc choisi de traiter ce cas réel par deux méthodes : d'une part par une approche statistique à partir d'une rose des vents et d'autre part en étudiant une journée caractéristique. Pour modéliser l'usine du site de La Chambre, nous avons retenu les options suivantes

- La description du site
  - Nous avons choisi un domaine d'étude intégrant le relief autour de l'usine. Les limites de la zone d'étude sont donc 906000 km et 916000 km dans la direction est-ouest et 2042000 km et 2052000 dans la direction nord-sud. La cheminée de l'usine est située au point de coordonnées 910250, 2047250.
  - La rugosité du site est uniforme et égale à 0.5m, l'albédo est pris égal à 0.18 et le rapport de Bowen est égal à 0.5.
- La description de l'écoulement
  - Le modèle MINERVE effectue une interpolation des données météorologiques en fonction du relief puis le modèle ajuste le champ de vent pour répondre à la condition de conservation de la masse. En fonction de la stabilité, la modification de l'écoulement par le relief n'est pas le même. Pour renseigner le modèle sur la stabilité, on impose un coefficient alpha. Ce coefficient est égal à 1 dans les situations instables et neutres et il est égal à 0.05 dans les situations stables.
  - On renseigne le modèle MINERVE avec les données météorologiques mesurées à Ste Marie de Cuines. Le profil vertical du vent est un profil log pour une rugosité au sol de 0.5m. le profil de température est un profil linéaire, le gradient dépend de la stabilité.
  - Théoriquement, le modèle SPRAY permet de prendre en compte les vents calmes. Lorsque le champ de vent est nul sur le domaine d'étude, le résultat du calcul de dispersion montre un panache qui s'élève au dessus de la source et donc une concentration nulle au sol. Cette solution ne nous paraissait pas satisfaisante. En réalité, lorsque le vent est nul au niveau du sol, deux situations peuvent se produire : le panache s'élève et lorsqu'il atteint une certaine altitude, le vent n'est plus nul et le panache se disperse, ou encore, le panache s'élève et il atteint le sommet de la couche d'inversion qui forme un couvercle infranchissable au dessus de la vallée. Le panache se diffuse lentement et le polluant s'accumule. Ces deux situations sont difficiles à reproduire. Pour modéliser les situations de vent calme, nous avons imposé un vent à 10m de 0.2m/s, le profil vertical du vent est un profil de type log avec une rugosité de 0.5m. La température au sol est égale à la température moyenne annuelle et le profil de température est linéaire avec un gradient de -0.6°C par 100m. Le coefficient alpha est pris égal à 0.5. L'heure est prise égale à 8h. Nous avons calculé la concentration pour 36 directions de vent et nous avons calculé la concentration moyenne au sol en pondérant en fonction de la rose des vents globale.

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

- La description du rejet
  - La source est modélisée comme une source ponctuelle de hauteur égale à la hauteur de la cheminée (47.5 m) et de diamètre égal à 1.51m.
  - Le modèle est renseigné sur la température et la vitesse du rejet afin d'effectuer un calcul de surhauteur. Le rejet est modélisé par un rejet de 2000 particules lagrangiennes émises toutes les 10 secondes.
  - Le modèle tient compte du blocage des polluants par la couche limite
  - Il n'y a pas de calcul des dépôts au sol ni des réactions chimiques avec l'atmosphère.

#### **Le choix de la mise en œuvre du problème : l'approche statistique**

Indépendamment du choix du modèle et des options de modélisation, l'utilisateur doit déterminer une méthode pour traiter son problème.

- **Le traitement de la statistique temporelle**

Le modèle SPRAY étant coûteux en temps de calcul, nous avons choisi d'étudier le cas de l'usine ATOFINA par une approche statistique.

Nous avons utilisé le calcul météo d'ADMS pour établir une classification des situations météorologiques. Nous distinguons 4 situations :

- Les vents calmes
- Les situations stables ( $1/Lmo > 0.01$ )
- Les situations neutres ( $-0.01 < 1/Lmo < 0.01$ )
- Les situations instables ( $1/Lmo < -0.01$ )

Nous avons donc établi les trois roses des vents pour ces différents régimes et nous avons calculé la dispersion pour chaque situation de stabilité et pour 36 directions de vent. La vitesse du vent étant égale à la moyenne des vitesses pour chaque situation. Les mesures météorologiques utilisées sont les mesures de vent et de température à la station de Ste Marie de Cuines pour les années 2000, 2001 et 2002

Les scénarios de modélisation pour MINERVE ont été établis de la façon suivante :

- Pour les situations stables, le vent à 10 m est égal à 1.3m/s et le profil vertical du vent est un profil de type log avec une rugosité de 0.5m. la température au sol est égale à la température moyenne annuelle et le profil de température est linéaire avec un gradient de 0.6° par 100m. le coefficient alpha est pris égal à 0.05. L'heure est prise égale à 1h.
- Pour les situations neutres, le vent à 10 m est égal à 4.3m/s et le profil vertical du vent est un profil de type log avec une rugosité de 0.5m. La température au sol est égale à la température moyenne annuelle et le profil de température est linéaire avec un gradient de 1° par 100m. le coefficient alpha est pris égal à 1. l'heure est prise égale à 8h.
- Pour les situations instables, le vent à 10 m est égal à 1.4m/s et le profil vertical du vent est un profil de type log avec une rugosité de 0.5m. la température au sol est égale à la température moyenne annuelle et le profil de température est linéaire avec un gradient de -1.2°C par 100m. Le coefficient alpha est pris égal à 1. L'heure est prise égale à 13h.

Le modèle SPRAY est utilisé avec la méthode de calcul de turbulence TURKEY niveau 1, les fichiers « cromet » qui permettent de déterminer les paramètres de stabilité comme la hauteur de la couche limite ou la longueur de Monin Obukhov sont établis de telle sorte qu'ils définissent des situations stables, instables ou neutres.

Pour intégrer les heures de vents calmes, nous avons comparé 2 méthodes. D'une part, on considère que pour les heures de vent calme, le vent est effectivement nul et le panache de polluant monte et ne retombe pas sur le sol. La contribution des heures de vent calme est donc nulle. D'autre part, on considère que les vents calmes sont des vents de module faible mais tournant, la répartition des directions étant la même que celle de la rose des vents et on intègre la contribution de ces vents faibles à la concentration. Ces deux méthodes donnent des résultats sensiblement identiques. En effet dans le cas où on impose un écoulement nul, le panache de polluant monte et n'atteint jamais le sol, la concentration pour ces cas est donc nulle. Dans le cas où le vent est faible, mais tournant, le panache s'élève aussi et la concentration au sol au bout d'une heure est très faible. Il aurait fallu calculer la concentration au bout de 4 heures pour voir l'impact au sol, ce qui n'a pas de sens dans notre approche statistique.

- **Les grandeurs à calculer**

L'utilisation de données statistiques ne permet pas de calculer les percentiles. Nous avons donc calculé uniquement la concentration moyenne au sol sur tout le domaine.

### Présentation des résultats

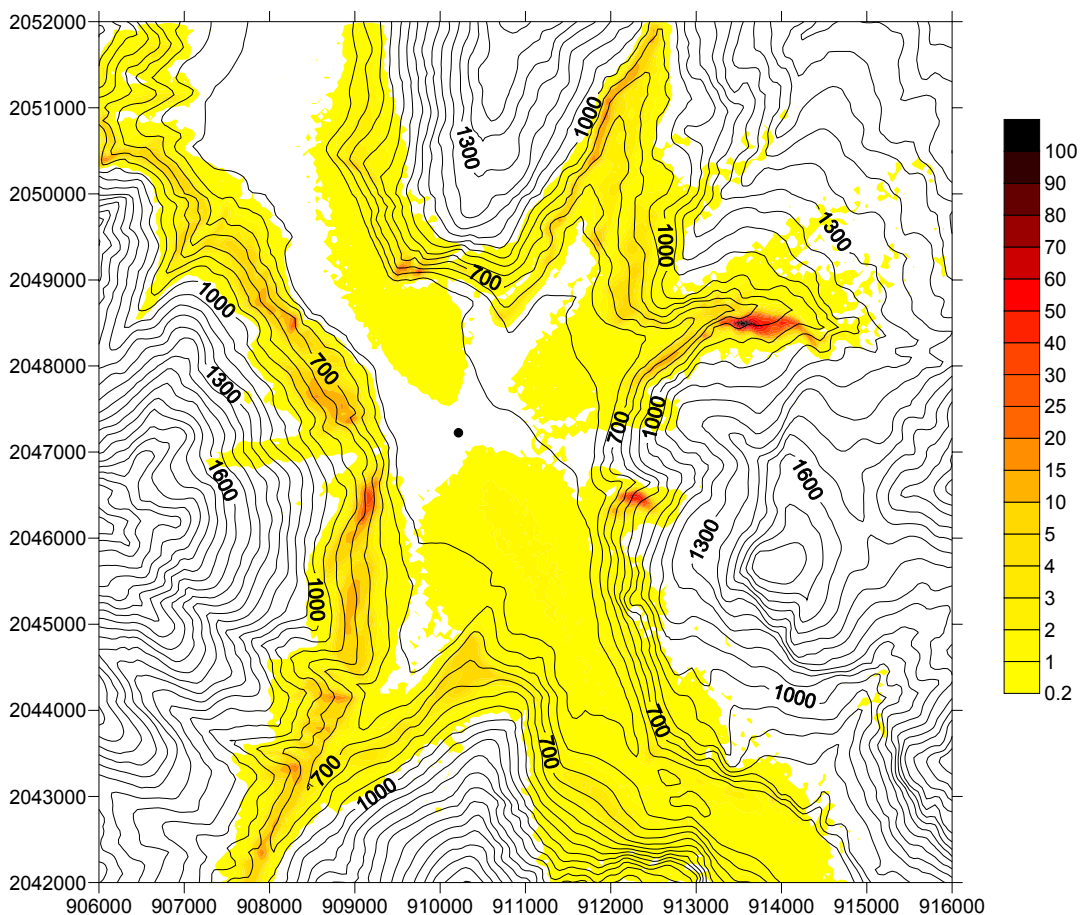


Figure 170 : concentration moyenne au sol ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

On remarque que la concentration dans la vallée est faible mais que des zones d'accumulation apparaissent sur les reliefs notamment au fond de la vallée au Nord-est de l'usine. Ces zones de fortes concentrations sont dues aux situations stables où le panache s'élève de plusieurs mètres au dessus de l'usine par des effets de surhauteur et où il est transporté par l'écoulement sans beaucoup se disperser. Le panache impacte ensuite le relief. Pour la partie plate de la zone au fond de la vallée, ces résultats sont légèrement différents de ceux obtenus avec ADMS, les niveaux de pollution moyens autour de l'usine sont légèrement plus faibles.

On voit apparaître 3 panaches principaux correspondant aux axes de la vallée, mais dans ces lobes, les niveaux de concentration sont plus faibles qu'avec ADMS. Les points sensibles ayant des concentrations élevées sont situés loin de la source dans les zones de relief.

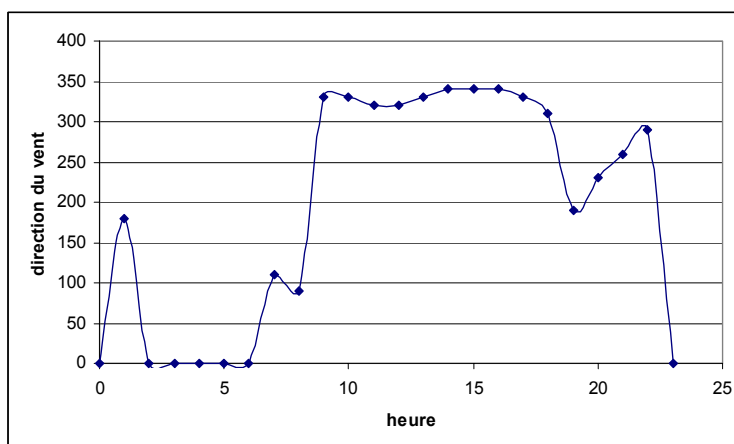
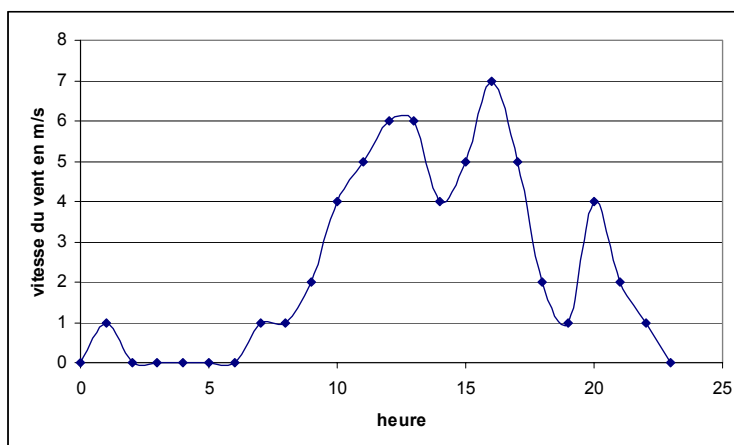
#### Le choix de la mise en œuvre du problème : exemple d'une journée type

La méthode que nous avons utilisée précédemment permet d'évaluer une moyenne statistique de la concentration de polluant sur la zone, mais cette moyenne est calculée en découpant les heures les unes des autres et ne permet pas de prendre en compte des effets d'accumulation de polluant d'une heure sur l'autre.

- **Le traitement de la statistique temporelle**

Nous avons donc choisi d'étudier une journée caractéristique pour observer ces phénomènes d'accumulation et décrire de manière plus réaliste la dispersion du polluant dans la vallée. La journée que nous avons retenue est le 18 juillet 2000. Cette journée est caractéristique d'une journée d'été : la nuit, le vent est nul ou très faible et en journée au fur et à mesure que l'air s'échauffe un vent thermique remontant la vallée s'établit. Ce vent est modéré et atteint 7m/s à 16h.

Le champ de vent est calculé par Minerve en utilisant les mesures météorologiques de la station de Ste Marie de Cuines (Figure 171). De 0h à 7h, les conditions sont stables de 8h à 20h les conditions sont modérément instables. Et de 21h à minuit les conditions sont stables.





Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

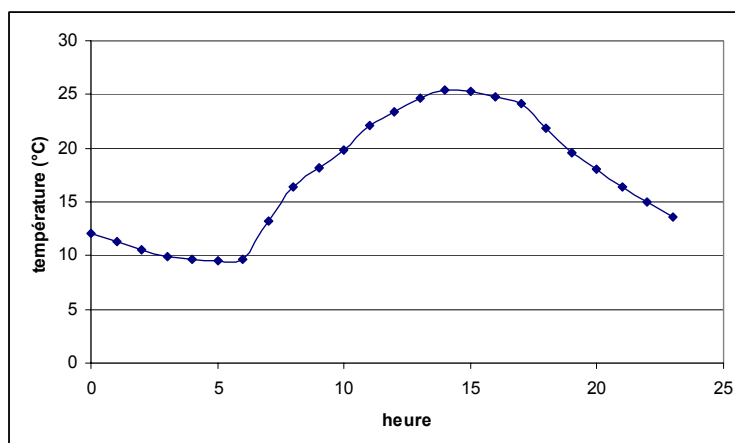


Figure 171 : évolution des paramètres météorologiques mesurés à Ste-Marie de Cuines pour la journée du 18 juillet 2000

- **Les grandeurs à calculer**

Nous avons calculé la concentration en polluant heure par heure ainsi que la concentration moyenne sur la journée.

**Présentation des résultats**

Pour observer l'évolution du panache au cours de la journée, on s'intéresse à l'isosurface 10microg/m<sup>3</sup> (Figure 172 à Figure 183). On note aussi la direction et la vitesse du vent mesuré à Ste-Marie de Cuines.

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

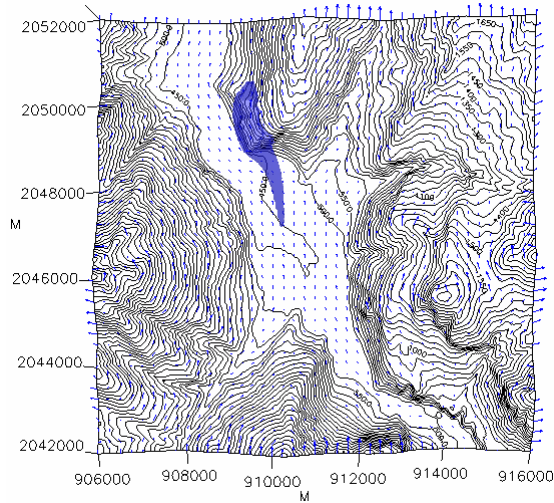


Figure 172 :18/07/2000 1h

↑ 1m/s

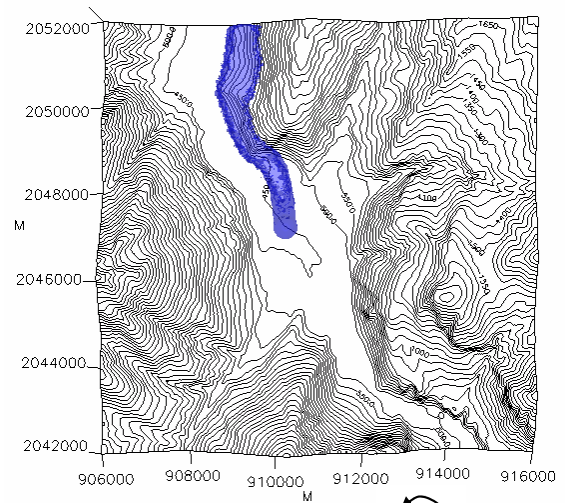


Figure 173 :18/07/2000 4h

↻

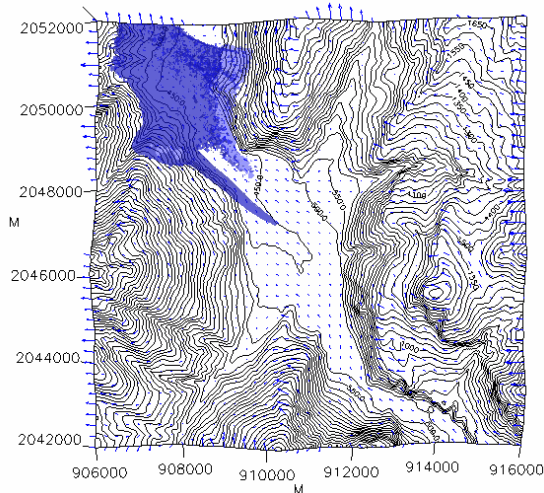


Figure 174 :18/07/2000 7h

↙ 1 m/s

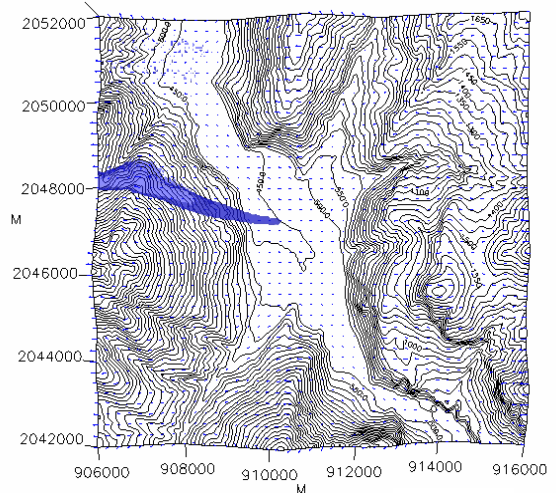


Figure 175 : 18/07/2000 8h

← 1 m/s

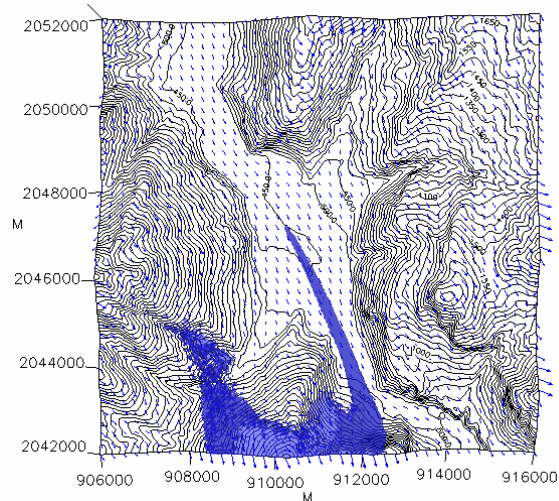


Figure 176 :18/07/2000 9h

↘ 2 m/s

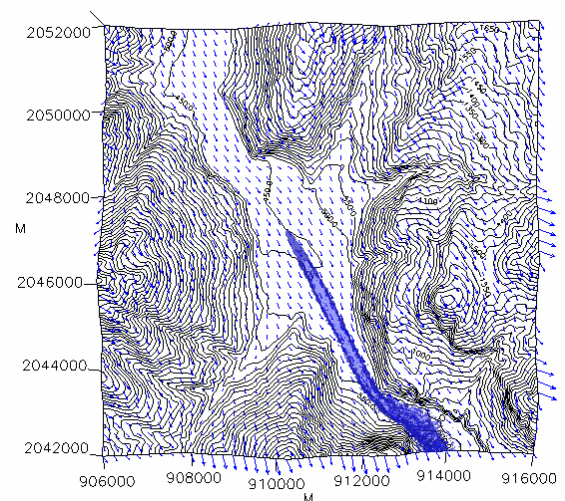


Figure 177 :18/07/2000 10h

↘ 4 m/s

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

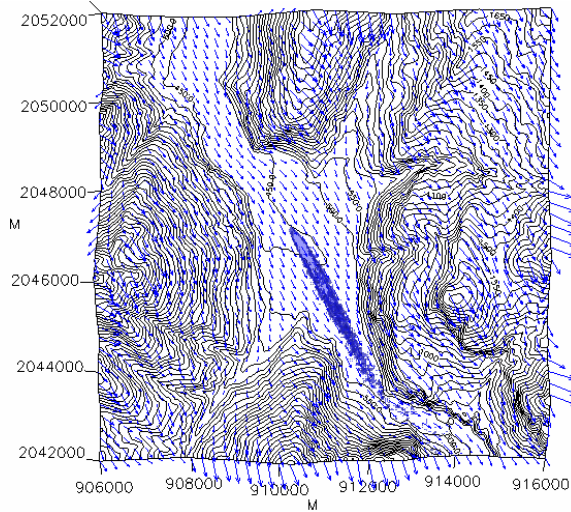


Figure 178 : 18/07/2000 13h 6 m/s

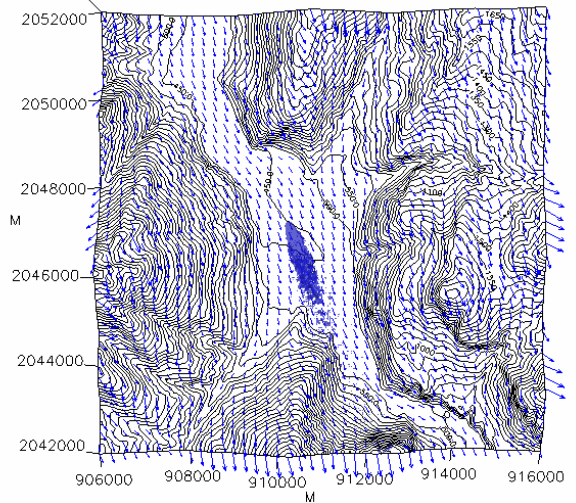


Figure 179 : 18/07/2000 15h 5 m/s

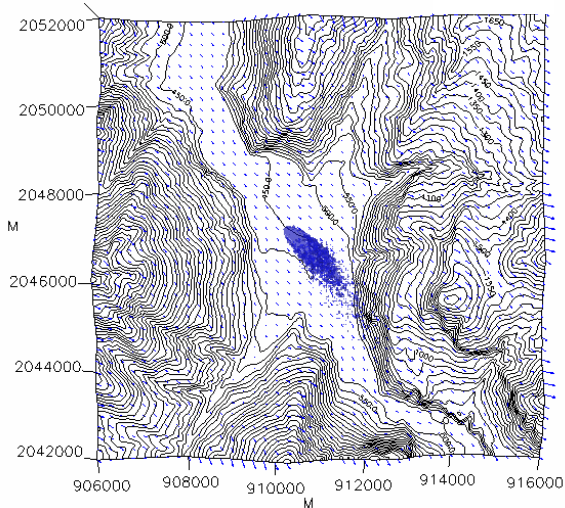


Figure 180 : 18/07/2000 18h 2 m/s

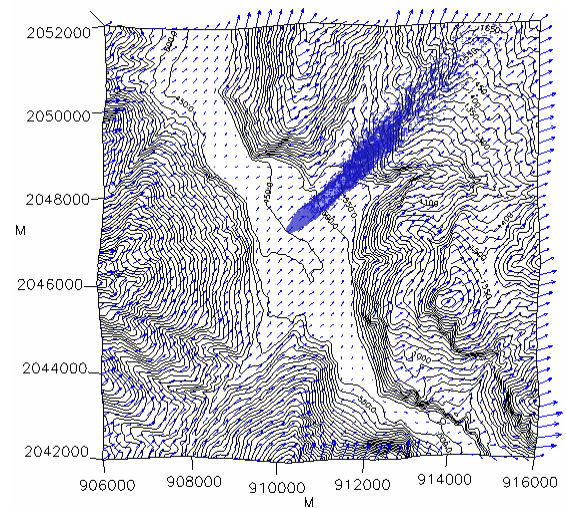


Figure 181 : 18/07/2000 20h 4 m/s

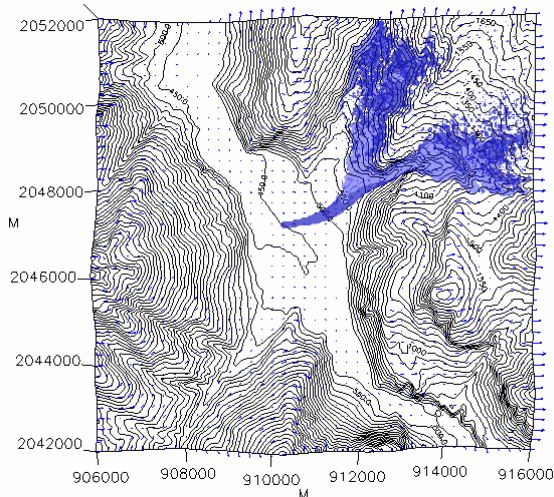


Figure 182 : 18/07/2000 21h 2 m/s

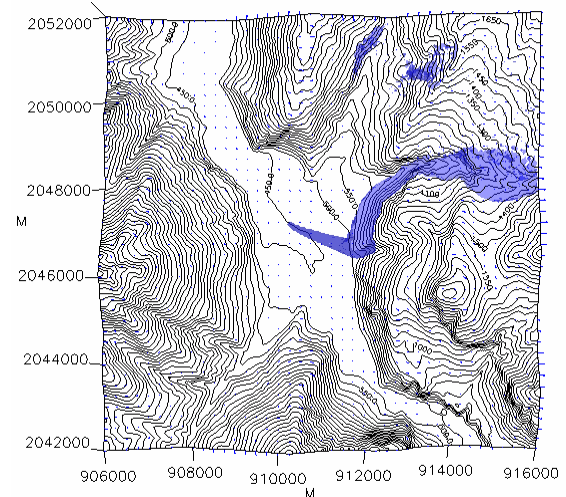
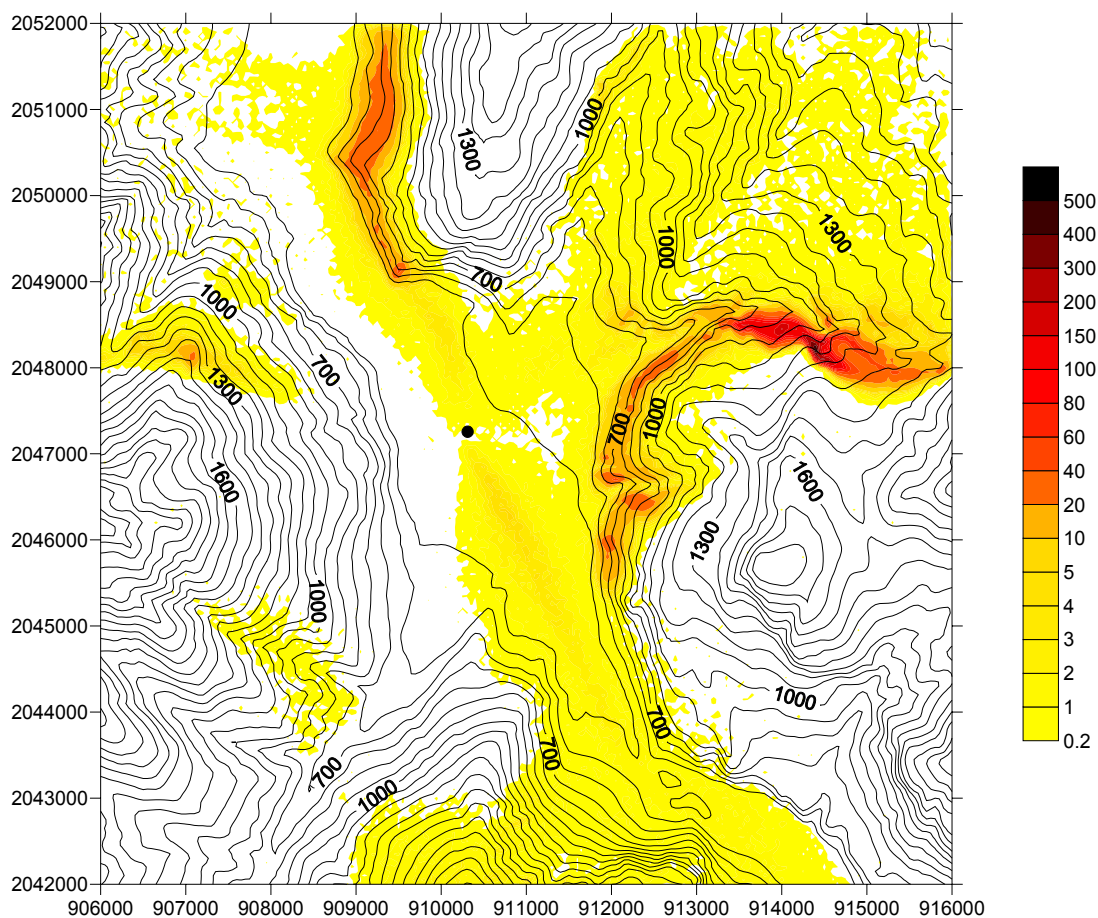


Figure 183 : 18/07/2000 22h 1 m/s

À 1h, le vent est du sud et de 1m/s, les conditions sont stables donc le panache contourne le relief. Ensuite, il n'y a pas de vent jusqu'à 7 h. le polluant s'accumule puis à 7 h le vent est orienté à l'est et de vitesse 1m/s et la pollution se disperse petit à petit. À 9h, le vent thermique se lève et s'oriente au nord-ouest dans l'axe de la vallée. Il forcé petit à petit. Pendant toute cette période, le vent relativement fort entraîne les polluants loin de la source. Le soir, le vent mollit et s'oriente au sud-ouest puis à l'ouest. Les polluants vont donc se concentrer dans les vallées très encaissées vers St Martin sur La chambre.



On remarque sur cette journée (Figure 184) que la concentration peut-être très élevée sur certaines zones du fait de l'accumulation des polluants les heures où le vent est très faible. La concentration en moyenne annuelle obtenue avec la méthode statistique ne permettait pas de mettre en évidence de telles situations. Il est possible que le modèle SPRAY surestime les concentrations dans les zones où le polluant s'accumule (par exemple dans la vallée à l'est de l'usine). Cette vallée est très encaissée et le modèle MINERVE calcule un vent nul dans cette zone. Les particules vont donc être piégées dans cette zone et les concentrations calculées sont très élevées.

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

L'utilisation des modèles MINERVE et SPRAY sur le cas réel de La Chambre est très intéressante car elle permet de calculer l'écoulement en fonction du relief et de suivre l'évolution du panache dans cet écoulement. Cependant, ne possédant qu'une mesure météorologique, la reconstitution diagnostique du champ de vent est assez aléatoire et nous n'avons aucun moyen de la valider. D'autre part, la vallée de La Chambre est soumise à des phénomènes de vent thermique que le modèle MINERVE n'est pas capable de représenter. Pour profiter pleinement des capacités des modèles MINERVE et SPRAY, il faudrait plusieurs points de mesures météorologiques au sol ainsi que des mesures des profils verticaux de vent et de température. Enfin, les temps de calcul du logiciel sont très longs :

- 30 minutes pour simuler une heure où le rejet est modélisé par 2000 particules émises toutes les 10 secondes.
- 10 heures pour simuler 24 heures où le rejet est modélisé par 1000 particules émises toutes les 10 secondes.

Il n'est donc pas envisageable de traiter un an de données de façon séquentielle.

#### **5.3.2.4. Application des logiciels MINERVE et HERMES au cas réel de l'usine de La Chambre**

Le modèle HERMES est un modèle eulérien. Les temps de calcul étant très longs, il ne permet pas de traiter 3 ans de données météorologiques de façon séquentielle, ni même de traiter une ou plusieurs roses des vents dans le temps qui nous était imparti. Nous avons donc choisi de traiter la journée type du 18 juillet 2000 et de comparer nos résultats à ceux de SPRAY.

- La description du site
  - Nous avons choisi un domaine d'étude intégrant le relief autour de l'usine. Les limites de la zone d'étude sont donc 906000 km et 916000 km dans la direction est-ouest et 2042000 km et 2052000 dans la direction nord-sud. La cheminée de l'usine est située au point de coordonnées 910250, 2047250. Le maillage choisi est un maillage régulier de 50 m de côté. Il y a donc 201\*201 mailles et 25 niveaux verticaux. La taille de maille que nous avons choisie est inférieure aux tailles recommandées pour l'utilisation d'HERMES, mais cette taille est nécessaire pour décrire l'écoulement en fonction du relief.
  - La rugosité du site est uniforme et égale à 0.5m, l'évolution de la température au sol est fonction de la hauteur du soleil
- La description de l'écoulement
  - Le modèle MINERVE effectue une interpolation des données météorologiques en fonction du relief puis le modèle ajuste le champ de vent pour répondre à la condition de conservation de la masse. En fonction de la stabilité, la modification de l'écoulement par le relief n'est pas la même. Pour renseigner le modèle sur la stabilité, on impose un coefficient alpha. Ce coefficient est égal à 1 dans les situations instables et neutres et il est égal à 0.05 dans les situations stables.
  - On renseigne le modèle MINERVE avec les données météorologiques mesurées à Ste Marie de Cuines. Le profil vertical du vent est un profil log pour une rugosité au sol de 0.5m. le profil de température est un profil linéaire, le gradient dépend de la stabilité.
  - Le modèle de couche limite utilisé pour le calcul de la turbulence est le modèle de Louis.
  - Le modèle HERMES permet de prendre en compte les vents calmes.

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

- La description du rejet
  - La source est modélisée comme une source ponctuelle de hauteur égale à la hauteur de la cheminée (47.5 m) et de diamètre égal à 1.51m.
  - Le modèle est renseigné sur la température et la vitesse du rejet afin d'effectuer un calcul de surhauteur par la méthode de Briggs itératif.
  - Le modèle tient compte du blocage des polluants par la couche limite
  - Il n'y a pas de calcul des dépôts au sol ni des réactions chimiques avec l'atmosphère.

#### **Le choix de la mise en œuvre du problème**

Indépendamment du choix du modèle et des options de modélisation, l'utilisateur doit déterminer une méthode pour traiter son problème.

- **Le traitement de la statistique temporelle**

Le modèle HERMES étant très coûteux en temps de calcul notamment sur un maillage ayant un pas de 50m (il faut 12h pour traiter une heure de météo), nous avons choisi d'étudier le cas réel uniquement sur la journée du 18 juillet 2000 caractéristique d'une journée d'été.

- **Les grandeurs à calculer**

L'utilisation d'un scénario ne permet pas de calculer les percentiles. Nous avons donc calculé uniquement la concentration moyenne au sol sur tout le domaine.

#### **Présentation des résultats**

Pour observer l'évolution du panache au cours de la journée, on s'intéresse à l'isosurface  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Figure 185 à Figure 196)

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

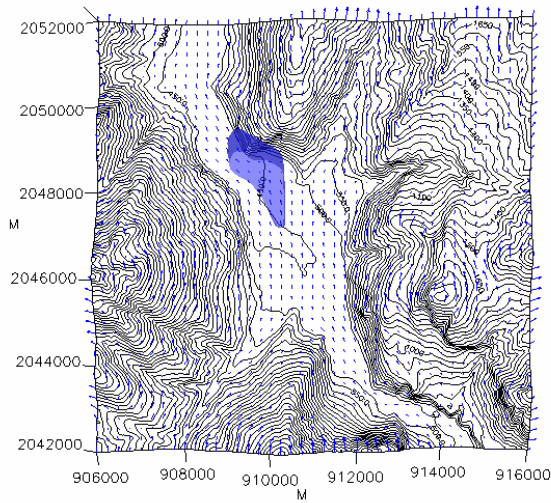


Figure 185 :18/07/2000 1h ↑ 1m/s

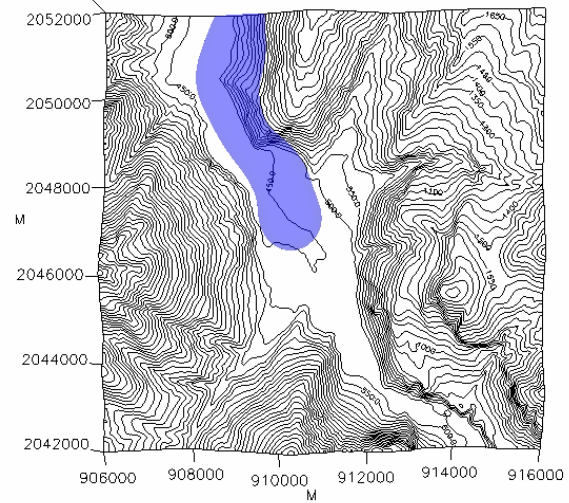


Figure 186 :18/07/2000 4h ↻

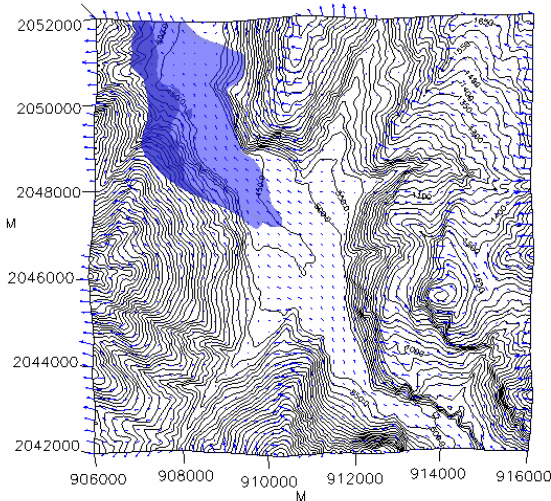


Figure 187 :18/07/2000 7h ↙ 1 m/s

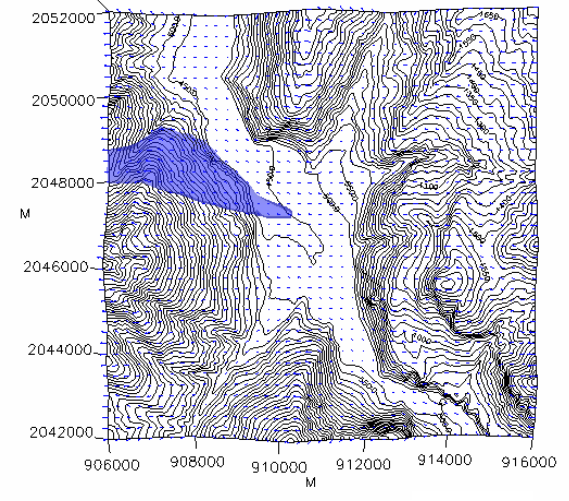


Figure 188 : 18/07/2000 8h ← 1 m/s

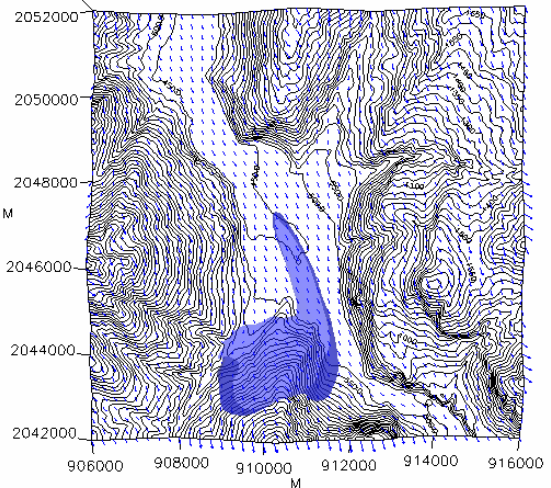


Figure 189 :18/07/2000 9h ↓ 2 m/s

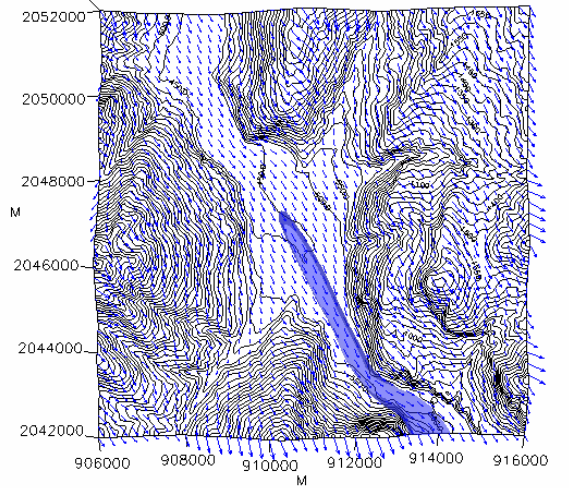


Figure 190 :18/07/2000 10h ↘ 4 m/s

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

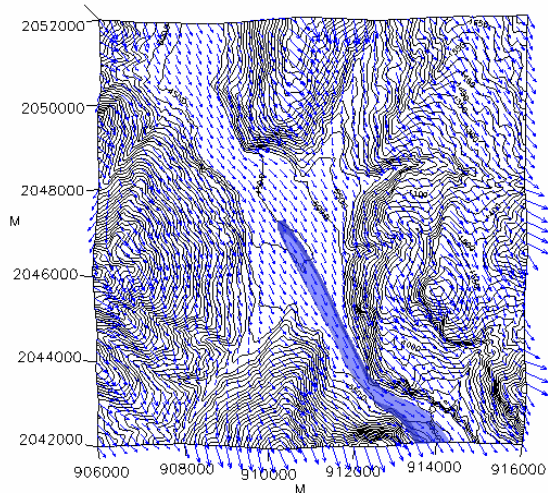


Figure 191 : 18/07/2000 13h 6 m/s

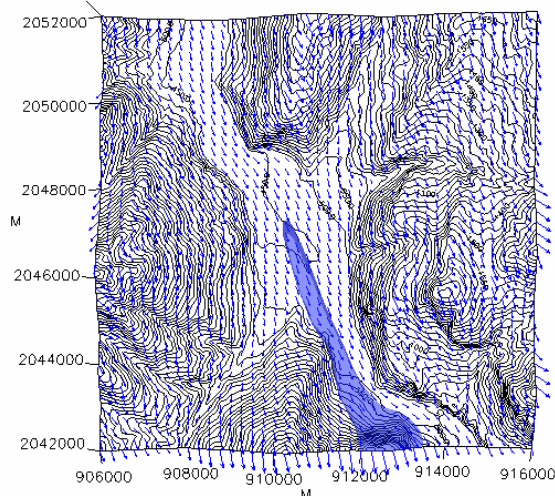


Figure 192 : 18/07/2000 15h 5 m/s

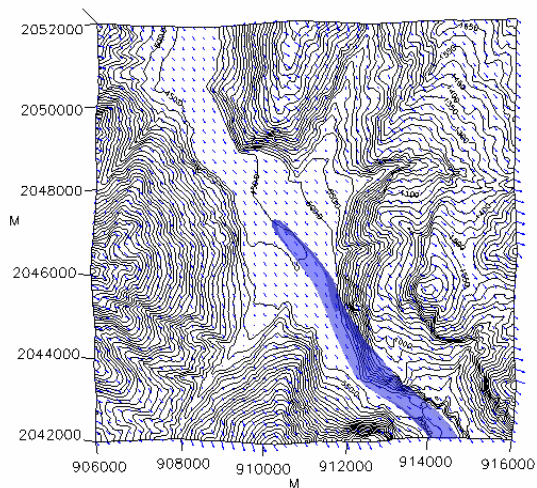


Figure 193 : 18/07/2000 18h 2 m/s

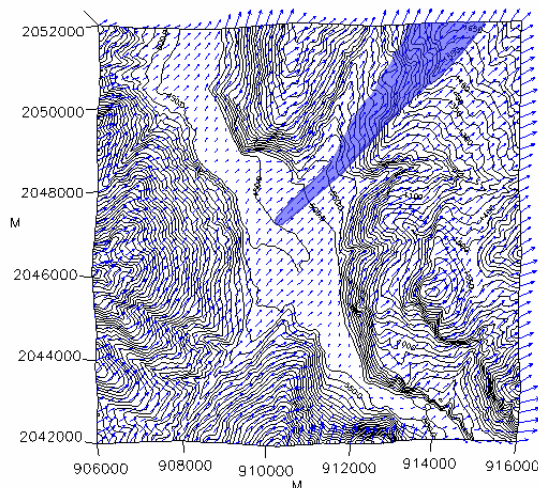


Figure 194 : 18/07/2000 20h 4 m/s

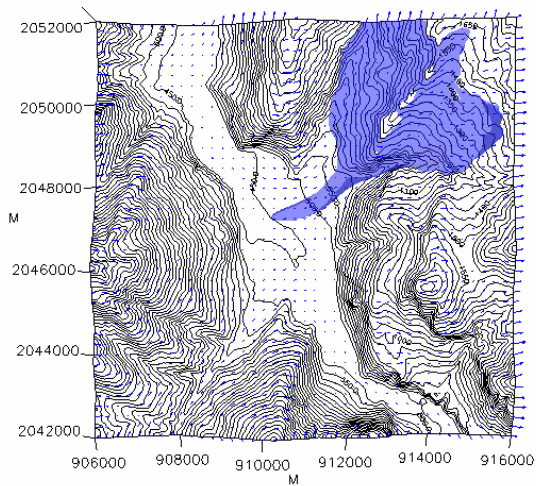


Figure 195 : 18/07/2000 21h 2 m/s

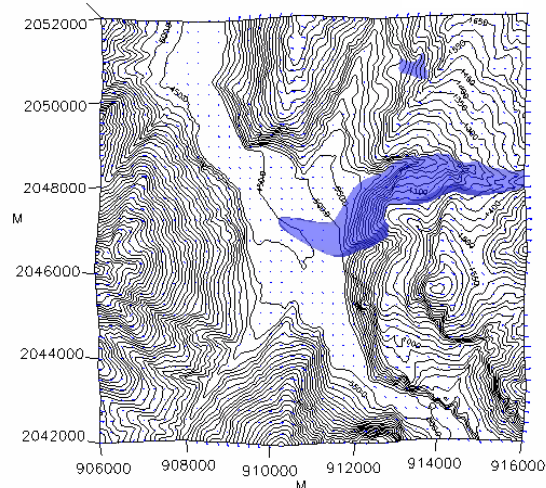


Figure 196 : 18/07/2000 22h 1 m/s



On remarque que tout au long de la journée, le panache calculé par HERMES se comporte légèrement différemment de celui calculé par SPRAY. En effet, il s'étale plus et il monte moins haut. Après discussions avec ARIA Technologies, nous nous sommes aperçus que la méthode de calcul de surhauteur implémentée dans HERMES sous-estime la surhauteur du panache dans ce cas là. La concentration au sol est donc plus forte proche de la source dans le calcul réalisé avec HERMES. Nous avons comparé sur une heure le résultat du modèle SPRAY et le résultat du modèle HERMES en imposant comme hauteur de cheminée la hauteur réelle de la cheminée plus la surhauteur calculée par SPRAY. Les deux modèles donnent des résultats très proches. On aurait donc pu améliorer les résultats du modèle HERMES en corrigeant pour chaque heure la hauteur de la cheminée.

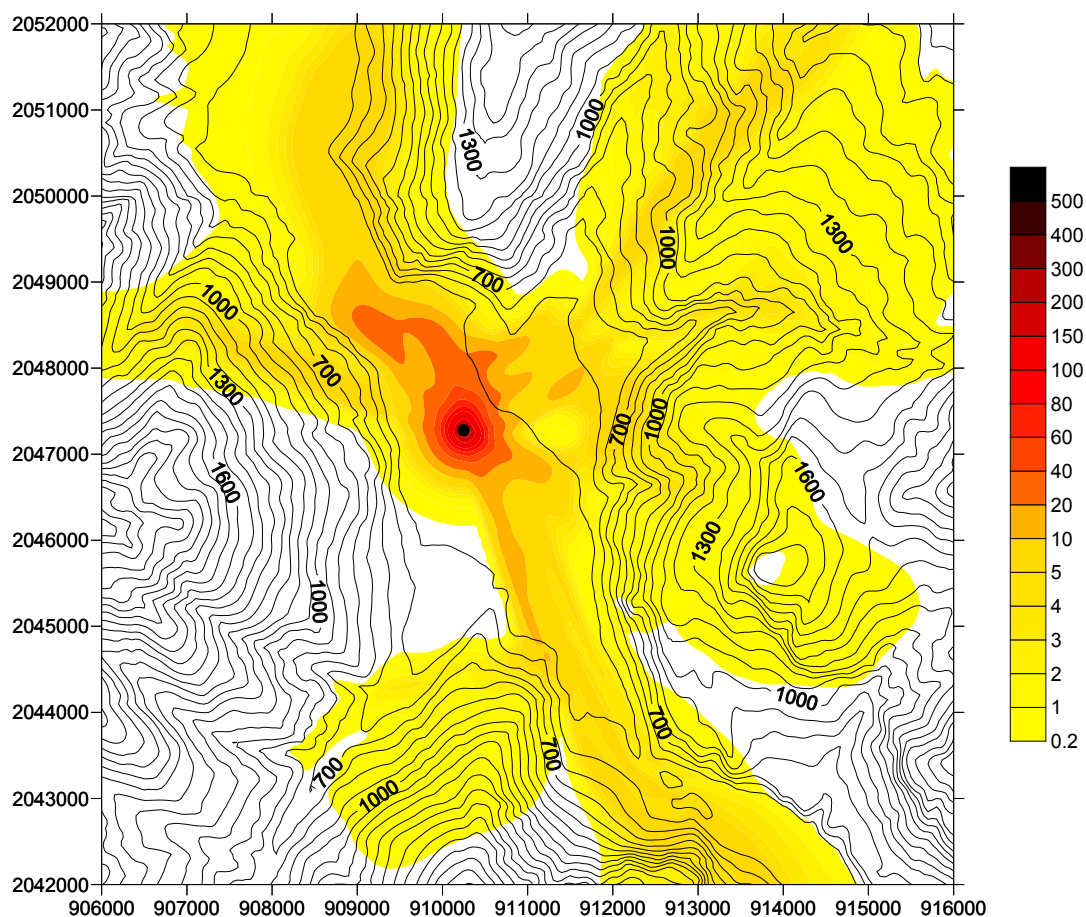


Figure 197 : concentration moyenne au sol ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) pour la journée du 18 juillet 2000

La concentration moyenne journalière (Figure 197) calculée par HERMES est assez élevée au voisinage de la source. Ceci est dû au fait que pour les heures de vent faible, la surhauteur étant plus faible que celle calculée dans SPRAY, le polluant s'accumule dans les mailles au voisinage du sol autour de la source. On obtient donc des niveaux de concentration élevés dans cette zone. D'autre part, on n'observe pas de zone d'accumulation de polluant dans la vallée à l'est de l'usine comme dans le résultat de calcul de SPRAY où les particules étaient piégées dans les zones où il n'y avait pas de vent.

### 5.3.3. CONCLUSION SUR L'ETUDE DU CAS REEL DE L'USINE DE LA CHAMBRE

Cette étude a permis de montrer que les résultats des 3 modèles utilisant des théories différentes sur un même cas réel sont très différents. Ne disposant pas de mesures de concentrations autour de l'usine, il n'est pas possible de dire si un modèle est meilleur qu'un autre. On peut cependant faire quelques remarques.

- Le champ de concentration moyen calculé par ADMS autour de l'usine paraît assez cohérent, mais l'impact de l'usine est certainement plus important sur les pentes des reliefs qui bordent la vallée où il apparaît des niveaux de concentration élevée avec les autres modèles. La méthode que nous avons adoptée ne permettait pas de voir ces impacts. L'activation de l'option relief d'ADMS pourrait permettre de calculer la concentration sur les reliefs, mais le champ de vent calculé alors par FLOWSTAR est incohérent et le champ de concentration est faussé.
- Les résultats obtenus avec SPRAY paraissent satisfaisants à condition que le champ de vent calculé par MINERVE soit correct. Or nous n'avons pas de moyen de vérifier la validité des résultats de MINERVE. Il faudrait pour cela d'autres mesures de terrain au sol et en altitude. Une autre alternative serait d'utiliser un modèle météorologique à méso-échelle comme MM5 ou RAMS pour calculer les champs météorologiques sur ce domaine. Concernant les deux méthodes de calcul que nous avons utilisées, l'approche statistique à l'aide d'une rose des vents nous permet de calculer l'impact moyen de l'usine dans la vallée alors que l'approche par une journée type nous permet de modéliser les effets d'accumulation de polluant d'une heure sur l'autre et de connaître l'impact de l'usine pour une situation particulière.
- Les résultats obtenus avec HERMES sont assez différents des résultats obtenus avec SPRAY bien que le champ de vent utilisé soit le même pour les deux modèles. Nous avons remarqué que la méthode de calcul de surhauteur implémentée dans HERMES et la gestion des heures de vent nul, conduisent à surestimer la concentration au voisinage de la source. En effet, dans le calcul du modèle SPRAY, le panache s'élève au dessus de la source et le polluant s'accumule au dessus de la cheminée ; ce qui est un résultat plus physique. D'autre part, les panaches calculés par HERMES s'étalent plus que ceux calculés par SPRAY. Enfin les temps de calcul d'HERMES sont beaucoup plus longs que les temps de calcul de SPRAY.

Actuellement, il n'existe pas d'approche parfaitement satisfaisante pour décrire l'écoulement et la dispersion dans un site avec un relief très accidenté. Il faut donc être très vigilant quant à l'interprétation des résultats des modèles dans ce genre de situation.

#### 5.4. RESUME SUR L'ETUDE DES CAS INDUSTRIELS

Afin de guider l'utilisateur dans l'utilisation des modèles de dispersion pour étudier l'impact d'un rejet industriel dans l'atmosphère, nous avons établi une méthodologie d'étude des cas réels sous forme d'une liste exhaustive de questions. Nous avons proposé trois axes de réflexions :

- Les phénomènes physiques qui influent sur la dispersion d'un polluant (la météorologie locale déterminée par l'occupation des sols et la topographie du site, la nature du polluant et les caractéristiques du rejet)
- Un inventaire des données disponibles pour décrire le site, le rejet et la météorologie
- Les différentes possibilités qui s'offrent à l'utilisateur en terme de choix de modèle, d'option de modélisation et de choix de scénarios de simulation

Pour illustrer cette méthodologie, nous avons étudié le cas réel d'une usine située dans le village de La Chambre dans la vallée de la Maurienne en Savoie. Cette vallée est soumise à des régimes de vents thermiques en raison de la présence de reliefs très élevés et elle est peu sensible aux effets météorologiques à grande échelle. D'autre part, la proportion de vents calmes dans la vallée est très importante. Pour étudier ce site, nous disposons d'une mesure de vent et de température dans la vallée et des résultats du modèle ALADIN de Météo France.

Nous avons étudié 4 démarches de modélisation :

- Un calcul séquentiel sur 3 ans réalisé avec le modèle gaussien ADMS avec les mesures météorologiques dans la vallée. Les concentrations moyennes au sol ont été calculées pour la zone plate autour de l'usine
- Un calcul statistique, à partir d'une rose des vents, réalisé avec le modèle lagrangien SPRAY couplé avec le préprocesseur météorologique MINERVE qui permet de calculer un champ de vent tridimensionnel en fonction du relief. Les concentrations moyennes au sol ont été calculées sur un domaine de 10 km par 10 km autour de l'usine et intégrant le relief.
- Un calcul de l'évolution heure par heure du panache de polluant pour une journée caractéristique d'une journée d'été réalisé avec le modèle lagrangien SPRAY couplé avec le préprocesseur météorologique MINERVE
- Un calcul de l'évolution heure par heure du panache de polluant pour une journée caractéristique d'une journée d'été réalisé avec le modèle eulérien HERMES couplé avec le préprocesseur météorologique MINERVE

Les 4 approches ont donné des résultats différents. Ne disposant pas de mesures de concentrations autour de l'usine, il n'est pas possible de dire si un modèle est meilleur qu'un autre. Les résultats du modèle ADMS semblent cohérents pour la partie plate autour de l'usine, mais la méthodologie mise en œuvre avec ce modèle ne permet pas de voir des niveaux de concentrations élevés qui apparaissent sur les reliefs autour de l'usine. Les résultats obtenus avec SPRAY montrent des niveaux de concentration élevés sur les reliefs autour de l'usine. Le premier scénario de modélisation avec la rose des vents permet d'estimer l'impact moyen de l'usine dans son environnement, alors que le scénario utilisant une journée type permet de modéliser des phénomènes d'accumulation de polluant pendant les heures où le vent est faible. Enfin, les résultats du modèle HERMES surestiment la concentration autour de l'usine à cause d'une mauvaise estimation de la surhauteur du panache au dessus de la source.

## 6. CONCLUSION

L'utilisation des logiciels de dispersion atmosphérique ADMS, ARIA IMPACT et ARIA INDUSTRY a permis d'analyser les différentes théories de modélisation de la dispersion et de comprendre les enjeux de chacune de ces théories. L'étude de ces différents modèles a aussi montré qu'une bonne connaissance théorique des écoulements dans la couche limite atmosphérique et de la dispersion était indispensable pour utiliser correctement les modèles de dispersion.

L'étude de sensibilité a permis de comprendre les mécanismes de la dispersion atmosphérique et d'évaluer l'impact sur le calcul de la concentration des variations des paramètres d'entrée, notamment les conditions de rejet, les paramètres météorologiques et les caractéristiques du site industriel. L'étude de sensibilité a aussi montré les limites des différentes hypothèses simplificatrices dans les scénarios de modélisation.

L'étude des cas tests a permis d'une part d'approfondir la connaissance des modèles de dispersion et d'évaluer les performances des modèles sur deux situations simples et représentatives des études d'impact. Les modèles que nous avons étudiés donnent des résultats satisfaisants en moyenne sur les deux cas tests, mais la comparaison point par point des résultats des modèles par rapport aux mesures est très aléatoire. Cette étude a aussi montré l'importance de l'expérience de l'utilisateur dans la mise en œuvre d'un modèle de dispersion.

En ce qui concerne l'étude des cas réels, le méthodologie que nous avons mise en place en s'appuyant sur l'étude de sensibilité doit permettre à l'utilisateur de s'interroger sur l'influence des différents paramètres qui entrent en jeu dans la modélisation d'un cas réel et d'évaluer l'impact sur le résultat des différentes simplifications utilisées. Pour illustrer cette étude, nous avons étudié en détail un site industriel réel situé dans une zone de relief marqué. Nous avons étudié 3 démarches de modélisation :

- L'utilisation d'un modèle gaussien simple avec une météorologie représentative du site
- L'utilisation d'un modèle lagrangien couplé avec un préprocesseur météorologique qui permet de calculer un champ de vent tridimensionnel
- L'utilisation d'un modèle eulérien couplé avec un préprocesseur météorologique qui permet de calculer un champ de vent tridimensionnel.

Les 3 modèles donnent des résultats très différents et ne disposant pas de mesures de concentration sur le site, il est impossible de dire quel modèle donne les meilleurs résultats. D'autant plus que la complexité du site ne permet pas de se faire une idée intuitive de l'impact de l'usine dans la vallée. Cette étude a cependant permis de montrer les avantages et les limites de chaque méthode de modélisation en fonction des données que nous avons à notre disposition.

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

## 7. ANNEXES

### 7.1. ANNEXE 1: PRESENTATION DES RESULTATS DU MODELE HERMES SUR LES CAS TEST DE PRAIRIE GRASS ET D'INDIANAPOLIS

Nous présentons en annexe les résultats du modèle eulérien HERMES sur les cas tests de Prairie Grass et d'Indianapolis. Ces cas tests sont en dehors du cadre d'application classique du modèle. Les résultats du modèle sont donc très différents des mesures. Ces résultats présentent un exemple des erreurs que l'on peut commettre en utilisant un modèle en dehors de son champ d'application. Un autre modèle eulérien plus adapté à l'échelle de ces cas tests aurait peut-être donné de très bons résultats, malheureusement, nous n'avons pas eu l'occasion de travailler avec un autre modèle.

#### 7.1.1. ELABORATION DES SCENARIOS POUR LE CAS TEST DE PRAIRIE GRASS AVEC LE MODELE HERMES ET PRESENTATION DES RESULTATS

Pour construire les fichiers de données météorologiques nécessaires au fonctionnement de HERMES, nous avons utilisé le modèle diagnostique MINERVE. Le relief du site de Prairie Grass étant plat, le modèle effectue uniquement une interpolation des mesures de vent et de température sur un maillage horizontal ayant un pas de 20m et un maillage vertical de 50 niveaux verticaux. Le sommet du domaine de calcul est de 500m et la hauteur du premier niveau vertical est de 5m. Le modèle MINERVE effectue un calcul de la hauteur de la couche limite avec la méthode METPRO évolutive. Ne possédant pas les données météorologiques des journées complètes de chaque expérience, nous avons construit les fichiers de chronologies météorologiques en imposant la valeur de la température et de la nébulosité de l'heure de l'expérience.

Le modèle de turbulence utilisé dans HERMES est le modèle d'O'Brien.

Les concentrations au sol sont stockées toutes les 5 minutes. Pour effectuer les calculs statistiques, nous avons utilisé les concentrations calculées au bout de 10 minutes, mais dans les situations où le vent est inférieur à 2 m/s, pour les récepteurs situés à 800m de la source, nous avons utilisé les concentrations calculées à 15 minutes. Les paramètres statistiques ont été calculés pour le maximum de concentration sur l'arc à partir des 68 expériences.(Tableau 38)

Model	Mean	Std	FB	FS	NMSE	R	FAC2
PG	2.19	3.86					
HERMES	0.25	0.19	1.59	1.82	17.13	0.68	0.21

Tableau 38 : paramètres statistiques pour le modèle HERMES

Les résultats obtenus avec le modèle HERMES sont très en dessous des mesures. La moyenne des concentrations modélisées est de 0.25 alors que la moyenne des concentrations mesurées est de 2.19. D'autre part, l'écart-type sur les concentrations modélisées est faible : 0.19. Quelque soit les conditions de l'expérience, la concentration maximale ne dépasse jamais 1 et les écarts entre les situations stables et les situations instables sont faibles.

- **Analyse des résultats**

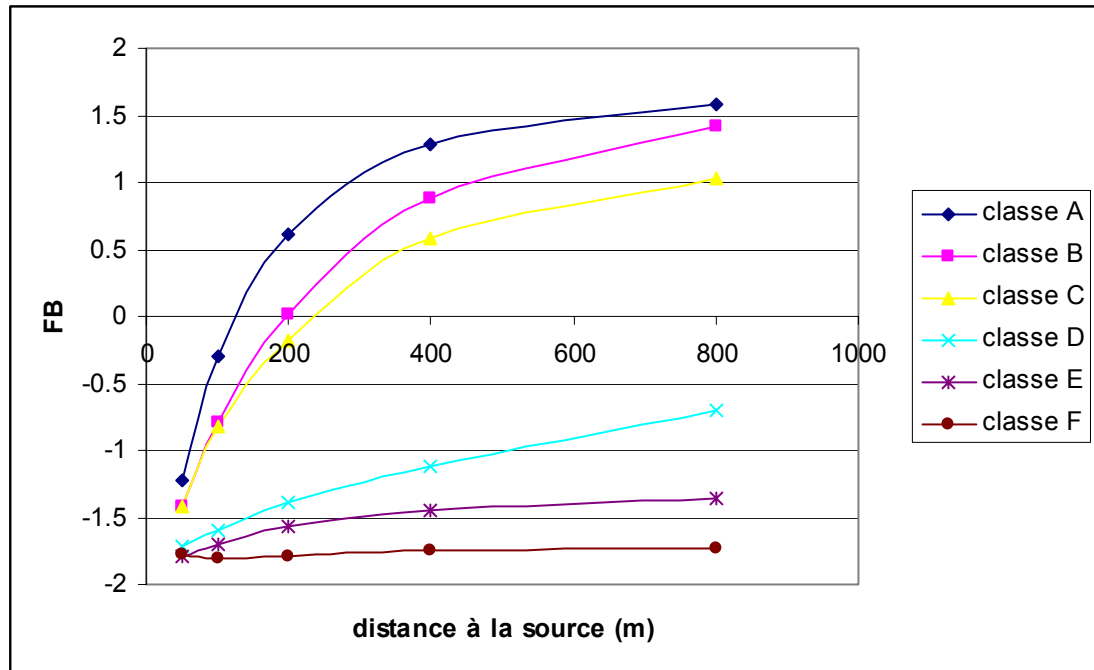


Figure 198 : évolution du biais fractionnel en fonction de la distance à la source et de la classe de stabilité

On remarque sur la Figure 198 que dans les situations stables et neutres, le modèle HERMES sous-estime les concentrations pour tous les récepteurs. Dans les situations instables, le modèle sous-estime les concentrations au voisinage de la source (moins de 200m) et les surestime quand on s'éloigne de la source.

- **Conclusion**

Le modèle HERMES sous-estime très largement les concentrations sauf dans les situations instables loin de la source. Nous avons essayé d'améliorer les résultats en calculant un profil de vent pour Minerve correspondant à la classe de stabilité de l'expérience afin d'améliorer le calcul de turbulence, mais les résultats ont été très peu modifiés. Dans le modèle, la diffusivité horizontale ne dépend pas des conditions de stabilité, mais uniquement des caractéristiques du maillage et de la topographie. On parle de diffusivité numérique. Il est fort possible que cette modélisation ne soit pas adaptée au problème de Prairie Grass où les récepteurs sont très proches de la source. D'autre part, l'utilisation d'un maillage ayant un pas de 20m dépasse largement le cadre d'utilisation du modèle.

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

### 7.1.2. ELABORATION DES SCENARIOS POUR LE CAS TEST D'INDIANAPOLIS AVEC LE MODELE HERMES ET ANALYSE DES RESULTAS

Pour construire les fichiers de données météorologiques nécessaires au fonctionnement de HERMES, nous avons utilisé le modèle diagnostique MINERVE. Le relief du site d'Indianapolis étant plat, le modèle effectue uniquement une interpolation des mesures de vent et de température sur un maillage tridimensionnel. Pour diminuer les temps de calculs, nous avons choisi 2 maillages horizontaux en fonction de la position des récepteurs. Le premier maillage ayant un pas de 100m sur l'horizontal et un maillage vertical de 50 niveaux verticaux, le deuxième maillage ayant un pas de 200m sur l'horizontal et un maillage vertical de 50 niveaux. Le sommet du domaine de calcul est de 600m et la hauteur du premier niveau au dessus du sol est de 10m. La longueur de rugosité est de 1m.

Le modèle de couche limite utilisé dans HERMES est le modèle de Louis. La hauteur de la couche limite est renseignée par l'utilisateur à partir des données présentes dans la base de données du cas test.

Le rejet de SF6 étant chaud et dynamique, le modèle calcule les surhauteurs par la méthode de Briggs.

Les concentrations au sol sont stockées toutes les 25 minutes. Pour effectuer les calculs statistiques, nous avons utilisé les concentrations calculées au bout de 50 minutes.

Les calculs statistiques ont été réalisés sur les maximums de concentration sur les arcs pour les résultats de toutes les expériences de qualité 2 et 3.

Model	Mean	Std	FB	FS	NMSE	R	FAC2
INDI	257.78	221.58					
HERMES	1414.91	8927.18	-1.38	-1.90	181.04	0.04	0.11

Tableau 39 : paramètres statistiques obtenus avec le modèle HERMES

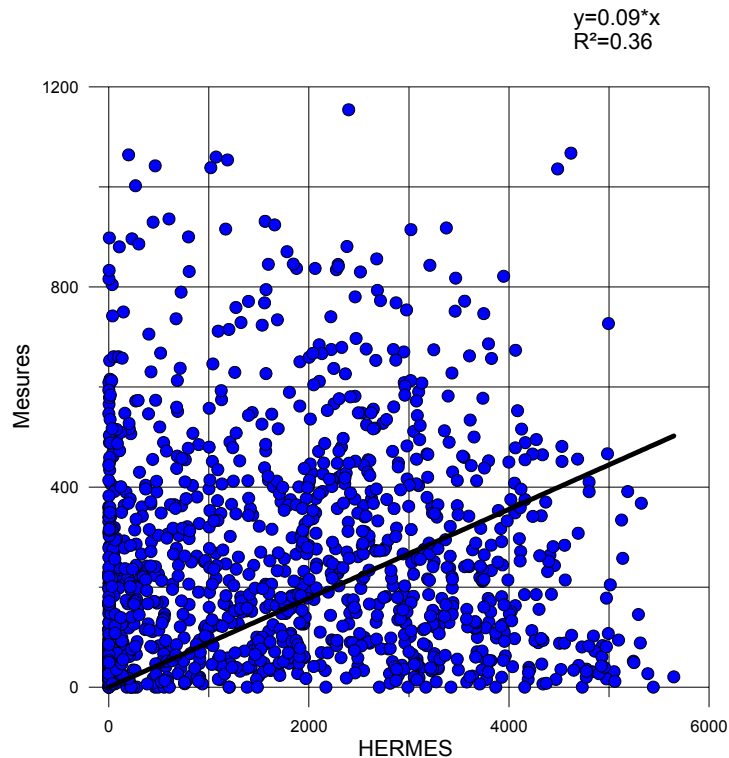


Figure 199 : comparaison des mesures et des résultats du modèle HERMES pour les concentrations maximales sur l'arc (attention, l'échelle des mesures est différente de l'échelle du modèle)

On remarque que le modèle HERMES surestime fortement les concentrations. Le nuage de point est très dispersé et la proportion de résultat dans un facteur 2 par rapport aux mesures n'est que de 10%.

Dans le modèle HERMES, les coefficients de diffusivité turbulente sont calculés à partir des données de vent et de température uniquement. Or nous ne possédons que 2 mesures pour chacune de ces variables, ce qui est très peu pour décrire les profils verticaux. Il est fort possible que les grands écarts entre les résultats du modèle et les mesures soient liés au manque d'information sur la météorologie.

## 7.2. ANNEXE 2 : PRESENTATION DES DIFFERENTES FORMULES DE CALCUL DE SURHAUTEUR

Ce chapitre décrit les différentes formules de calcul de sur hauteur que l'on trouve fréquemment dans les différents modèles de dispersion.

On utilisera les variables suivantes :

$C_p$	Chaleur spécifique de l'air à pression constante	J/kg/K
D	Diamètre interne de la cheminée	m
$F_b$	Le flux de flottabilité	$m^4/s^3$
$F_m$	le flux de quantité de mouvement	$m^4/s^2$
g	Accélération de pesanteur	$m/s^2$



Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

Q	Puissance à l'émission	W
$\rho_a$	Densité de l'air	Kg/m <sup>3</sup>
$\rho_p$	Densité du gaz émis	Kg/m <sup>3</sup>
s	Mesure de la stabilité	1/s <sup>2</sup>
$\theta(z)$	Température potentielle	K
T <sub>a</sub>	Température de l'air	K
T <sub>p</sub>	Température du rejet	K
U	Vitesse du vent	m/s
V <sub>p</sub>	Vitesse du rejet	m/s
x	Distance à la source	m
DH	Surhauteur finale	m
D	Débit calorifique	C/s

### 7.2.1. FORMULE DE CONCAWE

Cette méthode est utilisée pour des vents supérieurs à 1m/s. Elle a été développée pour des rejets dont le flux thermique est important (centrale thermique). Cette méthode ne tient pas compte de la stabilité atmosphérique.

- Calcul du débit calorifique en calories par seconde :

$$D = 226.19 * V_p d \pi (T_p - T_a) * 0.25$$

- Calcul de la surhauteur

$$DH = 0.175 * \frac{\sqrt{D}}{U^{0.75}}$$

### 7.2.2. FORMULE DE BRIGGS

Cette formule permet de distinguer un jet d'un panache chaud. Le calcul de la surhauteur dépend de la stabilité atmosphérique, mais aussi de la distance à la source.

Le calcul de la surhauteur dépend de deux paramètres définissant le rejet :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Le flux de quantité de mouvement : } F_m = \frac{T_a}{T_p} v_p^2 r_p^2 \\ \text{Le flux de flottabilité : } F_b = g w_p r_p^2 \frac{(T_p - T_a)}{T_p} \end{array} \right. \quad (51)$$

où T<sub>a</sub> et T<sub>p</sub> sont les températures de l'air et du rejet, w<sub>p</sub> la vitesse verticale du rejet et r<sub>p</sub> le rayon de la cheminée. A partir de ces paramètres, le calcul de la surhauteur DH à la distance x du rejet dépend de l'état de stabilité de l'atmosphère

**Atmosphère neutre et instable ( $L_{MO} < 0$ )**

$$DH = \min(DH(x); DH_{\infty}; DH_{\max})$$

$$\text{avec } \begin{cases} DH(x) = \left( 3 \frac{F_m x}{\left(0,4 + \frac{1,2}{w_0/U}\right)^2 U^2} + 4,17 \frac{F_b x^2}{U^3} \right)^{1/3} \\ DH_{\infty} = 3 \left(\frac{F_b}{U}\right)^{3/5} H_s^{-2/5} + 1,3 \left(\frac{0,4 + 1,2}{w_0/U}\right)^{-6/7} \left(\frac{F_m}{U}\right)^{3/7} H_s^{-1/7} \\ \text{où } H_s = \frac{g}{\rho C_p T_0} H_0 \text{ et } U = \frac{u(H_s + 0,5\Delta H) + u(H_s)}{2} \\ DH_{\max} = 0,62(h - H_s) \end{cases}$$

où  $H_s$  représente la hauteur de la cheminée. Comme la vitesse  $U$  dépend de  $DH$ , le calcul de la surhauteur doit être effectué de façon itérative.

**Atmosphère stable ( $L_{MO} > 0$ )**

$$DH = \min(DH(x); DH_{\infty}; DH_{\max1}; DH_{\max2})$$

$$\text{avec } \begin{cases} DH(x) = 2,66 \left[ \frac{F_b}{N^2 U_p} \right]^{1/3} \left[ 0,7 N \frac{F_m}{F_b} \sin\left(0,7 \frac{Nx}{U_p}\right) + 1 - \cos\left(0,7 \frac{Nx}{U_p}\right) \right]^{1/3} \\ DH_{\infty} = 2,66 \left[ \frac{F_b}{N^2 U_p} \right]^{1/3} \\ DH_{\max1} = 1,2 L_n^{3/5} (H_s + 1,2 L_n)^{2/5} \text{ avec } L_n = \frac{F_b}{U_p u_s} \\ DH_{\max2} = 4 \frac{F_b^{1/3}}{N^{3/4}} \end{cases}$$

Où  $N$  est la fréquence de Brunt-Vaisala. Dans ce cas, le calcul doit également être effectué de façon itérative.

**7.2.3. FORMULE DE ANFOSSI**

Cette formule est inspirée de la formule de Briggs.

- Paramètre de flottabilité à l'émission

$$F_b = \frac{gQ}{\pi \rho_a C_p T_a} \approx \frac{g(T_p - T_a)V_p}{T_p}$$

- Mesure de la stabilité de l'atmosphère

$$s = \frac{g}{T_p} \frac{\partial \theta}{\partial z}$$

- Formule de surhauteur

$$DH = 2.6 \frac{F_b^{1/3} x^{2/3}}{U} \left( \frac{x^2 s}{V^2} - 4.3 \right)^{-1/3}$$

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

#### 7.2.4. FORMULE DE HOLLAND

Cette formule ne tient pas compte de la stabilité atmosphérique, elle s'applique à des petites cheminées de flux thermiques modestes.

$$DH = 1.5 \frac{dV_p}{U} + 2.7 \frac{V_p d^2 (T_p - T_a)}{UT_p}$$

#### 7.2.5. FORMULE DE STUMKE

Cette formule n'est valable que pour des vents supérieurs à 1m/s. Elle ne tient pas compte de la stabilité atmosphérique. Elle s'applique de préférence à des petites cheminées de flux thermique modeste.

$$DH = 1.5d \frac{V_p}{U} + \frac{\Omega}{U} \text{ avec}$$

$$\Omega = 118d^{1.5} \left(1 + \frac{T_p + T_a}{T_p}\right)$$

#### 7.2.6. FORMULE DE CUDE

Cette méthode est valable pour des vents supérieurs à 2m/s. Elle ne tient pas compte de la stabilité atmosphérique.

- Surélévation maximale du panache par des effets de jet

$$DH_{\max} = \frac{V_p d}{0.32U} \frac{\rho_g}{\rho_a} \text{ où } \rho_g \text{ est la masse volumique du gaz à la température du rejet et } \rho_a \text{ la}$$

masse volumique de l'air. On considère que cette surélévation maximale du panache est atteinte à une distance de  $DH_{\max}/2$  de la source.

Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel - Vers un guide de l'utilisateur - 2<sup>ème</sup> partie : Evaluation des modèles .

## 8. REFERENCES

### 8.1. SCIENTIFIQUES

A. Albergel, 2004, A. Fresneau, J Moussafir, Operational on-line modelling tool: evaluation of the three most common techniques (Gaussian puff, Eulerian and Lagrangian). Application on Fos-Berre data

American Society for Testing and Materials, 2000. Standard Guide for Statistical Evaluation of Atmospheric Dispersion Model Performance (D 6589), (Available at <http://www.astm.org>), 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428, 17 pages.

Briggs G.A, 1973, Diffusion estimation for small emission, ATDL 79 Oak Ridge Tennessee USA.

Briggs G.A, Plume rise prediction, in : Lecture on air pollution and environmental impact analyses, Workshop Proceedings, Boston.

Barad, M.L. (Editor), 1958. Project Prairie Grass, A Field Program In Diffusion, Geophysical Research Paper, No. 59, Vol I and II, Report AFCRC-TR-58-235, Air Force Cambridge Research Center, 439 pp.

D.J. Carruthers, J.C.R. Hunt and W. Weng, 1988: Computational model of airflow over hills. FLOWSTAR I. Proc. Of Envirosoft. Computer Techniques in Environmental Studies, P. Zanetti, Ed., Springer Verlag.

A. DOURY Une méthode de calcul pratique et générale pour la prévision numérique des pollutions véhiculées par l'atmosphère, Rapport CEA R4280 (Rév. 1), 1976.

Hanna, S.R. and J.C. Chang, 1991: Modification of HPDM for Urban Conditions and Its Evaluation using the Indianapolis Data Set. Final Report Prepared for EPRI by EARTH TECH, 196 Baker Ave., Concord, MA 10742.

Haugen, D.A. (Editor), 1959. Project Prairie Grass, A Field Program In Diffusion, Geophysical Research Papers, No. 59, Vol. III, AFCRC-TR-58-235, Air Force Cambridge Research Center, 673 pp.

Hunt,C.R., S Leibovich and K.J. Richards, 1988: Turbulent shear flow over hills. Quart. J. Roy. Meteo. Soc., 114, 1435 to 1470.

McHugh, C.A., Carruthers, D.J., Higson, H. and S.J. Dyster 1999. Comparison of model evaluation methodologies with application to ADMS 3 and US models, 6th international conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes, Rouen, France, October 11-14, 1999.

Olesen, H.R. 1995. 'Data Sets and Protocol for Model Validation'. Workshop on Operational Short-range Atmospheric Dispersion Models for Environmental Impact Assessment in Europe, Mol, Belgium, Nov. 1994, Int. J. Environment and Pollution, Vol. 5, Nos. 4-6, 693-701.

Olesen, H.R. 1995. 'The model validation exercise at Mol : overview of results'. Workshop on Operational Short-range Atmospheric Dispersion Models for Environmental Impact Assessment in Europe, Mol, Belgium, Nov. 1994, Int. J. Environment and Pollution, Vol. 5, Nos. 4-6, 761-784.

Pasquill F, 1974, Atmospheric diffusion, 2nd ed. John Wiley and Sons, New York NY.

### 8.2. ADRESSES URL

ASTM <http://www.astm.org>

Site FTP Irwin <ftp://ftp.epa.gov/amd/asmd/irwin/>