

Création d'un support de communication : l'équivalent habitant/déchets





ETUDE N° 94-0711/1A

**CREATION D'UN SUPPORT DE COMMUNICATION :
"L'EQUIVALENT HABITANT/DECHET"**

RAPPORT FINAL

novembre 1995

A. NAVARRO, Ph. REVIN - LCPAE - INSA 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, Création d'un support de communication : "l'équivalent habitant/déchet", 1995, 195 p, n°94-0711/1A.
- ✓ Ces travaux ont reçu le soutien de l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie)
www.ademe.fr

© RECORD, 1995

Etude RECORD n°94-0711/1A

SOMMAIRE

ABRÉVIATIONS.....	I
GLOSSAIRE.....	II

INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	1
-----------------------------------	----------

PREMIÈRE PARTIE: LIMITES DE L'ÉTUDE, ANALYSE DES DONNÉES ET HYPOTHÈSES DE TRAVAIL.....	2
---	----------

CHAPITRE 1. LIMITES DE L'ÉTUDE.....	3
-------------------------------------	---

1.1. Systèmes étudiés.....	3
1.2. Choix d'une unité commune.....	5
1.3. Les polluants considérés.....	5
1.4. Les pollutions considérées.....	5

CHAPITRE 2. ANALYSE DES DONNÉES ET HYPOTHÈSES DE TRAVAIL..	6
--	---

2.1. Disponibilité des données.....	6
2.2. Compatibilité des données.....	6
2.3. Incertitudes et hypothèses.....	6

SECONDE PARTIE: LES TROIS AXES D'APPROCHE.....	8
---	----------

CHAPITRE 1. LES POLLUANTS.....	10
--------------------------------	----

1.1 L'acide chlorhydrique -HCl-.....	11
1.2 Le cadmium - Cd -.....	12
1.3 Les chlorodioxines/chlorofurannes - PCDD/F -.....	14
1.4 Les chlorofluorocarbures - CFC -.....	16
1.5 Les composés organiques volatils non méthaniques- COVNM -.....	18
1.6 Le dioxyde de carbone - CO ₂ -.....	20
1.7 Le dioxyde de soufre - SO ₂ -.....	22
1.8 Les métaux lourds.....	24
1.9 Le méthane - CH ₄ -.....	26
1.10 Le monoxyde de carbone - CO -.....	28
1.11 Les oxydes d'azote - NO _x -.....	30
1.12 L'ozone - O ₃ -.....	32
1.13 Les peroxy acetyl nitrates - PAN -.....	35
1.14 Le plomb - Pb -.....	36
1.15 Les poussières.....	38
1.16 Le protoxyde d'azote - N ₂ O -.....	40

CHAPITRE 2. LES POLLUTIONS ÉTUDIÉES 42

2.1 Règles d'affectation des polluants aux pollutions 43

2.1.1 L'effet de serre 43
2.1.2 L'appauvrissement de la couche d'ozone stratosphérique 45
2.1.3 La pollution photochimique..... 45
2.1.4 La pollution acide 47
2.1.5 L'eutrophisation..... 49
2.1.6 La pollution toxique de l'air 50
2.1.7 La pollution toxique de l'eau 51

2.2 Pollutions planétaires..... 53

2.2.1 L'effet de serre..... 54
2.2.1.1. Présentation 54
2.2.1.2. Mécanisme..... 54
2.2.1.3. Gaz concernés..... 56
2.2.1.4. Contribution de chaque secteur au niveau national 58
2.2.1.5 Ce qu'il faut retenir..... 59
2.2.2 L'appauvrissement de la couche d'ozone..... 60
2.2.2.1. Présentation 60
2.2.2.2. Mécanismes 61
2.2.2.3. Les polluants concernés..... 62
2.2.2.4. Contribution de chaque secteur au niveau national 64
2.2.2.5. Ce qu'il faut retenir 65

2.3 Pollutions régionales 66

2.3.1 La pollution photochimique..... 67
2.3.1.1. Présentation 67
2.3.1.2. Mécanisme..... 68
2.3.1.3. Les polluants concernés..... 70
2.3.1.4. Contribution de chaque secteur au niveau national 71
2.3.1.5. Ce qu'il faut retenir 72
2.3.2 La pollution acide 73
2.3.2.1. Présentation 73
2.3.2.2. Mécanismes 74
2.3.2.3. Les polluants concernés..... 75
2.3.2.4. Contribution de chaque secteur au niveau national 76
2.3.2.5. Ce qu'il faut retenir..... 77

2.4 Pollutions locales 78

2.4.1 Eutrophisation des eaux..... 79
2.4.1.1. Présentation 79
2.4.1.2. Mécanisme..... 80
2.4.1.3. Polluants concernés 81
2.4.1.4. Contribution de chaque secteur au niveau national 83
2.4.1.5. Ce qu'il faut retenir..... 84

2.4.2 La pollution toxique de l'air	85
2.4.2.1. Présentation	85
2.4.2.2. Mécanismes et effets	86
2.4.2.3. Les polluants concernés.....	88
2.4.2.4. Contribution de chaque secteur au niveau national	91
2.4.2.5. Ce qu'il faut retenir.....	92
2.4.3 La pollution toxique de l'eau	93
2.4.3.1. Présentation	93
2.4.3.2. "Mécanismes"	93
2.4.3.3. Polluants concernés	94
2.4.3.4. Contribution de chaque secteur au niveau national	98
2.4.3.5. Ce qu'il faut retenir.....	99
CHAPITRE 3. LES SECTEURS	100
3.1 Le transport	101
3.1.1 Polluants associés au transport.....	101
3.1.1.1. Utilisation des carburants.....	101
3.1.1.2. Climatisation des véhicules.....	103
3.1.1.3. Transport des déchets.....	103
3.1.1.4. Les déchets.....	103
3.1.2 Données chiffrées: bilan du secteur transport.....	105
3.1.2.1. Polluants émis par le secteur transport	105
3.1.2.2. Participation des transports aux pollutions	106
3.1.3 Ce qu'il faut retenir	107
3.2 Le secteur résidentiel-tertiaire	108
3.2.1 Polluants associés au résidentiel-tertiaire.....	108
3.2.1.1. La consommation d'énergie	108
3.2.1.2. L'usage de produits dans l'habitat.....	110
3.2.1.3. Les eaux usées domestiques et tertiaires	111
3.2.2 Données chiffrées: bilan du secteur résidentiel-tertiaire	113
3.2.2.1. Polluants émis par le secteur résidentiel-tertiaire	113
3.2.2.2 Participation du secteur résidentiel-tertiaire aux pollutions	115
3.2.3 Ce qu'il faut retenir.....	117
3.3 Le traitement des déchets - généralités -	118
3.3.1 Les déchets ménagers	118
3.3.2 Les déchets industriels	118
3.3.3 Les déchets agricoles	119
3.4 Traitement des déchets ménagers	120
3.4.2 Le stockage des déchets ménagers et assimilés	125
3.4.3 Données chiffrées: bilan du traitement des déchets ménagés et assimilés	128

3.5 Traitement des déchets industriels spéciaux	130
3.5.1 Incinération des déchets industriels spéciaux.....	130
3.5.2 Traitements physico-chimiques	132
3.5.3 Le stockage en centre d'enfouissement technique.....	133
3.6 Bilan du secteur traitement des déchets	136
3.6.1 Polluants émis par le secteur traitement des déchets	136
3.6.2 Participation du traitement des déchets aux pollutions.....	139
3.6.3 Ce qu'il faut retenir	141
TROISIÈME PARTIE: L'ÉQUIVALENT-HABITANT / DÉCHETS	142
CHAPITRE 1. INTRODUCTION.....	143
1.1 Concept.....	143
1.2 Objectifs de notre travail.....	143
CHAPITRE 2. REVUE BIBLIOGRAPHIQUE.....	144
2.1 L'équivalent-habitant pour l'eau.....	144
2.2 L'équivalent-habitant/déchet selon Maystre	144
CHAPITRE 3. DÉFINITIONS.....	145
3.1 L'équivalent-habitant/déchet	147
3.1.1 L'équivalent-habitant/déchets	148
3.1.2 L'équivalent-habitant/déchets ménagers	150
3.2 L'équivalent-habitant/transport	152
3.3 L'équivalent-habitant/résidentiel-tertiaire	155
CHAPITRE 4: UTILISATION DES ÉQUIVALENTS-HABITANTS.....	158
4.1 Utilisation des équivalents-habitants/déchets.....	160
4.2 Utilisation des équivalents-habitants/déchets ménagers.....	162
4.3 Utilisation des équivalents-habitants/transport.....	164
4.4 Utilisation des équivalents-habitants/résidentiel-tertiaire.....	166
CHAPITRE 5: CONCLUSION	168
CONCLUSION GÉNÉRALE	169
INDEX DES TABLEAUX	170
INDEX DES FIGURES	172
BIBLIOGRAPHIE.....	173
ANNEXES	176
ANNEXE 1: Exemple de calcul de la contribution d'un secteur à une pollution.....	177
ANNEXE 2: L'incinération des OM et assimilées.....	179
ANNEXE 3: Le stockage des déchets ménagers	182
ANNEXE 4: Le traitement des DIS.....	184

ABRÉVIATIONS

ADEME:	Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie
AGV:	Acides Gras Volatils
ANRED:	Agence Nationale pour la Récupération et l'Élimination des déchets
AP:	Acidification Potential
CEA:	Commissariat à l'Énergie Atomique
CET:	Centre d'Enfouissement Technique
CFC:	ChloroFluoroCarbure
CITEPA:	Centre Interprofessionnel Technique d'Études de la Pollution Atmosphérique
CNRS:	Centre National de Recherche Scientifique
COV:	Composés Organiques Volatils
COVNM:	Composés Organiques Volatils Non Méthaniques
DDT:	DichloroDiphénylTrichloréthane
DIB:	Déchets Industriels banals
DIS:	Déchets Industriels Spéciaux
GWP:	Global Warming Potential
HCA:	Human toxicological Classification factor for the Air
HCNM:	Hydrocarbures Non Méthaniques
INSEE:	Institut National de la statistique et des Études Économiques
IPCC:	Intergovernmental Panel on Climate Change
MA:	Matières Azotées
MES:	Matières En Suspension
MI:	Matières Inhibitrices
MIOM:	Mâchefers d'Incinération des Ordures Ménagères
MO:	Matières Oxydables
MP:	Matières phosphorées
Mt:	Millions de tonnes
OCDE:	Organisation de Coopération et de Développement Économiques
ODP:	Ozone Depletion Potential
OM:	Ordures Ménagères
OMS:	Organisation Mondiale de la Santé
PAN:	Péroxy Acetyl Nitrates
PCB:	PolyChloroBiphényle
PCDD:	PolyChloroDibenzoDioxines
PCDF:	PolyChloroDibenzoFurannes
PCOP:	Potentiel de Création d'Ozone Photochimique
PVC:	PolyChlorure de Vinyle
SETAC:	Society of Environmental Toxicology And Chemistry
TEF:	Facteur de Toxicité (I-TEF Internationale)
TEQ:	Toxicité Équivalente (I-TEQ Internationale)
TPP:	Tripolyphosphates
UIOM:	Usine d'Incinération d'Ordures Ménagères

GLOSSAIRE

La plupart des mots utilisés en matière d'environnement font maintenant l'objet de définitions souvent normalisées. Dans le cadre de ce travail, dont l'objectif est la communication, nous proposons pour certains d'entre eux une définition plus simple sans pour autant dénaturer le sens de la définition officielle.

Antagoniste (effet):

Diminution de l'intensité d'un effet (chimique ou biologique) par une substance ou un organisme, due à la présence d'une autre substance ou d'un autre organisme; l'effet cumulé est moins important que la somme des effets dus aux substances et organismes pris isolément.

Source: NF T 90-507.

Anthropique/anthropogénique:

résultant de l'action humaine.

Définition personnelle

Cumulatif (effet):

Un toxique a un effet cumulatif lorsqu'il a la capacité de s'accumuler dans les tissus de l'organisme. Deux conditions majeures doivent être réunies pour qu'un toxique soit cumulatif: il doit être rémanent c'est à dire stable chimiquement et il doit présenter une affinité pour l'organisme au niveau physique ou chimique.

Source: (31)

DCO (Demande Chimique en Oxygène):

Elle représente la quantité d'oxygène consommée, dans les conditions de l'essai, par les matières oxydables contenues dans un litre d'effluent. Elle s'exprime en mg/l d'oxygène consommée.

Source: (22)

DBO (Demande Biochimique en Oxygène):

Elle exprime la quantité d'oxygène nécessaire à la destruction ou à la dégradation des matières organiques d'une eau par les micro-organismes du milieu. Elle s'exprime en mg/l d'oxygène consommée.

Source: (22)

Diffuse (source):

Source de pollution des eaux de surface ou souterraines ne provenant pas d'un seul point mais plutôt d'une manière étendue, par exemple par lessivage du sol.

Source: NF T 90-506.

Ecotoxique:

Caractère d'un toxique qui a des effets de toute nature sur les espèces vivantes et leurs organisations, sur leurs rapports avec la matière inanimée, sur leurs rapports entre elles et avec l'homme.

Source: (31)

Equivalent-habitant:

Au sein d'une collectivité définie qui produit, consomme ou rejette une certaine quantité d'éléments en rapport avec son activité, l'équivalent-habitant permet de visualiser cet état en affectant à chaque habitant la fraction correspondante de ces différents éléments.

Définition personnelle

MA (Matières Azotées):

Paramètre utilisé par les Agences de l'Eau caractérisant la concentration en azote organique et ammoniacal (NH₄⁺) résultant de la transformation des composés d'origine biologique (protéines, peptides, acides aminés, ...). Il ne prend pas en compte les composés d'origine industrielle (ammoniacale), les nitrites et les nitrates. Il est exprimé en mg/l.

Source: (3)

MES (Matières En Suspension):

Paramètre utilisé par les Agences de l'Eau qui représente la quantité de pollution organique et minérale non dissoute dans l'eau, c'est-à-dire les matières décantables et colloïdales. Il est exprimé en mg/l.

Source: (3)

Métox:

Paramètre utilisé par les Agences de l'Eau qui permet d'évaluer la teneur en métaux et métalloïdes d'un effluent. Il est calculé en effectuant la somme des concentrations ou des flux (exprimés en grammes) de huit métaux pondérés chacun par un coefficient proportionnel à son potentiel polluant: mercure et cadmium (× 50), plomb et argent (× 10), cuivre et chrome (× 5), nickel et zinc (× 1). L'unité de cette mesure est le Métox.

Source: (49)

MI (Matières Inhibitrices):

Paramètre utilisé par les Agences de l'Eau caractérisant la toxicité aiguë d'un effluent. Il est déterminé par le test daphnie et mesure la concentration pour laquelle la moitié d'une population de daphnies est immobilisée et considérée comme morte par intoxication chimique. Il est exprimé en équitox/m³.

Source: (49)

MO (Matières Oxydables):

Paramètre utilisé par les Agences de l'Eau qui caractérise l'ensemble des matières contenues dans l'effluent polluant, dotées d'un pouvoir réducteur. Le calcul s'effectue ainsi: $MO = (2DBO_5 + DCO)/3$, la DBO₅ correspondant à la Demande Biochimique en Oxygène sur 5 jours. MO est exprimé en mg/l.

Source: (50)

MP (Matières Phosphatées):

Paramètre utilisé par les Agences de l'Eau caractérisant la teneur totale en phosphore du rejet. Il est calculé en faisant la somme du phosphore contenu dans les orthophosphates, les polyphosphates et les organophosphates. Il est exprimé en mg/l.

Source: (49)

Outil de pondération:

Objet mathématique qui permet de faire un lien entre le chiffre d'émission d'un polluant et son rôle "quantifié" au sein d'une pollution donnée. Caractérise le pouvoir de contribution d'un polluant à une pollution.

Définition personnelle

Polluant:

Toute substance émise soit par une activité humaine soit par un processus naturel, ou toute substance obtenue par réaction entre substances émises, qui affecte l'homme ou altère l'environnement. Dans le langage courant, on désigne également par ce terme ces mêmes substances quand elles sont présentes dans le milieu à des niveaux inférieurs au seuil de nocivité.

Définition personnelle

Pollution:

Signifie communément la présence de polluants résultants de l'activité humaine ou de processus naturels, en concentration suffisante pendant un temps suffisant et dans des circonstances telles qu'ils affectent le confort, la santé ou le bien-être des personnes ou altèrent l'environnement.

Définition personnelle

Puits:

Phénomène (ou lieu du phénomène) naturel ou anthropogénique qui contribue à faire diminuer la présence du polluant dans l'environnement considéré par transformation (décomposition biologique et chimique, absorption par la biomasse, par les océans, etc.).

Définition personnelle

Rejet direct/indirect:

Le rejet est direct lorsqu'il rejoint le milieu aqueux par l'intermédiaire d'une conduite. S'il le rejoint après infiltration dans les sols ou par ruissellement, le rejet est indirect.

Définition personnelle

Secteur:

Regroupe un ensemble d'activités de même nature. L'activité de la nature (volcanisme, érosion des sols, orages, etc.) est également considéré comme un secteur.

Définition personnelle

Secteur résidentiel-tertiaire:

Secteur qui comprend les activités liées d'une part au logement de l'habitant et d'autre part aux bâtiments du secteur tertiaire qui sont les bureaux, les commerces, les hôpitaux et les écoles.

Source: (2)

Smog photochimique:

Terme anglais dérivé de smoke (fumée) et de fog (brouillard). Résultat des réactions qui se produisent dans l'atmosphère entre les oxydes d'azotes, les composants organiques et les oxydants sous l'influence du soleil et qui conduisent à la formation de composés oxydants.

Source: NFX 43-001.

Source:

Activité naturelle ou anthropique qui génère un rejet.

Définition personnelle

Synergie (effet de):

Augmentation de l'intensité d'un effet (chimique ou biologique) par une substance ou un organisme, due à la présence d'une autre substance ou d'un autre organisme; l'effet combiné est supérieur aux effets cumulés des substances ou organismes séparé(e)s.

Source: NF T 90-507.

Toxicité aiguë:

Toxicité qui résulte de l'exposition d'un individu ou d'un milieu à une dose ou à une concentration très élevée d'une substance toxique, pendant un temps très court (quelques jours maximum, plus généralement 24 heures).

Source: (31)

Toxicité chronique:

Toxicité qui résulte de l'exposition d'un individu ou d'un milieu à une dose ou à une concentration faible d'une substance toxique, pendant un temps très long (d'un mois à la durée de vie de plusieurs générations d'animaux).

Source: (31)

Toxique:

Se dit d'une substance nocive pour les organismes vivants.

Source: (51)

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Cette étude a pour objectif de réunir le maximum d'informations scientifiques et de données numériques relatives aux pollutions et aux polluants ainsi qu'aux secteurs émetteurs. Ces informations sont destinées à l'élaboration d'éléments de communication sur ces problèmes. Le référentiel est un outil spécifique que nous devons élaborer: l'ÉQUIVALENT-HABITANT/DÉCHETS.

On observe que d'un strict point de vue environnemental la gestion des déchets:

- a) participe à la plupart des pollutions et nuisances généralement évoquées: effet de serre, couche d'ozone, émission acide, eutrophisation des eaux, etc.
- b) partage la responsabilité de ces pollutions avec d'autres secteurs: chauffage, transports, industrie, production d'énergie, agriculture, phénomènes naturels.

Ce double constat nous a orienté dans la définition d'une approche qualitative que l'on peut découper en trois points:

- a) Inventaire de la nature et des effets des principales pollutions et nuisances,
- b) Mise en évidence des contributions propres à chaque secteur au niveau de ces pollutions,
- c) Spécificité de la contribution du secteur "gestion des déchets" au niveau de ces pollutions.

Nous avons ensuite tenté de quantifier cette analyse qualitative, au moins pour les phénomènes les plus importants, en vue d'élaborer des éléments de communication permettant de répondre à deux questions:

- 1) Quelle est la contribution relative de la gestion des déchets, au plan qualitatif et quantitatif, à l'ensemble des pollutions et nuisances qui sont régulièrement évoquées, comparée aux autres sources de pollution?
- 2) A partir de ces résultats, que représentent ces contributions à l'échelle d'un habitant, en France? C'est la notion d'ÉQUIVALENT-HABITANT/DÉCHETS.

Dans une première partie, nous nous sommes attachés à définir les limites de l'étude, à commenter les données ainsi que les hypothèses utilisées. Dans une seconde partie, nous présentons de façon qualitative et quantitative les polluants, les pollutions et les secteurs "pollueurs" retenus pour cette étude. On tentera alors de déterminer la contribution spécifique de la gestion des déchets au niveau des pollutions. Une troisième partie est consacrée à la définition de l'équivalent-habitant/déchets.

CHAPITRE 1. LIMITES DE L'ÉTUDE

L'objectif de cette étude étant de définir un équivalent-habitant/déchets, il nous faut quantifier les rejets atmosphériques et aqueux liés au secteur traitement des déchets en France. Afin de comparer ce secteur à d'autres branches d'activité, un bilan global des rejets doit être fait. Nous nous attachons à une approche systémique. En premier lieu, nous devons définir un système global qui délimite l'ensemble des activités susceptibles de générer des polluants. Nous identifions ensuite dans ce système les principaux sous-systèmes qui le composent. Nous définissons ensuite une unité commune à tous ces sous-systèmes par rapport à laquelle sont calculés les rejets. Enfin, il s'agit de définir les pollutions auxquelles nous nous intéressons et pour lesquelles nous évaluons la contribution des différents sous-systèmes.

1.1. Systèmes étudiés

Le système global auquel nous nous intéressons est **l'ensemble des activités susceptibles d'engendrer des rejets polluants en France**. Il s'agit des activités des français en qualité de consommateurs, des activités industrielles sur le territoire français ainsi que les activités "naturelles" telles que la respiration des êtres vivants, leurs déjections, les phénomènes naturels (volcanisme, zones humides, etc.). Parmi les trois milieux physiques susceptibles d'être atteints par les rejets, nous ne nous intéressons qu'à l'hydrosphère et l'atmosphère car l'évaluation de l'impact des polluants sur la lithosphère (sols) semble plus délicate.

Ce système global est considéré comme un ensemble de sous-systèmes définis comme suit:

- *l'industrie,*
- *la production d'énergie (la production d'électricité, la transformation d'énergie fossile),*
- *le transport,*
- *l'agriculture, la sylviculture,*
- *le traitement des déchets,*
- *le résidentiel-tertiaire,*
- *la nature.*

Nous nous intéresserons plus particulièrement à trois sous-systèmes:

- *le transport,*
- *le résidentiel-tertiaire,*
- *le traitement des déchets.*

Dans ces trois sous-systèmes, on définit des familles de sources, elles-mêmes subdivisées en différents types de sources. Le tableau 1 page suivante résume cette répartition.

Tableau 1: Sous-systèmes étudiés

SOUS-SYSTÈMES	FAMILLES DE SOURCES	TYPES DE SOURCES
Transport	Utilisation du carburant Climatisation des véhicules	- Combustion du carburant - Fuites de carburant
Résidentiel-tertiaire	Consommation d'énergie Produits de l'habitat émettant des polluants Eaux usées	- chauffage - cuisson des aliments - domestiques - secteur tertiaire
Traitement des déchets	Traitement des déchets ménagers Mise au rebut des encombrants Traitement des déchets industriels	- incinération - stockage - incinération - traitements physico- chimiques - stockage

Chaque sous-système défini ci-dessus n'est pas totalement indépendant des autres sous-systèmes. Il s'agit de définir exactement les frontières que nous adoptons:

- Sont exclus du sous-système "résidentiel-tertiaire":
 - la production de l'énergie utilisée par ce secteur. Elle est rattachée au sous-système "production d'énergie",
 - le traitement des déchets ménagers (ordures ménagères et encombrants). Il est rattaché au sous-système "traitement des déchets".

- Sont exclus du sous-système "transport":
 - la construction des véhicules. Elle est rattachée au sous-système "industrie".
 - la gestion des déchets de consommation et de fin de vie des véhicules. Elle est théoriquement rattachée au sous-système "traitement des déchets", mais les données insuffisantes n'ont pas permis de caractériser cette famille de sources.

- Sont exclus du sous-système "traitement des déchets":
 - le transport des déchets qui est rattaché au sous-système "transport".

1.2. Choix d'une unité commune

Les rejets de polluants peuvent être rattachés à des unités différentes. Par exemple, pour le traitement des déchets, les émissions se rapportent logiquement à la tonne de déchets traitées. Pour le résidentiel-tertiaire, les émissions dues à la consommation énergétique sont liées aux quantités de combustibles consommées. Afin de garantir l'homogénéité des données, il convient de définir une unité commune aux sous-systèmes par rapport à laquelle seront ramenées les émissions. Nous utilisons:

l'activité d'un français type pendant un an qu'il s'agisse de consommation, de production industrielle ou d'émissions naturelles.

1.3. Les polluants considérés

Nous avons tenté de prendre en compte le plus grand nombre de polluants dans la mesure où des données les concernant étaient disponibles. Les polluants pour lesquels un bilan complet des rejets par sous-systèmes émetteurs (dont le traitement des déchets) peut être proposé sont des polluants dits "classiques": SO₂, NO_x, COV (dont le CH₄), CO, CO₂, N₂O et NH₃. Ces bilans concernent l'atmosphère. Pour les autres polluants, les données sont partielles.

1.4. Les pollutions considérées

Connaissant les bilans des émissions par sous-système, le but est de comparer la contribution de ces sous-systèmes et en particulier du sous-système traitement des déchets à plusieurs pollutions. Nous considérons des pollutions ayant des impacts à différentes échelles (locale à planétaire), et sur différents milieux (atmosphère et hydrosphère) afin d'avoir une vision la plus globale possible. Dans ce cadre, nous avons choisi les pollutions suivantes:

- | | |
|-------------------------|--|
| Pollutions planétaires: | - <i>l'effet de serre</i>
- <i>l'appauvrissement de la couche d'ozone</i> |
| Pollutions régionales: | - <i>la pollution photochimique</i>
- <i>la pollution acide</i> |
| Pollutions locales: | - <i>l'eutrophisation des eaux</i>
- <i>la pollution toxique de l'air</i>
- <i>la pollution toxique de l'eau</i> |

CHAPITRE 2. ANALYSE DES DONNÉES ET HYPOTHÈSES DE TRAVAIL

Afin de mener à bien cette étude, le premier travail consiste à faire un bilan le plus global possible, par sous-système étudié, des rejets annuels de polluants au niveau national. La deuxième étape consiste à définir les pouvoirs de contribution des différents polluants à chaque pollution. Nous nous sommes heurtés à des difficultés relatives à l'obtention et à l'utilisation des données.

2.1. Disponibilité des données

Certaines données d'émission n'ont pas été trouvées dans les travaux scientifiques (par exemple, les émissions d'H₂S), d'autres n'ont été exprimées que partiellement, certaines sources n'étant pas évaluées (cas du cadmium (16)). D'autres encore, bien qu'existantes, n'ont pas été accessibles pour cause de confidentialité (cas des estimations européennes des émissions de CFC).

Par ailleurs, certaines données sont partielles car elles ont été collectées selon des critères bien particuliers: des rejets ne sont pris en compte qu'à partir d'un seuil minimum d'émission (28); pour d'autres, seules les données d'autosurveillance sont disponibles ce qui exclut les rejets des installations plus anciennes non soumises à l'autosurveillance (cas des UIOM)(28).

Enfin, certaines activités n'ont fait l'objet d'aucune estimation de rejets au plan national, c'est le cas par exemple des centres d'enfouissement technique.

2.2. Compatibilité des données

Les données d'émission proviennent de méthodes d'évaluation très différentes. Elles peuvent résulter de mesures directes, c'est le cas de l'autosurveillance. Il peut s'agir également de données mesurées à partir de capteurs installés sur un territoire défini. Elles peuvent aussi provenir de méthodes de calcul (utilisation de modèles mathématiques, calcul à partir de facteurs d'émission). Cette diversité dans les méthodes d'évaluation rend la compatibilité entre les données délicate. De plus, il est parfois difficile de connaître le mode d'évaluation de certaines d'entre elles.

En outre, les années d'évaluation peuvent être différentes d'un polluant à l'autre, selon les sources. Mais nous nous sommes attachés à recueillir les données les plus récentes possibles.

2.3. Incertitudes et hypothèses

Des incertitudes se rencontrent à tous les niveaux.

Il existe des incertitudes au niveau des données d'émission.

Pour l'émission d'un même polluant, nous avons souvent rencontré des chiffres très différents laissant donc apparaître une grande fourchette de valeurs. Dans ce cas, la donnée d'émission retenue dans le rapport est choisie en fonction de la validité de la source, ou bien, si aucune source ne paraît "plus exacte", la donnée retenue est la moyenne de l'ensemble des données.

Ainsi, pour les CFC, nous avons moyenné les données d'émission proposées par deux sources différentes (8) (37). Dans le cas des rejets aqueux des sites externes de traitement des déchets industriels, nous avons choisi de considérer une source (Agences de l'Eau) plutôt qu'une autre (22).

Les données d'émission ont souvent été calculées à partir de facteur d'émission. Ces facteurs sont encore trop souvent le résultat de suppositions ou d'hypothèses hardies ce qui ne fait qu'accroître les incertitudes rattachées à ces estimations. Lorsqu'on utilise un facteur d'émission, il est multiplié par une donnée (tonnages de déchets, population française, etc.) qui elle-même présente une incertitude. L'incertitude première est donc amplifiée.

Pour finir, il existe également des incertitudes sur les facteurs de contribution des polluants aux pollutions. Il faut signaler qu'il n'existe pas aujourd'hui de consensus au niveau de tous les experts sur la définition même de ces coefficients.

Dans ces conditions, il apparaît impossible et surtout dénué de sens d'estimer les incertitudes rattachées à chaque valeur avancée. La marge d'incertitude pourrait être de $\pm 50\%$, $\pm 100\%$ voire même de $\pm 200\%$.

Les données d'estimation choisies dans le rapport constituent nos hypothèses de base. Ces hypothèses portent essentiellement sur:

- la quantification des rejets de polluants,
- l'évaluation des pouvoirs de contribution des polluants aux pollutions.

Dans la mesure du possible, ces hypothèses sont évaluées à partir de cas concrets (cas du traitement des déchets industriels), de moyennes nationales (données du CITEPA et autres) ou de considérations scientifiques et techniques. Dans la suite du rapport, ces réserves ne sont pas toujours exprimées à tous les niveaux mais il est tacite que tous les chiffres avancés sont à considérer comme des hypothèses de l'étude.

Des hypothèses supplémentaires ont été posées au cas par cas dans la suite de l'étude. Par exemple, on a considéré que le traitement des déchets en cimenterie n'entraînait pas de rejets supplémentaires par rapport à son fonctionnement sans déchets. Ou bien encore, les rejets des sites de traitement des DIS en interne n'ont pas pu être pris en compte (sauf pour l'incinération).

Dans tous les cas, ces hypothèses particulières sont clairement signalées au moment de leur utilisation.

Il importe donc de rester très prudent dans l'utilisation des données avancées dans ce rapport.

SECONDE PARTIE:

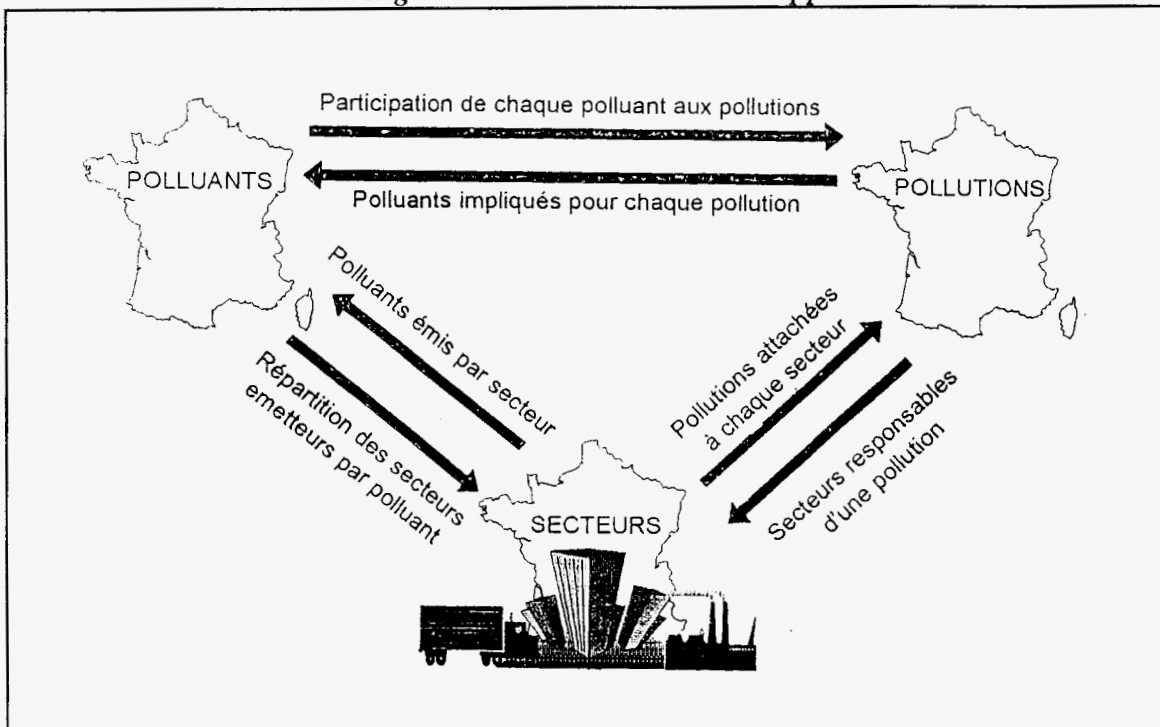
LES TROIS AXES D'APPROCHE

La deuxième partie de ce document présente les trois axes d'approche de notre travail:

- 1. une approche "POLLUANTS"
- 2. une approche "POLLUTIONS"
- 3. une approche "SECTEURS ÉMETTEURS"

ce qui devrait permettre une lecture plus facile: l'accès à l'information cherchée est direct dans la mesure où l'on connaît la combinaison recherchée:

Figure 1: Les trois axes d'approche



- s'agit-il de renseignements généraux sur un polluant particulier?

⇒ 1. approche "POLLUANTS"

- ou de données sur la participation d'un secteur particulier à une pollution particulière?

⇒ 2. approche "POLLUTIONS"

- ou d'informations sur les rejets de polluants par un secteur bien défini?

⇒ 3. approche "SECTEURS ÉMETTEURS"

Nous avons opté pour cette présentation au risque de voir figurer la même information dans plusieurs approches.

CHAPITRE 1. LES POLLUANTS

Un ensemble de fiches est présenté ci-après. Il donne pour chaque polluant:

- les sources d'émissions,
- les estimation des émissions annuelles,
- les pollutions auxquelles il contribue,
- etc.

Les fiches sont classées par ordre alphabétique afin de faciliter leur utilisation.

	Page
1.1 L'acide chlorhydrique -HCl-.....	11
1.2 Le cadmium - Cd -	12
1.3 Les chlorodioxines/chlorofurannes - PCDD/F -	14
1.4 Les chlorofluorocarbures - CFC -.....	16
1.5 Les composés organiques volatils non méthaniques- COVNM -.....	18
1.6 Le dioxyde de carbone - CO ₂ -.....	20
1.7 Le dioxyde de soufre - SO ₂ -.....	22
1.8 Les métaux lourds.....	24
1.9 Le méthane - CH ₄ -.....	26
1.10 Le monoxyde de carbone - CO -.....	28
1.11 Les oxydes d'azote - NO _x -	30
1.12 L'ozone - O ₃ -	32
1.13 Les peroxy acetyl nitrates - PAN -.....	35
1.14 Le plomb - Pb -	36
1.15 Les poussières	38
1.16 Le protoxyde d'azote - N ₂ O -.....	40

1.1 L'ACIDE CHLORHYDRIQUE -HCl-

⇒ *Caractéristiques du polluant*

- l'acide chlorhydrique est un acide fort
- il est très soluble dans l'eau (se trouve sous forme ionisée H^+ et Cl^-)
- il se retrouve sous forme de gaz chlorhydrique -HCl(g)- lors de la combustion de matières contenant du chlore.
- durée de vie dans l'atmosphère: inférieure à 10 jours.

⇒ *Contribution aux pollutions*

L'acide chlorhydrique participe à la *pollution acide*

⇒ *Sources d'émissions*

- *Naturelles:*
 - émissions par les océans vers l'atmosphère (35)
 - activité volcanique
 - incendies de forêts
- *Anthropiques:*
 - combustion du charbon
 - incinération des déchets (PVC, caoutchoucs chlorés etc.). Le chlore contenu dans les ordures est rejeté à l'atmosphère principalement sous forme de gaz chlorhydrique -HCl (g)-.

⇒ *Puits*

- dissolution dans les océans: retour sous forme Cl^-

⇒ *Estimation des émissions*

- manque de données sur ce polluant.
- contradiction dans les estimations.

Émissions mondiales (35):

- naturelles: - 200 millions de tonnes/an .
- anthropiques: - de 400 000 tonnes/an à 1 millions de tonnes/an.

Émissions françaises (18):

- anthropiques: - 75 000 tonnes/an .
- dont - 40 000 tonnes émises par combustion du charbon.
- 35 000 tonnes émises par les incinérateurs de déchets.

1.2 LE CADMIUM - Cd -

⇒ *Caractéristiques du polluant*

Métal blanc-bleuâtre

propriétés:

- toxique à effet cumulatif.
- physico-chimiques

Ductile et malléable, grande volatilité. $P_f = 320,9^\circ C$ $P_{eb} = 765^\circ C$

Bon nombre de composés inorganiques contenant du cadmium (acétate, chlorure et sulfate) sont solubles dans l'eau, d'autres (oxyde, sulfure) ne le sont pratiquement pas.

⇒ *Nature de l'impact*

- toxicologique

principalement par inhalation, plus rarement par voie digestive.

peut entraîner - des lésions des tissus rénaux
- une pathologie osseuse dénommée "maladie d'Itai-Itai"

- écotoxicologique

⇒ *Valeurs limites*

Dans l'eau: Limite de qualité pour la consommation humaine: 5 µg/l (Décret du 03/01/89)

⇒ *Contribution aux pollutions*

pollution toxique et écotoxique de l'air et de l'eau.

⇒ Sources d'émissions

- *Atmosphériques*

- Naturelles: - volcanisme
- Anthropiques: - incinération des ordures ménagères
- production du zinc, plomb, cuivre
- combustion des énergies fossiles (charbon, pétrole)
- activités utilisant le Cd pour ses propriétés physiques et chimiques: accumulateurs, peinture, charges minérales, ...

- *Dans l'eau*

- métallurgie du zinc, du fer, de l'acier
- métallisation, revêtement de surface
- fabrication d'engrais phosphatés, d'accumulateurs Cd-Ni, d'acide phosphorique, ...

⇒ Estimation des émissions

- *Émissions européennes (1990):*

- Dans l'air: 168 tonnes dont:

- combustion des produits pétroliers	28 tonnes
- incinération des ordures ménagères	28 tonnes
- sidérurgie	24 tonnes
- raffinage du zinc	23 tonnes
- combustion du charbon	21 tonnes
- production d'accumulateurs	11 tonnes
- nature	15 tonnes

- Dans l'eau: 130 tonnes dont:

- métallurgie du fer et de l'acier	42 tonnes
- fabrication d'engrais phosphatés	30 tonnes
- fabrication de pigments	21 tonnes*
- cadmiage	20 tonnes
- raffinage du zinc	17 tonnes

*sujet à caution
Source (12)

- *Émissions atmosphériques françaises (1989-90)*

Industrie	5,55 tonnes	(1989)
Production d'énergie	1,3 tonnes	(1989)
Incinération des déchets ménagers	4,88 tonnes	(1990)
Incinération des déchets industriels spéciaux	0,0007 tonnes	(1990)

Total 11,7 tonnes

Source: (16)

Les sources principales de cadmium dans l'atmosphère en France seraient la production de non-ferreux (plomb et zinc) ainsi que l'incinération des déchets ménagers. Toutefois toutes les sources potentielles de cadmium (sidérurgie par exemple) ne sont pas évaluées.

1.3 LES CHLORODIOXINES/CHLOROFURANNES - PCDD/F -

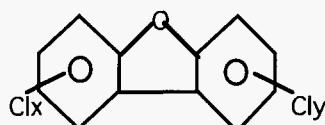
⇒ *Caractéristiques du polluant*

Les chlorodioxines et les chlorofurannes sont des composés constitués de carbone, d'oxygène, d'hydrogène et de chlore.

Il correspondent à la formule générale suivante:



Polychlorodibenzodioxine



Polychlorodibenzofuranne

Tous les PCDD/F sont solides à température ambiante avec un point de fusion et d'ébullition assez élevé.

La solubilité des PCDD/F est faible dans l'eau et elle diminue avec l'augmentation du nombre de chlore de la molécule.

Les PCDD/F sont d'avantage solubles dans les solvants organiques et les graisses.

Ils sont stables chimiquement et thermiquement, sont très peu volatils et se dispersent donc difficilement sous forme de gaz. Ils sont le plus souvent adsorbés sur des particules.

Il existe une sensibilisation particulière de l'opinion publique face à cette famille de polluants du fait de l'accident survenu en Italie à Seveso qui mettait en jeu le plus toxique de ces composés: la 2-3-7-8 tetrachlorodibenzodioxine. En fait, la famille des dioxines comprend 75 substances très différentes au niveau des propriétés et de la toxicité.

⇒ *Mécanismes de formation*

Les mécanismes de formation sont bien connus en laboratoire mais les conditions de formation de ces produits au sein de procédés particuliers tel que l'incinération sont encore très mal identifiées.

Les PCDD/F sont théoriquement susceptibles de se former dès qu'il y a combustion de matière organique en présence de chlore.

Ils peuvent se trouver à l'état de traces au cours de **fabrication chimique** et surtout dans les **fumées de combustion** de très nombreux produits organiques (bois, charbon,...) et même dans la fumée de cigarette.

⇒ *Contribution aux pollutions*

Les PCDD/F participent à la pollution toxique de l'air:

La plupart des études toxicologiques ont porté sur le composé le plus toxique: le 2,3,7,8-TétraChloroDibenzoDioxine (2,3,7,8-TCDD). Peu d'études ont été faites sur les autres composés, mais les données les plus récentes confirment que ce sont les composés qui contiennent au moins des atomes de chlore dans les positions 2,3,7 et 8 qui sont toxiques de façon significative.

⇒ *Facteur de toxicité*

Dans la pratique, les différents PCDD/F se présentent sous forme de mélanges complexes; il est donc nécessaire de pouvoir estimer la toxicité de tels mélanges. La notion d'Équivalent Toxique (Toxic Equivalent -TE) a été développée à cette fin. Chaque composé PCDD/F est associé à un facteur de toxicité équivalente (TEF) qui, multiplié par la concentration, fournit une toxicité équivalente (TEQ). Ensuite, on fait la somme de toutes les toxicités équivalentes de chacun des composés du mélange. Différentes listes de TEF ont été proposées, mais c'est maintenant la liste proposée par le "NATO Committee on Challenges to Modern Society" qui est la plus souvent utilisée et qui est devenue internationale (I-TEF et I-TEQ).

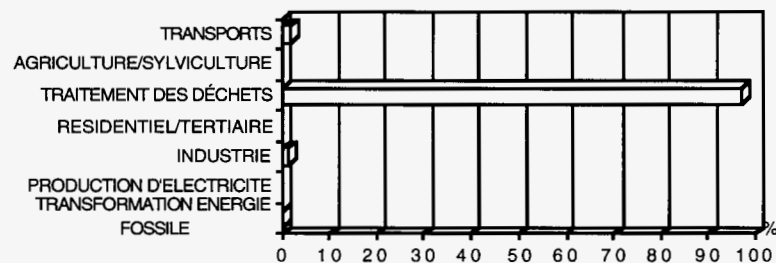
⇒ *Sources d'émissions*

- naturelles: - combustion des matières organiques
- anthropiques: - incinération des déchets
- gaz d'échappement des véhicules
- industrie chimique

⇒ *Estimation des émissions*

Émissions françaises: 0,0012 tonnes I-TEQ/an.

Répartition par secteur en France:



source: (11)

Remarque pour l'incinération: les valeurs de PCDD/F estimées restent tout à fait minimales. De plus, des études ont montré que les taux de dioxine en entrée et en sortie d'incinérateur sont du même ordre de grandeur. Il y a donc autant de PCDD/F dans les déchets que dans les fumées d'incinérateurs.

1.4 LES CHLOROFLUOROCARBURES - CFC -

⇒ *Caractéristiques des polluants*

Les CFC et leurs dérivés, halons, HCFC, HFC, sont des molécules de synthèse contenant des atomes de carbone, d'hydrogène et d'halogènes.

- CFC: au plus 2 carbones, totalement halogénés avec F et Cl
- Halons: au plus 2 carbones, totalement halogénés avec F, Cl et Br
- HCFC: CFC partiellement halogénés avec F, Cl et Br (chlorofluorobromocarbures)
- HFC: partiellement halogénés avec F (fluorocarbures)

Molécules ininflammables, faiblement toxiques, stables thermiquement, miscibles avec l'eau et l'huile, ayant un pouvoir solvant et une compatibilité avec de nombreux métaux et plastiques.

Ces propriétés exceptionnelles et leur faible coût de revient ont provoqué leur fort développement depuis 30 ans.

- durée de vie dans l'atmosphère: de 15 ans (HCFC 22) à 400 ans (CFC115).

⇒ *Contribution aux pollutions*

Les CFC et leurs dérivés participent à:

- la *destruction de la couche d'ozone* par diffusion de chlore dans l'atmosphère.
- l'*effet de serre* par absorption des rayonnements telluriques.

Protocole de Montréal (1987): réglementation internationale qui vise à réduire la production de CFC, à contrôler leurs importations et à les faire disparaître du marché d'ici l'an 2000.

La France s'est particulièrement impliquée dans ce projet en assurant l'élimination totale des CFC de ses produits dès Janvier 1995:

- depuis 1994, il n'y a plus de CFC dans les systèmes de climatisation des véhicules neufs français,
- la climatisation des T.G.V. construits depuis 1992 ne contient plus de CFC
- il n'y a plus de CFC dans les aérosols français depuis le début des années 1990 à l'exception de certains médicaments.

⇒ **Sources d'émissions**

- **Naturelles:** - aucunes
- **Anthropiques:** - le tableau qui suit permet de se rendre compte de la diversité des secteurs d'utilisation

Tableau 2: Utilisation des CFC et de leurs dérivés

RÔLE	SECTEUR D'UTILISATION	NATURE
Solvant de nettoyage	Électromécanique Informatique Optique	C ₂ F ₃ Cl ₃ (113)
Agent d'expansion dans les mousses et plastiques	Métaux de construction Emballage automobile Habitations	CFCl ₃ (11) CF ₂ Cl ₂ (12) C ₂ F ₄ Cl ₂ (115)
Gaz propulseur dans certains aérosols	Cosmétiques Pharmacie Parfumerie Peinture	CFCl ₃ (11) CF ₂ Cl ₂ (12)
Agents réfrigérants	Entrepôts industriels Domestique (réfrigérateur, congélateur) Climatisation	CFCl ₃ (11) CF ₂ Cl ₂ (12) C ₂ F ₅ Cl (115)
Agents d'extinction	Protection incendie	Halons: CF ₂ BrCl(1211) CF ₃ Br (1301) C ₂ F ₄ Br ₂ (2402)

source: (20)

Les émissions peuvent avoir lieu: - par perte dès la production
- au cours de la consommation
- après la mise au rebut de biens de consommation

⇒ **Estimation des émissions**

Émissions mondiales: - 1 million de tonnes par an (CFC et dérivés) en 1988.

Émissions françaises: - très peu de données sur ce polluant; estimations souvent en désaccord. Existence d'une étude faite par la CEE mais confidentielle à ce jour.

Une estimation de l'Agence pour la Qualité de l'Air donne une répartition des émissions de CFC en France (37):

Industrie:	65%	32500 tonnes/an
Activités domestiques:	15 %	7500 tonnes/an
Stockage des déchets:	20%	10000 tonnes/an

pour un total de 50 000 tonnes par an (CFC et dérivés) en 1991.

Une estimation de l'Agence Française du Froid basée sur les tonnages de CFC vendus donne (8):

activités domestiques ou tertiaire:	51%	2550 tonnes/an
stockage des déchets:	49%	2450 tonnes/an

pour une émission annuelle, excluant l'industrie, de 5 000 tonnes par an en 1993.

1.5 LES COMPOSÉS ORGANIQUES VOLATILS NON MÉTHANIQUES - COVNM -

⇒ *Caractéristiques du polluant*

Leur définition est imprécise.

Ce terme générique regroupe généralement les hydrocarbures évaporés et les solvants. Pour l'incinération des déchets, il s'agit la plupart du temps des diverses molécules organiques qui n'auraient pas été totalement décomposées au cours de la combustion. Certaines d'entre elles font l'objet d'une appellation spécifique comme, par exemple, les composés Hydrocarbonés Aromatiques Polycycliques (HAP).

Les COVNM sont les COV hors méthane.

Temps de vie dans l'atmosphère: quelques jours.

⇒ *Contribution aux pollutions*

Les COVNM participent:

- *à la pollution photochimique:*

Les COVNM en sont les précurseurs essentiels: ils réagissent avec les oxydes d'azote sous l'action des rayons ultraviolets pour former des polluants tels que l'ozone ou les PAN dans la troposphère.

- *aux émissions acides:*

Par action indirecte puisqu'ils sont les précurseurs de polluants photo-oxydants participant au phénomène de pollution acide.

- *à l'effet de serre :*

Les COVNM ont un effet indirect: ils provoquent une augmentation de la quantité d'ozone, gaz à effet de serre direct et une diminution de la quantité de radicaux OH.

- *à l'effet toxicologique:*

Ils peuvent notamment avoir une action irritante et être à l'origine de troubles neuro-digestifs.

⇒ *Sources d'émissions*

- *Naturelles:* - Essentiellement les forêts
- *Anthropiques:*
 - Les transports
 - L'utilisation industrielle et domestique de peintures et de solvants
 - Le stockage d'hydrocarbures par l'industrie pétrolière

⇒ *Puits* Dégradation sous l'effet du rayonnement solaire en radicaux péroxy R-O₂

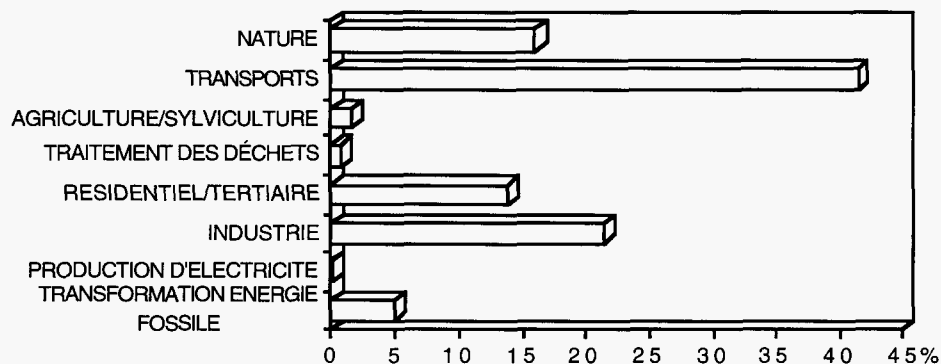
⇒ *Estimation des émissions*

Émissions anthropiques de la CEE: environ 10 millions de tonnes/an (1990).

Émissions françaises:

- naturelles: 461 800 tonnes/an
- anthropiques: 2 403 700 tonnes/an

Répartition des émissions par secteur (5):



42% des COVNM proviennent des transports dont la majorité de la circulation automobile (gaz d'échappement : 82%, évaporation au niveau du réservoir, du carburateur ou lors du remplissage du réservoir : 17%). L'utilisation croissante des pots catalytiques devrait améliorer cette situation.

L'industrie et le résidentiel/tertiaire contribuent à 35% des émissions, essentiellement par l'intermédiaire de l'utilisation industrielle et domestique de peintures et solvants et le stockage d'hydrocarbures.

Les émissions naturelles représentent 16% des émissions totales soit 5 fois moins que la contribution anthropique.

En 1985, un programme français a été défini, fixant comme objectif de réduire ces émissions de 30% avant l'an 2 000.

1.6 LE DIOXYDE DE CARBONE - CO₂ -

⇒ *Caractéristiques du polluant*

Le CO₂ n'est pas transformé chimiquement dans l'atmosphère. Sa teneur dans celle-ci dépend des échanges avec d'autres "réservoirs" de carbone, principalement la biosphère continentale, les océans et la lithosphère (sédiments, carbone fossile).

Temps de vie dans l'atmosphère: entre 50 et 200 ans.

⇒ *Contribution aux pollutions*

Le CO₂ participe à *l'effet de serre*:

Il en est l'acteur principal, plus du fait de l'ampleur de ses émissions que de son pouvoir absorbant.

⇒ *Sources d'émissions*

- *Naturelles:*
 - Principalement la respiration des êtres vivants et des végétaux
 - Activités volcaniques, incendies de forêts
- *Anthropiques:*
 - l'utilisation de combustibles fossiles
 - la déforestation

Alors que la première libère du CO₂ provenant du stock de la lithosphère, la seconde libère le CO₂ normalement fixé par photosynthèse. Le cycle naturel du carbone est alors bouleversé.

⇒ *Puits*

- la biomasse par la photosynthèse
- les océans: leur pouvoir compensateur est encore mal connu mais il semble, dans l'état de nos connaissances, qu'il soit faible.

⇒ *Estimation des émissions*

Émissions mondiales:

- naturelles: 200 milliards de tonnes/an
- anthropiques: 5 500 millions de tonnes/an

Source: (31)

Émissions françaises (1990):

- naturelles: 109 millions de tonnes/an
- anthropiques: 373 millions de tonnes/an

Répartition des émissions par secteur (5):



Au niveau de la France, les 3/4 des émissions sont d'origine anthropique, la production et l'utilisation de l'énergie fossile (chauffage, transport) participant à un peu plus de la moitié des émissions totales de CO₂.

Un doublement de la teneur atmosphérique en CO₂ est souvent avancé comme inéluctable au cours du XXI^e siècle par rapport à celle du début du siècle (300 ppm).

1.7 LE DIOXYDE DE SOUFRE - SO₂ -

⇒ *Caractéristiques du polluant*

Polluant atmosphérique émis en très grande quantité dans les pays industrialisés. De la famille des oxydes de soufres (SO_x), le dioxyde de soufre ou anhydride sulfureux (SO₂) est le plus abondant des composés soufrés. Il peut, sous l'action du rayonnement solaire, se transformer par oxydation en anhydride sulfurique (SO₃) puis, en présence d'eau, en acide sulfurique (H₂SO₄).

Temps moyen de vie dans l'atmosphère: 2 à 5 jours.

⇒ *Valeurs limites*

- | | |
|---|---|
| - directives européennes:
(80/779/CEE du 15.07.80) | les niveaux journaliers ne doivent pas excéder
250 µg/m ³ plus de 7 jours par an. |
| - recommandations de l'OMS: | 350 µg/m ³ pour 1 heure d'exposition
50 µg/m ³ par an. |

⇒ *Contribution aux pollutions*

Le SO₂ participe

- à la *pollution acide*:
transformation possible en acide sulfurique et sulfureux.
- à la *pollution toxique*:
augmentation des risques de troubles respiratoires
effet de synergie lorsque oxydes de soufre et particules sont présents
simultanément à des teneurs élevées.

⇒ *Sources d'émissions*

- *Naturelles*: - émissions volcaniques, embruns marins.
- *Anthropiques*: - combustion de produits fossiles:
 - transformation d'énergie
 - chaufferies industrielles
 - moteurs de véhicules

La combustion d'une tonne de fuel lourd de qualité moyenne est à l'origine d'une émission d'environ 50 kg de dioxyde de soufre.

⇒ *puits*

- précipitation, dépôt et absorption gazeuse dans les océans.

⇒ *Estimation des émissions*

- *Émissions mondiales :*

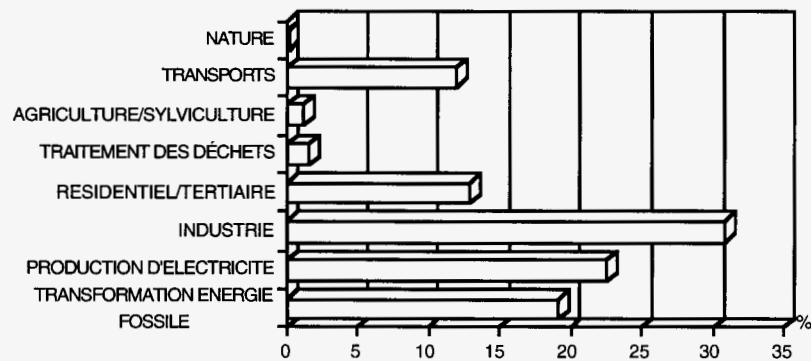
- naturelles: 50 à 130 millions de tonnes/an.
 - anthropiques: 100 millions de tonnes/an.

Source: (31)

- *Émissions françaises:*

- naturelles: 2500 tonnes/an.
 - anthropiques: 1,3 millions de tonnes/an

Répartition par secteur en France (1990)



Source: (5)

1.8 LES MÉTAUX LOURDS

⇒ *Caractéristiques des polluants*

Sont désignés sous le nom de "métaux lourds" tous les métaux et métalloïdes ayant une connotation toxique même si leur densité est faible comme celle du béryllium dont la toxicité est fort connue.

Ce sont le plomb (Pb)¹, le cadmium (Cd)², le mercure (Hg), le zinc (Zn), le chrome (Cr), le cuivre (Cu), le nickel (Ni), l'argent (Ag), l'arsenic (As), etc.

⇒ *Nature de l'impact*

- toxicologique
- écotoxicologique

⇒ *Valeurs limites dans l'eau*

Limites de qualité pour la consommation humaine (Décret du 03/01/89):

As: 50 µg/l	Cu: 1 mg/l	Cr: 50 µg/l
Hg: 1 µg/l	Zn: 5 mg/l	

⇒ *Contribution aux pollutions*

pollution toxique et écotoxique de l'air et de l'eau.

¹ voir fiche 1.14

² voir fiche 1.2

⇒ Sources d'émissions

- *Atmosphériques*

- Naturelles: - volcanisme,...
- Anthropiques: - combustion (charbon, pétrole, bois)
- métallurgie des métaux ferreux et non-ferreux
- incinération des déchets
- production de ciment
- fabrication d'engrais phosphatés

- *Dans l'eau*

- extraction et traitement des minerais
- activités particulières utilisant les propriétés particulières de chaque "métal lourd": tanneries, teintureries, industrie chimique, etc.

⇒ Estimation des émissions

- *Émissions mondiales (1989):*

Tableau 3: Émissions annuelles mondiales de métaux

Métaux lourds	Cr	Cu	Ni	Zn
Émissions naturelles (tonnes/an)	44 000	28 000	30 000	45 000
Émissions anthropogéniques (tonnes/an)	30 777	38 189	55 642	131 866

Source: (29)

- *Émissions atmosphériques françaises (1990)*

Tableau 4: Émissions annuelles de métaux en France

Métaux lourds	Cr	Cu	Ni	Zn
Industrie	529,7	437,7	714,8	773,8
Résidentiel et Tertiaire	16,3	31,9	143,2	23,2
Production d'énergie	4,7	7,6	2	40,3
Incinération des déchets	1,2	1,7	0,9	33,7
Émissions anthropogéniques totales (tonnes/an)	552	479	861	871

Sources: (9)

En 1990, 88% des émissions de chrome provenaient de l'utilisations des ferrochromes, 48% des émissions de cuivre avaient pour origine sa première transformation, 27% provenaient de la combustion. Les 2/3 des émissions de zinc provenaient de la métallurgie des métaux ferreux et 77% des émissions de nickel étaient liées aux combustions (pétrole surtout).

1.9 LE MÉTHANE - CH₄ -

⇒ *Caractéristiques du polluant*

Gaz incolore de densité 0,554. Il provient de la dégradation de la matière organique en milieu anaérobie par des bactéries méthanogènes et constitue le gaz des marais et le grisou. C'est le constituant essentiel du gaz naturel.

-temps de vie moyen dans l'atmosphère: 10 ans.

⇒ *Contribution aux pollutions*

Le méthane participe à:

- la *pollution photochimique* en tant que précurseur de la formation d'ozone troposphérique
- la *destruction de la couche d'ozone stratosphérique* en permettant la formation d'espèces destructrices d'ozone
- l'augmentation de l'*effet de serre* par piégeage des rayonnements venus du sol

⇒ *Sources d'émissions*

- *Naturelles:*
 - marais et feux de forêts
- *Anthropiques:*
 - élevage
 - rizières
 - biogaz issus des centres de stockage de déchets
 - exploitation du gaz naturel et des mines de charbon

⇒ *Puits*

- Oxydation photochimique du méthane par le radical hydroxy (OH) dans la troposphère et la stratosphère
- Décomposition du méthane au sol par des micro-organismes: les bactéries méthanophores.

⇒ *Estimation des émissions*

Émissions mondiales (31):

Il est à noter que les chiffres concernant le méthane sont souvent donnés avec un domaine d'incertitude assez grand. Il ne s'agit ici que de valeurs moyennes.

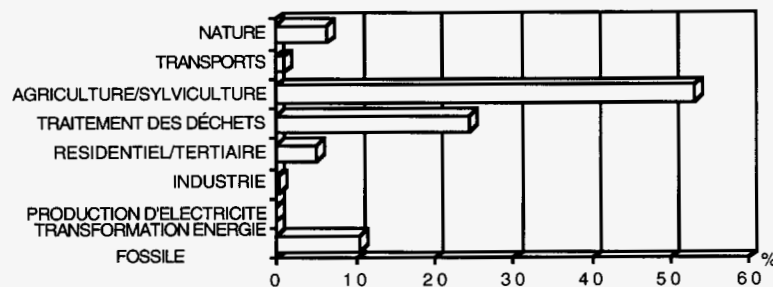
- émissions naturelles: 180 millions de tonnes/an
- émissions anthropiques: 360 millions de tonnes/an

Le taux de croissance de CH₄ dans l'atmosphère sur les 30 dernières années est de 1% par an. Alors que des études faites à partir des archives glaciaires montrent que jusqu'en 1700, cette valeur reste constante (35).

Émissions françaises:

- émissions naturelles: 190 000 tonnes/an
- émissions anthropiques: 2,8 millions de tonnes/an

Répartition en France par secteur (1990)



Source: (5)

Remarque:

Les émissions mondiales annuelles dues à la digestion des termites sont estimées à 40 millions de tonnes!

1.10 LE MONOXYDE DE CARBONE - CO -

⇒ *Caractéristiques du polluant*

Polluant atmosphérique classique produit par les combustions incomplètes.
Temps de vie dans l'atmosphère: quelques mois.

⇒ *Valeurs limites*

Recommandations de l'OMS (92):

Valeur moyenne sur 10-15 min.:	100 mg/m ³
Valeur moyenne sur 1 h.:	30 mg/m ³
Valeur moyenne sur 8 h.:	10 mg/m ³

⇒ *Contribution aux pollutions*

Le CO participe:

- *à la pollution toxique:*

Le CO a une action toxique sur les animaux à sang chaud et sur l'homme, en se combinant à l'hémoglobine produisant ainsi la carboxyhémoglobine qui est incapable de fixer l'oxygène. Chez l'homme, 6 400 ppm de CO provoquent la mort en un quart d'heure. C'est la plus forte cause de mortalité accidentelle dans la vie domestique.

- *à la pollution photochimique:*

Le CO est un précurseur: il conduit à la production, sous l'effet de rayonnement solaire, de polluants tels que l'O₃ ou les PAN.

- *à l'effet de serre:*

Le CO a un effet indirect: il provoque une augmentation de la quantité d'ozone, gaz à effet direct et une diminution de la quantité de radicaux OH.

⇒ *Sources d'émissions*

Sources naturelles:

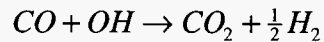
- volcanisme
- plantes (oxydation des terpènes végétaux, algues marines)
- océans
- oxydation atmosphérique d'hydrocarbures (qui peuvent être aussi d'origine anthropique)

Sources anthropiques:

- les combustions incomplètes:
- incendies de forêts
 - combustion de combustibles fossiles (par l'automobile, les centrales thermiques), de déchets...

⇒ **Puits**

- Mécanismes biogéochimiques essentiellement: CO est transformé en d'autres composés:
 - CH₄ et CO₂ sous l'effet de certaines bactéries;
 - CO₂ et H₂ dans la stratosphère par réaction avec les radicaux libres OH:



- Absorption des sols

⇒ **Estimation des émissions**

Les diverses sources bibliographiques font apparaître une grande disparité des valeurs.

Émissions mondiales:

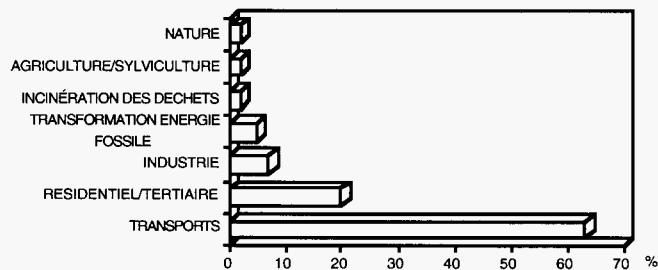
- naturelles: de 80 à 3 400 millions de tonnes/an
- anthropiques: de 400 à 1 600 millions de tonnes/an

Source: (31)

Émissions françaises:

- anthropiques: 10,7 millions de tonnes/an
- naturelles: 0,2 millions de tonnes/an

Répartition par secteur (5):



Au niveau de la France, 98% des émissions sont d'origine anthropique, le transport participant à lui seul à 63% des émissions totales de CO.

De ce fait, on observe une augmentation de sa teneur dans les zones urbaines à forte circulation automobile (de 20 à 100 ppm), bien que celle-ci reste globalement stable au cours du temps (de 0,1 à 0,2 ppm) probablement à cause des mécanismes biogéochimiques. Il n'y a pas d'accumulation dans l'atmosphère.

1.11 LES OXYDES D'AZOTE - NO_x -

⇒ *Caractéristiques des polluants*

Les oxydes d'azote qui jouent un rôle important dans la pollution atmosphérique sont :

- l'oxyde nitrique ou monoxyde d'azote (NO)
- le peroxyde d'azote (NO₂)
- le protoxyde d'azote ou oxyde nitreux (N₂O)³

Quoique leurs effets soient différents, il est fréquent de raisonner sur la somme d'émission de NO et NO₂ exprimée en équivalent-NO₂, caractérisé par le terme NO_x.

L'oxyde nitrique est un gaz incolore. Il est toxique, il affecte le transport de l'oxygène par le sang.

Le peroxyde d'azote est un gaz brun-orangé à l'odeur caractéristique. Puissant oxydant et corrosif, il est irritant et toxique notamment par action directe sur les poumons, dans lesquels il pénètre profondément en accroissant la sensibilité des bronches aux agents broncho-constricteurs.

Les émissions de NO_x sont concentrées dans les régions à haute densité de population et à fort trafic routier.

Temps de vie moyen des NO_x dans l'atmosphère: 1,5 jours

⇒ *Mécanisme de formation*

L'oxyde nitrique se forme à haute température dans les phénomènes de combustion, en particulier par combinaison dans la flamme entre azote et oxygène, l'azote pouvant provenir de l'air ou du combustible. Il se transforme lentement dans l'atmosphère en peroxyde d'azote, mais est assez stable à haute température.

⇒ *Valeurs limites*

- Directives européennes: (85/203/CEE du 07.03.85)	le niveau moyen de 200 µg/m ³ ne doit pas être dépassé plus de 175 heures dans l'année.
- Recommandations de l'OMS:	50 µg/m ³ sur l'année 125 µg/m ³ sur 24 heures

³voir fiche 1.16

⇒ Contribution aux pollutions

Les oxydes d'azote participent directement à:

- la *pollution acide* en donnant naissance aux acides nitriques et nitreux
- la *pollution toxique* par action sur le système respiratoire

Les oxydes d'azote participent indirectement à:

- l'*effet de serre*
- la *pollution photochimique*
- l'*appauvrissement de la couche d'ozone stratosphérique*

Ils ont un rôle de régulation atmosphérique par rapport à certains autres gaz. De manière générale, ils influencent toute la chimie atmosphérique par leur concentration.

⇒ Sources d'émissions

- *Naturelles*: - volcanisme, orages
 - *Anthropiques*: - en France, les NO_x sont principalement émis par les véhicules automobiles.
- ensuite viennent:
- les installations de combustion
 - certaines installations industrielles telles que les ateliers de fabrication de l'acide nitrique, ou encore la galvanoplastie (attaque nitrique des métaux cuivreux).

⇒ Estimation des émissions

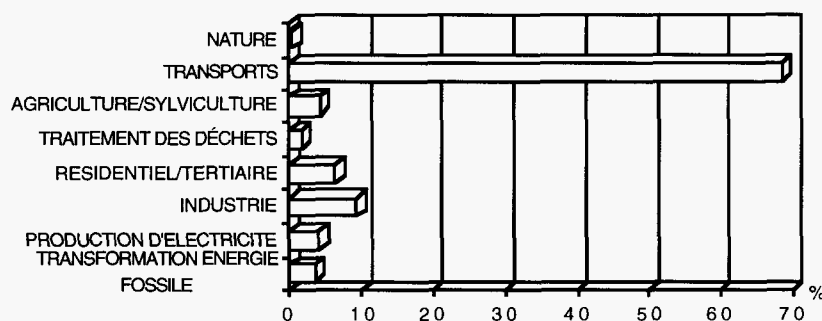
Émissions mondiales (31):

- naturelles: de 3 à 25 millions de tonnes/an,
- anthropiques: de 20 à 50 millions de tonnes/an.

Émissions françaises:

- naturelles: 5500 tonnes/an
- anthropiques: 1,6 millions de tonnes/an.

Répartition par secteur en France (1990)



Source: (5)

Les données collectées par la commission européenne pour ces polluants indiquent que les réductions d'émission obtenues au cours des vingt dernières années grâce à un contrôle accru de la pollution sont plus que compensées par l'élargissement constant du parc automobile (22).

1.12 L'OZONE - O₃ -

⇒ *Caractéristiques du polluant*

L'ozone est un corps simple gazeux, à l'odeur forte et au pouvoir très oxydant.

Seule l'ozone troposphérique, c'est à dire à basse altitude, est considérée comme polluant de l'atmosphère. En effet, l'ozone stratosphérique (haute atmosphère) a un effet bénéfique puisqu'elle constitue une couche protectrice qui filtre le rayonnement ultraviolet.

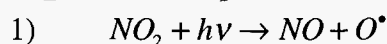
Environ 10 % de l'ozone est contenue dans la troposphère, la quasi-totalité se trouvant dans la stratosphère.

Temps de vie dans l'atmosphère: 0,1 an.

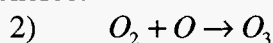
⇒ *Formation*

L'ozone troposphérique est un polluant secondaire qui résulte de l'interaction physico-chimique de composés anthropiques (NO_x, CO, COV) et de facteurs naturels (insolation, vent, etc.). Les mécanismes sont complexes et encore mal connus mais ils sont souvent présentés de la façon suivante:

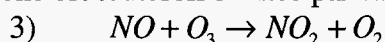
Dans la troposphère, NO₂ est dissocié par les radiations solaires:



De l'ozone est ainsi générée:



Cette production d'ozone est toutefois limitée par sa réaction sur NO fourni par 1).

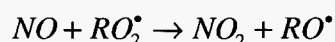
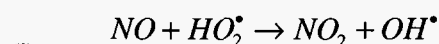


D'autres polluants interviennent:

les COV et le CO se dégradent pour donner naissance à des radicaux HO₂[•] et RO₂[•].



Ces radicaux réagissent sur NO.



Du fait de la consommation de NO par 5), l'ozone produite par la réaction 2) est moins consommée par la réaction 3) ce qui conduit à une augmentation de la concentration en ozone.

Les polluants précurseurs à l'origine de l'ozone sont donc:

- les COVNM
- CH₄
- CO
- NO₂

⇒ Valeurs limites

Recommandations de l'OMS (1992):

Valeur moyenne sur 8 h.: 100 à 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (soit 50 à 60 ppb).

Valeur moyenne sur 1 h.: 150 à 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (soit 75 à 100 ppb).

Seuils définis par la directive 92/72/CEE relative à la pollution de l'air par l'ozone (1992):

- Seuil d'alerte à la population: 360 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (soit 180 ppb, moyenne sur 1 h.) non dépassé en 1993;
- Seuil d'information de la population: 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (soit 90 ppb, moyenne sur 1 h.) dépassé 357 fois en 1993 dans différentes villes de France;
- Seuil pour la protection de la santé: 110 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (soit 55 ppb, sur 8 h.)
- Seuil pour la protection de la végétation:
 - 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (soit 100 ppb, sur 1 h.)
 - 65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (soit 35,5 ppb, sur 24 h.)

⇒ Contribution aux pollutions

L' ozone participe:

- à la pollution photochimique: smogs photochimiques, dégradation des monuments et de certains matériaux, etc.
- à l'effet de serre : avec un pouvoir absorbant estimé 2 000 fois plus élevé que celui du CO_2 .
- à l'effet toxicologique/écotoxicologique:
 - en provoquant des troubles fonctionnels des poumons, des irritations des muqueuses, une diminution de l'endurance à l'effort, etc.
 - en modifiant l'activité photosynthétique des plantes: diminution de la productivité, etc.
- aux pluies acides:
 - En accélérant l'oxydation de SO_2 en SO_3 et des NO_x en NO_3^- qui formeront H_2SO_4 et HNO_3 en réagissant avec l'eau.

⇒ Sources d'émissions

- *Naturelles:*
 - Par arrivée d'ozone stratosphérique
 - Par photolyse de NO_2 et recombinaison d'un atome d'oxygène avec une molécule de O_2 comme vu précédemment
 - À partir de CH_4 , CO (incertitude sur les mécanismes de réaction)
- *Anthropiques:*
 - *Directes:* On l'emploie à la stérilisation des eaux, au blanchiment des textiles et à la synthèse de certaines essences végétales.
 - *Indirectes:* par l'intermédiaire des composés CO , NO_x , COV , d'origine anthropique.

⇒ Puits

- Piégeage par interactions chimiques: - avec les radicaux OH et HO₂
- avec NO, NO₂, ..., en centre ville
- Photolyse directe avec production de O[•]
- Réaction avec les surfaces végétales
- Décomposition thermodynamique catalysée par les surfaces
- Nuages (puits potentiels)

⇒ Estimation des émissions

Émissions en polluants précurseurs: se reporter aux fiches correspondantes.

Concentrations en O₃:

- Dans les atmosphères non polluées, les concentrations en ozone sont généralement comprises entre 20 et 40 ppb, dans les conditions normales.
- Elles excèdent souvent 200 ppb lors de leur maximum journalier dans toutes les grandes villes industrielles d'Europe et ailleurs dans le monde.
- En France, le maximum horaire pour 1993 était de 140 ppb à Compiègne.
- Le record mondial est de 2 600 ppb pour Los Angeles: pour des raisons climatiques, cette zone de Californie est particulièrement favorable à la formation de smogs photo-oxydants.

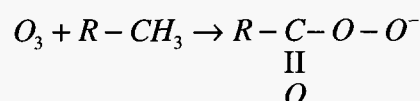
1.13 LES PÉROXY ACETYL NITRATES - PAN -

⇒ *Caractéristiques du polluant*

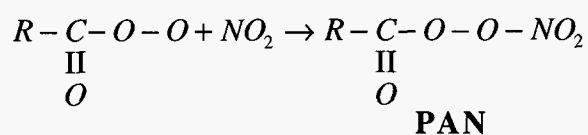
Les PAN sont de redoutables polluants atmosphériques secondaires eu égard à leur haute toxicité. Ils proviennent de transformations chimiques complexes entre plusieurs polluants précurseurs (hydrocarbures, CO, NO_x) sous l'effet du rayonnement solaire.

⇒ *Formation*

Les PAN se forment à partir de la réaction générale suivante:



ou R est un radical aliphatique, aromatique et parfois même hétérocyclique correspondant à un hydrocarbure imbrûlé.



Les polluants précurseurs à l'origine des PAN sont donc:

- les hydrocarbures (dont COVNM, CH₄)
- les NO_x
- l'ozone.

⇒ *Contribution aux pollutions*

Les PAN participent:

- à la pollution photochimique;
- à l'effet de serre;
- à l'effet toxicologique et écotoxicologique:

Ils irritent les yeux.

Ils détruisent les tissus assimilateurs des végétaux provoquant la chute des feuilles.

⇒ *Estimation des émissions*

- *Émissions en polluants précurseurs:* se reporter aux fiches correspondantes.
- *Concentrations en PAN:*
 - Dans les atmosphères les plus pures, la teneur de l'air en PAN n'excède pas en été 0,3 ppb.
 - En Europe, le plus fort maximum a été relevé à Harwell (Angleterre), lors d'un smog photochimique, avec 8,9 ppb.
 - Le record mondial est détenu par Los Angeles, avec 58 ppb.

1.14 LE PLOMB - Pb -

⇒ *Caractéristiques du polluant*

propriétés:

- toxique à effet cumulatif.
- physico-chimiques: inertie chimique face aux acides, forte densité, faible point de fusion, ductilité élevée. $P_f = 327,5^\circ C$ $P_{éb} = 1740^\circ C$

Formes rencontrées:

dans l'atmosphère:

- particules solides
- associé à des aérosols
- sous forme gazeuse: plomb tétraéthyle (PTE) et tétraméthyle (PTM)

dans l'eau:

- formes solubles: acétates, chlorures
- formes insolubles: carbonates, hydroxydes, sulfates (peu solubles)

⇒ *Nature de l'impact*

• toxicologique

- impact hématologique: le Pb est un puissant inhibiteur de la synthèse de l'hémoglobine,
- impact neurologique: troubles du comportement (hyperexcitabilité), baisse du quotient intellectuel, surtout chez l'enfant.

Les fortes intoxications au plomb par longue rétention dans l'organisme se traduisent par une pathologie particulière chez l'homme: *le saturnisme*.

• écotoxicologique

⇒ *Valeurs limites*

Dans l'air:

- Recommandations de l'OMS: 0,5 - 1,0 $\mu g/Nm^3$ sur l'année
- Valeur limite, Directive européenne 03/12/82: 2 $\mu g/Nm^3$ en moyenne annuelle.

Dans l'eau:

Limite de qualité pour la consommation humaine, Décret du 03/01/89: 50 $\mu g/l$.

⇒ **Contribution aux pollutions**

Pollutions toxiques et écotoxiques, dans l'eau et l'air.

⇒ **Sources de rejets**

- | | |
|--------------------------|---|
| <i>naturelles:</i> | - éruptions volcaniques;
- feux de forêt;
- érosion éolienne... |
| <i>anthropogéniques:</i> | - industrie de l'extraction et du traitement des minerais,
- utilisation chimique du Pb: cristallerie, fabrication de batteries, de PTE, etc.,
- combustion du charbon, du pétrole,
- circulation automobile,
- incinération des déchets,
- anciennes peintures. |

⇒ **Estimation des rejets**

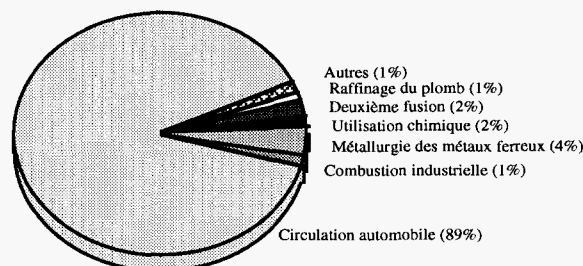
Atmosphériques

- | | | |
|--------------------------|-----------------|------------------------|
| • <i>Mondiaux (1989)</i> | - Naturels: | 12 000 à 19 000 tonnes |
| | - Anthropiques: | 330 000 tonnes |

Sources: (31) (29)

- | | | |
|--------------------------|-----------------|--------------|
| • <i>Français (1989)</i> | - Naturels: | inconnus |
| | - Anthropiques: | 4 800 tonnes |

avec la répartition suivante (9):



Depuis 1989, la pollution atmosphérique par le Pb s'est stabilisée. En particulier, la pollution par la circulation automobile a largement diminuée et ceci grâce à la large diffusion de l'essence sans plomb ainsi qu'à la diminution de la teneur en Pb des carburants. Pour 1991, les estimations des émissions dues au transport avaient déjà chuté de plus de moitié. A l'heure actuelle, les niveaux observés dans les villes restent désormais très faibles et aucun dépassement de la valeur limite européenne n'a été enregistré.

Industriels français (1993)

- | | |
|---------------|-----------|
| • <i>eau:</i> | 13 tonnes |
| • <i>air:</i> | 77 tonnes |

Source: (28)

Seuls sont comptabilisés les rejets ayant des flux $\geq 0,2$ kg/jour. Une mention particulière est à apporter à l'incinération des ordures ménagères qui rejeterait 28 tonnes de Pb par an dans l'atmosphère.

1.15 LES POUSSIÈRES

⇒ *Caractéristiques du polluant*

De nombreuses appellations (particules, aérosols, suies...) sont utilisées pour parler des particules solides, minérales ou organiques entraînées par les fumées. Elles se caractérisent par différents paramètres comme la taille, la forme, la quantité, la nature chimique, la surface spécifique, etc.

⇒ *Valeurs limites*

Recommandations de l'OMS (1992):

Valeur moyenne sur 10-15 min.:	500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Valeur moyenne sur 1 h.:	350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Valeur moyenne journalière :	125 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Valeur moyenne annuelle :	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Valeurs limites définies par la directive 80/779/CEE (1980):

Les niveaux journaliers ne doivent pas excéder 250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ plus de 7 jours par an.
La moitié des niveaux journaliers doit être inférieure à 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

⇒ *Contribution aux pollutions*

Les effets sur l'environnement des poussières sont éminemment variables selon leur composition et, en particulier, la présence ou non de métaux lourds et de composés toxiques, persistants et/ou bio-accumulables.

Les poussières peuvent provoquer des difficultés respiratoires chez les personnes fragiles en synergie avec d'autres polluants, notamment les composés soufrés. Elles sont alors un support d'inhalation pour d'autres produits.

⇒ Sources d'émissions

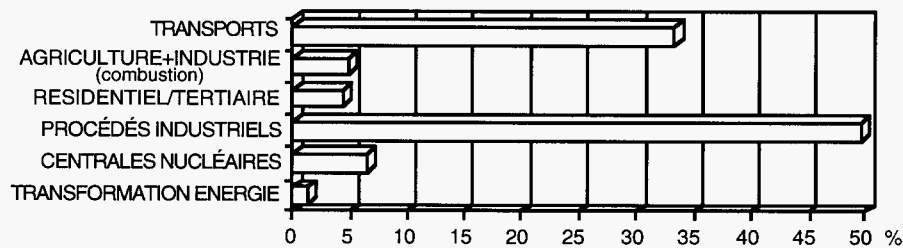
- *Naturelles:* - Volcans, déserts, etc.
- *Anthropiques:*
 - Certains procédés industriels: sidérurgie, fabrication d'engrais, cimenteries, etc.;
 - Le transport;
 - Les installations de combustion dont les incinérateurs d'ordures ménagères: en France, sur 48 établissements produisant plus de 250 tonnes de poussières par an, 8 sont des UIOM responsables d'environ 8% des rejets (28).
 - Le tabagisme.

⇒ Estimation des émissions

Émissions françaises (1990):

- naturelles: non estimées
- anthropiques: 233 000 tonnes/an

Répartition des émissions par secteur (5):



Au niveau de la France, la moitié des poussières sont émises par des procédés industriels alors que le transport participe à 1/3 et les installations de combustion à 1/6 de ces émissions.

1.16 LE PROTOXYDE D'AZOTE - N₂O -

⇒ *Caractéristiques du polluant*

Le protoxyde d'azote ou oxyde nitreux est émis en quantité bien moindre que les monoxydes et dioxydes d'azote. Le phénomène significatif lié à ce polluant est que les émissions anthropiques sont du même ordre de grandeur que les émissions naturelles.

Temps de vie de N₂O dans l'atmosphère: 150 ans.

⇒ *Contribution aux pollutions*

Le protoxyde d'azote participe à:

- l'appauvrissement de la *couche d'ozone stratosphérique* en permettant la formation d'espèces destructrices d'ozone.
- l'augmentation de l'*effet de serre* par piégeage des rayonnements venus du sol.

⇒ *Sources d'émissions*

- *Naturelles:*
 - action des micro-organismes dans les sols et l'eau (en forêt)
 - production par les océans
- *Anthropiques:*
 - utilisation d'engrais
 - industrie chimique et pétrochimique
 - combustion d'énergie fossile

⇒ *Puits*

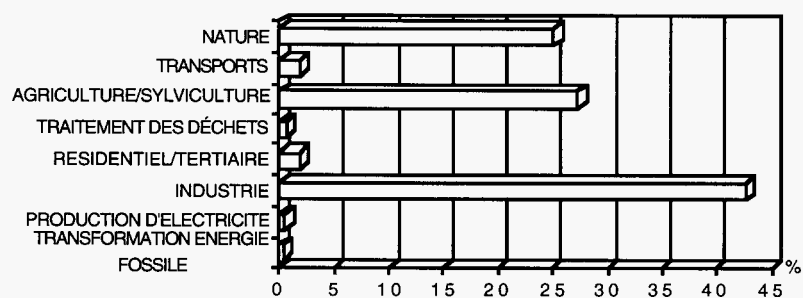
- oxydation de N₂O dans la stratosphère
- décomposition dans les sols

⇒ *Estimation des émissions*

Émissions mondiales (35): - naturelles: 7,2 millions de tonnes/an,
- anthropiques: 5,2 millions de tonnes/an.

Émissions françaises: - naturelles: 56 000 tonnes/an,
- anthropiques: 167 000 tonnes/an.

Répartition par secteur en France (1990)



Source: (5)

CHAPITRE 2. LES POLLUTIONS ÉTUDIÉES

Une première partie définit les règles d'affectation des polluants aux pollutions et présente les méthodes de calcul associées permettant l'estimation de la contribution potentielle des différents secteurs à chaque pollution.

Les pollutions seront ensuite abordées une à une, selon un même plan par souci de lisibilité:

- présentation générale
- mécanisme, effets
- polluants concernés
- contribution des secteurs pour la France
- ce qu'il faut retenir de la pollution

2.1 RÈGLES D'AFFECTION DES POLLUANTS AUX POLLUTIONS

Afin d'établir des règles d'affectation des polluants aux pollutions, il faut tenir compte du fait que la plupart des pollutions sont engendrées par plusieurs polluants. Par ailleurs, un même système peut être émetteur de polluants participants à plusieurs pollutions.

Afin que la corrélation entre le taux de polluants émis par un système et son taux de participation à une pollution soit établie, il faut arriver à évaluer la responsabilité propre à chacun des polluants. Ceci devient possible si pour chaque pollution, on définit une grille de valeurs relatives associées à chaque polluant intervenant. Pour certaines pollutions, nous disposons de travaux scientifiques qui proposent des règles d'affectation. Pour les autres pollutions, nous devons tenter d'élaborer ces règles.

2.1.1 L'effet de serre

2.1.1.1 Outil: le Global Warming Potential (GWP)

Afin de comparer les participations de différents gaz à l'effet de serre, nous avons utilisé le GWP (Global Warming Potential) ou potentiel de réchauffement global. Celui-ci est défini comme étant l'intégration, sur un laps de temps donné, du "forçage radiatif" (augmentation ou diminution de l'échange d'énergie par rayonnement) généré par un kilogramme de gaz, injecté instantanément dans l'atmosphère. Il est exprimé relativement à celui du CO₂, conventionnellement pris égal à 1.

$$GWP = \frac{\int_0^T A_i(t) C_i(t) dt}{\int_0^T A_{CO_2}(t) C_{CO_2}(t) dt}$$

C_i = Concentration du gaz i , restant au temps t , après son émission.

A_i = Forçage radiatif instantané dû à une augmentation d'une unité de la concentration du gaz i

Les différentes valeurs de GWP, telles que définies par l'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) sont données ci-après:

Tableau 5: Valeurs de GWP

Gaz à effet de serre	GWP		
	20 ans	100 ans	500 ans
CO ₂	1	1	1
CH ₄	35	11	4
N ₂ O	260	270	170
CFC ⁴	6700	6275	5260

source: (27)

⁴Le GWP des CFC utilisé est la moyenne des GWP des CFC11, 12, 13 et de HCFC 22.

On observe que le GWP varie en fonction de l'échelle de temps. Le choix de cette échelle est fonction du problème que l'on aborde. Compte tenu de la relative évolution dans le temps des productions industrielles et des systèmes de traitement des déchets, nous avons opté pour un période d'intégration de 20 ans.

2.1.1.2 Calculs

L'agrégation des impacts des différents polluants se fait en additionnant, pour chaque secteur d'activité, les émissions anthropogènes de ces polluants pondérées par le GWP correspondant. Les émissions anthropogéniques par secteur et par polluant sont données dans le tableau 6 qui suit. Les GWP associés à chaque polluant sont donnés dans la deuxième colonne du tableau 5. Les résultats des calculs sont présentés dans le tableau 7. Un exemple de calcul est donné en annexe 1.

Tableau 6: Émissions annuelles nationales de gaz à effet de serre par secteur (1990)

SECTEURS	CO ₂	CH ₄	CFC	N ₂ O
Production d'énergie	58 700 000	317 300	-	1 700
Industrie	74 300 000	5 900	32 000	94 900
Résidentiel & Tertiaire	118 100 000	150 300	7 500	4 000
Traitement des déchets	13 200 000	739 500	10 000	1 300
Agriculture	7 400 000	1 611 200	-	60 800
Transport	101 300 000	22 900	373,35	4 200
Total émissions annuelles anthropiques (tonnes/an)	372 900 000	2 847 100	50 373,35	166 900

Sources: (5) (37)

2.1.1.3 Résultats

Ainsi, si l'on ne considère que l'effet de serre dû aux émissions anthropogènes, tout en se limitant aux gaz pour lesquels nous avons les valeurs du GWP et les données d'émission, la participation des différents secteurs se résume de la façon suivante:

Tableau 7: Contribution des différents secteurs à l'effet de serre anthropogène.

Secteurs d'activité	Production d'énergie	Résidentiel -tertiaire	Transport	Industrie	Agriculture	Traitement des déchets
Contribution relative (%)	8,3	20,5	12,4	36,9	9,4	12,5

2.1.1.4 Limites

Cette approche a des limites. En effet, il faut remarquer que les GWP utilisés ne prennent pas en compte les effets indirects des gaz à effet de serre et ne sont pas disponibles pour tout les gaz à effet de serre direct. C'est ainsi que les GWP sont calculés en moyenne globale et ne concernent donc pas les gaz ayant une action locale comme le CO, les COV, les NO_x ou bien encore l'ozone troposphérique. Il faut enfin signaler qu'il n'existe pas aujourd'hui de consensus au niveau de tous les experts sur ces coefficients.

Concernant plus spécifiquement les CFC, les données d'émission ne sont connues qu'approximativement et globalement et il n'est donc pas possible d'utiliser les valeurs de GWP données pour chaque catégorie de CFC. Nous avons donc utilisé une valeur moyenne de GWP.

Enfin, nous n'avons pas pu distinguer le CO₂ provenant de la combustion de matières fossiles du CO₂ globalement émis en France. Or, c'est ce CO₂ d'origine fossile qu'il faudrait prendre en compte afin d'estimer plus précisément l'effet de serre anthropogénique.

2.1.2 L'appauvrissement de la couche d'ozone stratosphérique

Le manque de données détaillées concernant les différentes catégories de CFC ne permet pas une estimation utilisant un outil de pondération.

Toutefois, à titre d'information et en prévision de données plus précises ultérieurement fournies, nous présentons un outil: l'ODP (**Ozone dépletion Potential**) proposé par la SETAC⁵. L'ODP d'une substance gazeuse est l'effet sur l'ozone stratosphérique de l'émission d'un kilogramme de cette substance par rapport au Fréon (CFC 11).

Tableau 8: Valeur des facteurs ODP

SUBSTANCES	FACTEURS ODP	SUBSTANCES	FACTEURS ODP
CFC 11	1	Halon 2402	6,0
CFC 12	1,0	HCFC 22	0,055
CFC 113	0,8	HCFC 123	0,05
CFC 114	1,0	HCFC 124	0,05
CFC 115	0,6	HCFC 124 b	0,1
Halon 1211	3,0	HCFC 142	0,06
Halon 1301	10,0	CCl 4	1,1

D'autres substances comme N₂O et CH₄ interviennent dans la destruction de l'ozone stratosphérique mais à l'heure actuelle, il est impossible de les intégrer au calcul. A cause de phénomènes d'antagonisme, leur ODP varie en fonction de la présence de certaines substances (43).

2.1.3 La pollution photochimique

2.1.3.1 Outil: Le Potentiel de Création d'oxydant photochimique (PCOP)

Le PCOP (Potentiel de Création d'Oxydants Photochimiques) est basé sur les résultats de modèles. C'est un paramètre relatif qui utilise l'éthylène (C₂H₄) comme référence: il exprime, pour une substance, la masse nécessaire pour former autant d'oxydants photochimiques qu'une unité de masse d'éthylène. Ainsi, les émissions atmosphériques (en kg) peuvent être converties en "émissions équivalent-éthylène" (en kg) par la formule suivante (25):

$$\text{Formation d'oxydant (kg)} = \sum_i (\text{PCOP}_i \times \text{émissions de } i \text{ (kg)})$$

⁵SETAC: Society of environmental toxicology and chemistry-Europe. *Life cycle assessment: inventory, classification, valuation, data bases*. Leiden(The Netherlands): Workshop report, December, 1991,146 p.

Le PCOP est associé essentiellement aux COVNM, au CH₄ et aux NO_x.

- Pour les COVNM, les données d'émissions proposées par le CITEPA ne sont pas disponibles par familles (alcanes, alcools, esters, etc.) comme indiqué dans la définition des PCOP des COVNM. Une étude est en cours et la formulation de ces données reste encore à définir. Une moyenne des PCOP sera donc utilisée pour les COVNM.
- Pour le PCOP associé aux NO_x, on part de l'hypothèse, qu'à priori, toute augmentation des émissions de COV provoque une augmentation de la concentration en ozone alors qu'une augmentation des émissions de NO_x n'a pas toujours la même influence sur la concentration en ozone (10). La définition d'un PCOP pour les NO_x ne semble donc pas évidente. Cette valeur est d'ailleurs en discussion et non accessible à l'heure actuelle.

Afin de pouvoir tout de même esquisser une comparaison quant à la participation des différents secteurs d'activités à la pollution photochimique, nous avons donc dû faire trois hypothèses arbitraires de valeur de PCOP associée aux NO_x.

Tableau 9: Définition des hypothèses du PCOP (NO_x)

Hypothèse 1 BASSE	Hypothèse 2 MOYENNE	Hypothèse 3 HAUTE
PCOP (NO _x) = 0,001	PCOP (NO _x) = 0,53	PCOP (NO _x) = 1,059
correspondant au plus faible des PCOP trouvé dans les tables	valeur moyenne des PCOP trouvés dans les tables	correspondant au plus élevé des PCOP trouvés dans les tables

Les PCOP utilisés seront donc les moyennes suivantes:

Tableau 10: Hypothèses générales de PCOP

POLLUANTS	Hyp. 1	Hyp. 2	Hyp. 3
COV non méthaniques	0,416	0,416	0,416
CH ₄	0,007	0,007	0,007
NO _x	0,001	0,53	1,059

2.1.3.2 Calculs

En pondérant les émissions de chaque gaz par leur PCOP respectif, on obtient les pourcentages de contribution des différents secteurs émetteurs à la formation d'oxydants photochimiques selon les trois hypothèses: basse, moyenne et haute. Les émissions par secteur et par polluant sont données dans le tableau 11, page suivante. Les trois hypothèses de PCOP associés à chaque polluant sont donnés dans le tableau 10, ci-dessus. Les résultats des calculs sont présentés dans le tableau 12. Un exemple de calcul similaire (appliqué à l'effet de serre) est donné en annexe 1.

Tableau 11: Émissions annuelles françaises pour 1990

SECTEURS	COVNM	CH ₄	NO _x
Production d'énergie	142 000	317 300	152 000
Industrie	611 900	5 900	149 500
Résidentiel & Tertiaire	396 300	150 300	100 000
Traitement des déchets	20 500	739 500	23 900
Agriculture	45 800	1 611 200	70 100
Transport	1 187 100	22 900	1 089 100
Nature	461 800	191 100	5 500
TOTAL émissions annuelles nationales (tonnes)	2 865 500	3 038 200	1 590 100

Source: (5)

2.1.3.3 Résultats

En pondérant les émissions de chaque gaz par leur PCOP respectif (tout en considérant les 3 hypothèses de PCOP associé aux NO_x), on obtient les pourcentages de contribution à la pollution photochimique des différents secteurs émetteurs:

Tableau 12: Contribution des différents secteurs à la pollution photochimique selon les trois hypothèses

SECTEURS ÉMETTEURS	CONTRIBUTION RELATIVE (%)			
	Hyp. 1	Hyp. 2	Hyp. 3	$\bar{M}(\text{hypothèses})$
Transports	40,8	52,1	56,9	50 %
Industrie	21,0	16,2	14,3	17 %
Nature	15,9	9,6	6,9	11 %
Résidentiel/Tertiaire	13,7	10,6	9,4	11 %
Agriculture/Sylviculture	2,5	3,3	3,6	3 %
production d'énergie	5,1	6,9	7,7	7 %
Traitement des déchets	1,1	1,3	1,3	1 %
TOTAL	100	100	100	100 %

Dans la suite du rapport, on considérera la moyenne de ces hypothèses pour chaque secteur émetteur. Ces moyennes sont données dans la dernière colonne du tableau 12, ci-dessus.

2.1.4 La pollution acide

L'unité commune utilisée pour exprimer cette forme de pollution est le pouvoir d'acidification. Les données sont obtenues en utilisant un outil de pondération pour chaque émission de gaz.

2.1.4.1 Outil: Acidification potentiel (AP)

Ce paramètre relatif utilise le dioxyde de soufre (SO₂) comme référence: il exprime, pour une substance, la masse nécessaire pour donner autant d'ions H₃O⁺ qu'une unité de masse de dioxyde de soufre. Ainsi, les émissions atmosphériques (en kg) peuvent être converties en pouvoir d'acidification (en kg) par la formule suivante (25):

$$\text{Acidification (kg)} = \sum_i (\text{AP}_i \times \text{émissions de } i \text{ (kg)})$$

Les différentes valeurs de AP sont données ci-après:

tableau 13: valeurs des facteurs AP

Polluants	SO ₂	NO _x	HCl
AP (kg.kg ⁻¹)	1	0,70	0,88

2.1.4.2 Calculs

Pour chaque secteur émetteur, la contribution des divers polluants impliqués se fait en additionnant les émissions de ceux-ci pondérées par leur AP respectif. Les émissions par secteur et par polluant sont données dans le tableau 14, ci-dessous. Les AP associés à chaque polluant sont donnés dans le tableau 13, ci-dessus. Une fois ce calcul fait pour tous les secteurs mis en jeu, on peut ensuite calculer une répartition sectorielle exprimée en pourcentage. Les résultats des calculs sont présentés dans le tableau 15. Un exemple de calcul similaire (appliqué à l'effet de serre) est donnée en annexe 1.

Tableau 14: Émissions annuelles de polluants acidifiants en France

Polluants (tonnes/an)	SO ₂	NO _x	HCl
Production d'énergie	543 000	152 000	40 000
Industrie	400 000	149 500	négligeable
Résidentiel-tertiaire	166 500	100 000	négligeable
Traitement des déchets	19 200	23 900	35 000
Agriculture	14 300	70 100	0
Nature	2 500	5 500	0
Transport	155 000	1 089 100	négligeable
TOTAL émissions annuelles nationales (tonnes)	1 300 400	1 590 100	75 000
Sources:	(5)		(18)

2.1.4.3 Résultats

Le calcul des émissions acidifiantes pondérées par leur AP respectif conduit à la répartition sectorielles suivante:

Tableau 15: Contribution des différents secteurs à la pollution acide

Secteurs émetteurs	Production d'énergie	Industrie	Résidentiel tertiaire	Traitement des déchets	Agriculture	Nature	Transport
Participation relative (%)	27,50	20,50	9,50	2,75	2,50	0,25	37

2.1.4.4 Limites

Il faut tout de même émettre des réserves par rapport à ces chiffres de participation à la pollution acide.

La pollution acide étant une pollution régionale, le lieu d'émission et le transport potentiel des polluants ont beaucoup d'importance quant à l'impact réel. Ceci n'est pas du tout pris en compte dans notre évaluation.

Par ailleurs, cette méthode ne prend pas en compte la stabilité des molécules, ni la force des acides mis en jeu.

Une fois encore, il s'agit bien d'une première approche de la quantité de charge polluante acide et non pas d'une part de responsabilité à attribuer à chacun.

2.1.5 L'eutrophisation

L'impact d'eutrophisation d'un rejet dépend de la sensibilité des milieux récepteurs sollicités, au cas par cas. L'objectif est ici d'évaluer le potentiel d'eutrophisation des rejets produits par chaque activité.

S'agissant d'un phénomène biologique très complexe, il est difficile de trouver un paramètre caractérisant le potentiel d'eutrophisation d'un rejet. Certains auteurs proposent de considérer les concentrations en nutriments dans le milieu: concentration en nitrate ou/et en phosphate, le phosphore étant généralement un facteur plus limitant que l'azote (48) (44). D'autres auteurs proposent de considérer la Demande Chimique en Oxygène (DCO) associée au rapport massique N/P du rejet par exemple (43).

Nous avons considéré les rejets en phosphate pour lesquels les données sont les plus complètes. Ces données sont rassemblées dans le tableau 16 suivant:

Tableau 16: Pollution par les phosphates en France pour la période 1985-1990

Origine	Tonnages mis en jeu (tonnes Phosphore/an)	% transféré	Quantités déversées	
			(tonnes Phosphore/an)	%
agricole				
- élevage	240 000	10	24 000	17,5
- engrais	620 000	1	6 200	4,5
industrielle	40 000	<100	<40 000	<29
domestique				
- métabolisme	32 000	>90	>28 000	>21
- détergents	42 000	>90	>37 000	>27
Total	974 000	-	135 000	100

Source: (7)

En outre, les phosphates sont reconnus par l'OCDE comme les principaux responsables de l'eutrophisation des eaux continentales, les nitrates, ne présentant qu'une responsabilité secondaire du fait, d'une part, de leur grande mobilité dans les sols et d'autre part de l'existence d'un plancton capable de se développer sans azote dans l'eau⁶. Remarquons finalement que les rejets considérés sont estimés à l'échelle nationale. L'estimation ne tient donc pas compte de la localisation des centres "émetteurs" et des caractéristiques du milieu récepteur, facteurs importants pour une pollution locale telle que l'eutrophisation.

⁶Dans la cellule algale, le rapport N/P est, grosso modo, compris entre 7 et 10. Toute eau caractérisée par N/P > 10 fait du phosphore le facteur limitant de croissance algale, alors que si N/P < 7, c'est l'azote qui limite le développement. Toutefois, même si des apports croissants de phosphore font que l'azote devient facteur limitant, l'apparition des cyanophycées capables de fixer l'azote de l'air induit tout de même une continuation du phénomène d'eutrophisation.

2.1.6 La pollution toxique de l'air

2.1.6.1 Outil: Human toxicological Classification factor for the Air (HCA)

La pollution peut entraîner des troubles de la santé chez l'homme. Le HCA permet un classement des polluants au regard de cet effet. Pour chaque polluant, on exprime un facteur qui prend en compte:

- la dose journalière tolérable
- la dose journalière acceptable
- la concentration tolérable dans l'air
- le seuil de risque maximum tolérable

Ainsi, les émissions atmosphériques (en kg) peuvent être converties en toxicité humaine (en kg) par la formule suivante (25):

$$\text{toxicité humaine (kg)} = \sum_i (\text{HCA}_i (\text{kg.kg}^{-1}) \times \text{émissions de } i (\text{kg}))$$

Le HCA est donné pour un grand nombre de polluants. Nous avons limité notre calcul à 11 polluants compte tenu des données disponibles. Nous donnons leur valeur de HCA dans le tableau 17 qui suit.

Tableau 17: Valeurs des facteurs HCA

	SO ₂	NO _x	CO	PCDD/F	Cr	Cu	Pb	Ni	Zn	Cd	Hg
HCA (kg.kg ⁻¹)	1,2	0,78	0,012	3300000	6,7	0,24	160	470	0,033	580	120

2.1.6.2 Calculs

Pour chaque secteur émetteur, la contribution des divers polluants impliqués se fait en additionnant les émissions de ceux-ci pondérées par leur HCA respectif. Les émissions par secteur et par polluant sont données dans le tableau 18. Les HCA associés à chaque polluant sont donnés dans le tableau 17, ci-dessus. Une fois ce calcul fait pour tous les secteurs mis en jeu, on peut ensuite calculer une répartition sectorielle exprimée en pourcentage. Les résultats des calculs sont présentés dans le tableau 19, page suivante. Un exemple de calcul similaire (appliqué à l'effet de serre) est donnée en annexe 1.

Tableau 18: Emissions annuelles par secteur des polluants toxiques de l'air en France

	(10 ³ Tonnes/an)			(g I-TEQ/an)	(Tonnes/an)						
	SO ₂	NO _x	CO	PCDD/F	Cr	Cu	Pb	Ni	Zn	Cd	Hg
(S1)	543	122	563		5	8	10	2	40	1	5
(S2)	400	149	712	10	530	438	509	715	774	6	5
(S3)	166	100	2201		16	32	22	143	23		
(S4)	19	24	232	1220	1	2	39	1	34	5	11
(S5)	14	70	174		0	0	0	0	0		
(S6)	155	1089	6853	16	0	0	3731	0	0		
Total	1300	1550	10735	1250	552	480	4311	861	871	12	21
sources	(5)			(11)	(9)					(16)	(17)

(S1): production d'énergie
 (S3): résidentiel/tertiaire
 (S5): agriculture/sylviculture

(S2): industrie
 (S4): traitement des déchets
 (S6): transport

2.1.6.3 Résultats

Le calcul des émissions à caractère toxique pondérées par leur HCA respectif conduit à la répartition sectorielles suivante:

Tableau 19: Contribution des différents secteurs à la pollution toxique de l'air

Production d'énergie	Industrie	Résidentiel Tertiaire	Traitement des déchets	Agriculture sylviculture	Transport
19%	25,7%	9,3%	1,5%	1,8%	42,7%

2.1.6.4 Limites

Plusieurs raisons nous conduisent à émettre des réserves quant à la validité de cette répartition:

- La pollution toxique est essentiellement une pollution locale et à ce titre elle est directement liée au milieu récepteur et à la localisation des centres polluants. Notre étude n'en tient pas compte. L'exemple de l'agriculture illustre ce problème: sa participation à la pollution toxique est évaluée à 1,8% or les émissions de ce secteur sont très diffusées d'un point de vue géographique. Il semble donc discutable qu'il y ait des effets toxiques du fait de la faible concentration des polluants émis.

- Pour certains polluants tels que le cadmium et les dioxines, les estimations sont partielles. Certaines sources ne sont pas évaluées.

- Enfin, la pollution toxique est due à de nombreux autres polluants que ceux pris en compte ici.

2.1.7 La pollution toxique de l'eau

L'impact réel des flux de pollution toxique dépend de la sensibilité des milieux récepteurs sollicités, au cas par cas. Une globalisation de l'impact au niveau national et par là l'évaluation de la participation de chaque activité à la pollution toxique des eaux semble alors être dénuée de sens. Nous nous sommes donc fixé pour objectif d'évaluer la quantité potentielle de pollution toxique des eaux pour les rejets liés à chaque activité.

2.1.7.1 Outil: les Matières Inhibitrices (MI)

Nous disposons pour quantifier la pollution toxique de l'eau des données de matières inhibitrices (MI) exprimées en équitox par jour. Ce paramètre est déterminé par le "test daphnie" et mesure la concentration pour laquelle la moitié d'une population de daphnies est immobilisée et considérée comme morte par intoxication chimique.

Le nombre d'équitox par m³ est le taux de dilution nécessaire pour obtenir une concentration égale à 1 équitox/m³. Plus l'équitox est élevé, plus l'effluent est toxique vis-à-vis des daphnies.

2.1.7.2 Calculs

Tableau 20: Rejet annuels nationaux de Matières Inhibitrices par secteur d'activité

SECTEUR	POLLUTION TOXIQUE (en Kéquitox / j)	Année considérée
Production d'énergie	186	1992
Industrie	34 149	1992
Traitement des déchets	715	1993 à 1995
Domestique	11 410	1991
TOTAL	46 460	

Les rejets domestiques résultent d'usages de substances toxiques par la population française. Cette pollution est évaluée en utilisant d'une part l'équivalent habitant en matières inhibitrices: 0,2 équitox / hab / j (arrêté du 19/12/91) et d'autre part l'estimation de la population française en 1991.

Les données de rejets des secteurs industrie et production d'énergie proviennent d'un dossier du Ministère de l'Environnement (22). Quant au secteur du traitement des déchets, il s'agit d'estimations issues de nos propres calculs (voir annexe 3).

2.1.7.3 Résultats

Le tableau 21 présente les pourcentages de contribution calculés à partir des données du tableau 20, ci-dessus.

Tableau 21: Contribution des différents secteurs à la pollution toxique de l'eau

Secteurs émetteurs	Production d'énergie	Industrie	Domestique	Traitement des déchets
Participation relative (%)	0,4	73,5	24,6	1,5

2.1.7.4 Limites

L'utilisation du paramètre MI présente deux inconvénients pour notre étude. D'un part, il ne caractérise que la toxicité aiguë d'un effluent et ignore de ce fait la toxicité chronique à long terme. D'autre part, il résulte d'un test monospécifique, or une approche globale de la toxicité exigerait l'utilisation de tests multiples.

La pollution exprimée ne correspond pas à la pollution effectivement rejetée au milieu naturel. Elle ne tient en effet pas compte de l'épuration éventuelle réalisée par les stations d'épuration. Il est vrai que ces stations n'ont pas vocation à traiter ce type de pollution et on pourrait penser leur rendement d'épuration faible, mais il est néanmoins improbable que n'interviennent pas des phénomènes de dépollution ou de transfert de pollution (transfert de métaux lourds vers les boues, ...).

Pour les secteurs de l'industrie et de la production d'énergie, les données sont exprimées en pollution nette. C'est la pollution rejetée au milieu naturel pour les industries isolées, ou rejetée au réseau d'assainissement public pour les industries raccordées. Elles ne concernent que les industriels redevables des taxes.

Enfin, la pollution par infiltration qui peut atteindre les nappes phréatiques et par là dégrader les eaux potables reste encore à quantifier. Il s'agit, entre autres, de la pollution due à l'agriculture (pesticides, engrais), ou à la circulation routière (hydrocarbures solubles, chlorures et plomb).

2.2. POLLUTIONS PLANÉTAIRES

On classe dans cette catégorie les phénomènes présentés comme des perturbations à moyen ou à long terme des grands mécanismes de fonctionnement de la planète. Au-delà de leur grande médiatisation, ces pollutions sont caractérisées par le fait qu'elles sont encore mal connues et sujettes à querelles d'experts.

Nous aborderons dans le cadre de cette étude l'effet de serre et l'appauvrissement de la couche d'ozone stratosphérique.

2.2.1 L'EFFET DE SERRE

2.2.1.1. PRÉSENTATION

Il faut en préambule rappeler que l'effet de serre est un phénomène naturel. Sans lui la température moyenne à la surface du globe chuterait à -18°C au lieu des 15°C actuels, car les gaz "à effet de serre" de l'atmosphère agissent comme la vitre d'une serre. Ils laissent passer l'énergie lumineuse du soleil, mais bloquent une partie de la chaleur (rayonnement infrarouge) réémise par la planète.

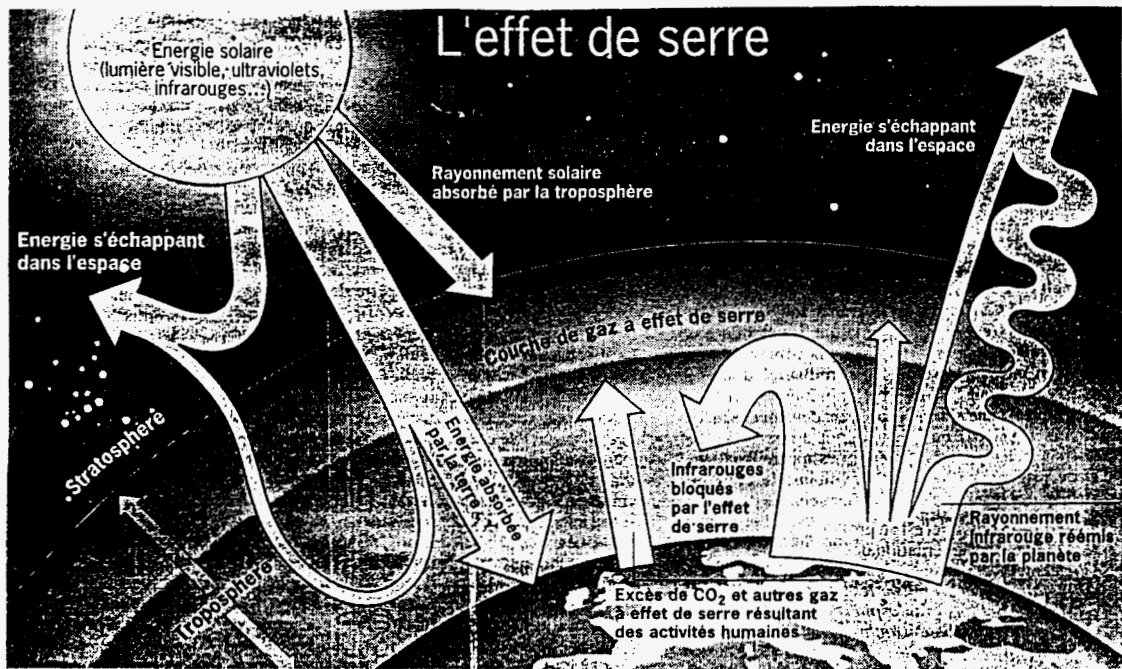
Cependant, depuis le XIX^e siècle, on observe une augmentation de la concentration dans l'air des principaux gaz à effet de serre en raison du développement des activités humaines et il semble que nous soyons sous la menace de changements climatiques dues à un réchauffement avec certaines conséquences défavorables (élévation du niveau des mers, diminution des ressources en eau, etc.).

2.2.1.2. MÉCANISME

2.2.1.2.1 Schéma de principe

L'effet de serre est le phénomène par lequel l'atmosphère piège, par l'intermédiaire des gaz à effet de serre qui la composent, les radiations émises par la terre. La figure suivante en montre le principe:

Figure 2: Schéma de principe de l'effet de serre



2.2.1.2.2 Mécanisme

Une part du rayonnement solaire est diffusée par les nuages (30%), une autre est absorbée directement par l'atmosphère (principalement les rayons X et ultraviolets par l'ozone, l'azote et l'oxygène) et une troisième part, environ 50% du rayonnement initial, atteint le sol.

Ce dernier absorbe et émet un rayonnement dans le domaine de l'infrarouge en direction de l'espace, rayonnement dont une partie (85%) est piégée par les gaz à effet de serre présents dans l'atmosphère. Il en résulte une élévation de température de la troposphère. Cet effet dépend de la concentration moyenne en gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Si celle-ci change, le bilan radiatif et par conséquent le climat terrestre risque d'être modifié, une concentration croissante entraînant une augmentation de température et inversement.

2.2.1.2.3 Conséquences

- Réchauffement du climat:

On a constaté depuis 135 ans une augmentation d'environ 0,5°C de la température moyenne de l'atmosphère, qui pourrait être soit naturelle et due à des facteurs astronomiques soit la conséquence de l'accroissement de la concentration des gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Dans l'hypothèse où cette tendance se confirmerait, les scientifiques prévoient tous un réchauffement pour le siècle prochain même s'ils ne sont pas d'accord sur le moment et l'ampleur du phénomène.

Selon la synthèse des différents modèles existants, un réchauffement de 1,5 à 4,5°C surviendrait d'ici l'an 3 000, celui-ci devant "*surtout affecter les régions polaires nord*" (45).

- Conséquences de la hausse de température:

Si l'hypothèse du réchauffement est quasi unanimement acceptée, il subsiste de grandes incertitudes en ce qui concerne les répercussions réelles et le "calendrier" prévisible. Cependant, plusieurs hypothèses, tenant plutôt du scénario catastrophe, pourraient être redoutables (19):

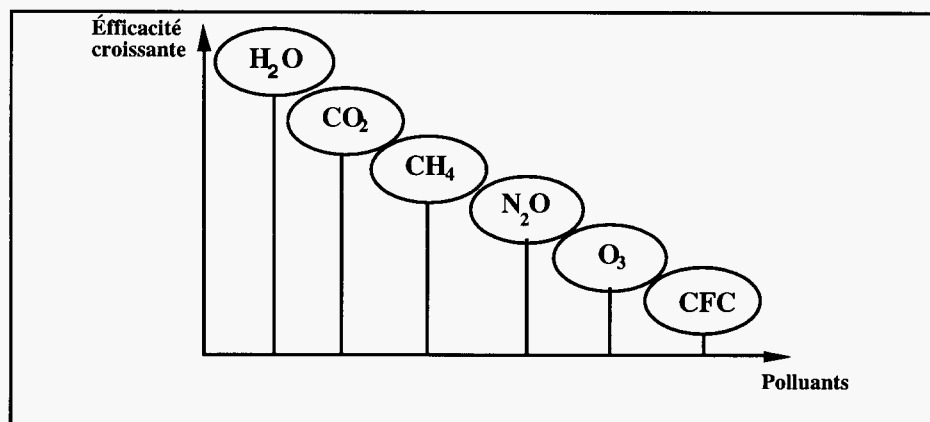
- montée du niveau des mers, de 30 à 60 cm selon les modèles d'ici 2050, principalement par dilatation des océans sous l'effet de la chaleur,
- immersion de certaines zones côtières engendrant des déplacements de population,
- diminution des ressources en eau et accroissement de la salinité des sols et des eaux souterraines,
- déplacements des zones climatiques de plusieurs centaines de kilomètres de l'équateur vers les pôles, entraînant l'extinction d'espèces végétales et animales,
- augmentation de la fréquence et de l'ampleur des catastrophes naturelles (tempêtes, inondations, incendies, sécheresses...), etc.

2.2.1.3. GAZ CONCERNÉS

2.2.1.3.1 Présentation et caractéristiques

Les principaux gaz impliqués dans l'effet de serre sont la vapeur d'eau, le gaz carbonique, le méthane, le protoxyde d'azote, l'ozone troposphérique et les hydrocarbures fluorés. L'efficacité par rapport à cette pollution est propre à chacun de ces gaz ce qui est illustré par la figure suivante.

Figure 3: Comparaison de l'efficacité des gaz à effet de serre



La vapeur d'eau est le gaz à effet de serre prépondérant. Elle contribue à 97% de l'effet de serre, le CO₂ à 2%, les autres gaz au reste. Les gaz anthropogéniques apparaissent donc comme peu importants par rapport aux gaz d'origine naturelle (30).

Cette responsabilité inégale des différents gaz quant à l'effet de serre anthropogène tient à trois paramètres:

- ⇒ leur durée de vie dans l'atmosphère;
- ⇒ la capacité de chaque gaz à absorber la chaleur;
- ⇒ leur concentration dans l'atmosphère et donc le tonnage des émissions anthropogènes pour chaque gaz.

En effet, certains de ces gaz ont une durée de vie très longue dans l'atmosphère. Elle peut aller d'une dizaine d'années pour le méthane à 400 ans pour le CFC 15.

Pour stabiliser leur concentration dans l'atmosphère, il ne suffit donc pas de stabiliser les émissions, il faut les réduire de manière conséquente.

Ces gaz ont aussi une capacité différente à absorber la chaleur. Celle-ci peut en effet varier sur une période de 20 ans, de 1 (CO₂) à 7100 (CFC 12).

Ainsi, bien que le CO₂ soit le gaz le moins efficace par kg émis pour piéger la chaleur, sa contribution au réchauffement global se révèle la plus forte du fait de l'ampleur de ses émissions.

Les polluants classiques (CO, NO_x et hydrocarbures) ont également leur part de responsabilité. Ils ont une action indirecte sur l'effet de serre dans la mesure où ils favorisent la formation de gaz à effet de serre "direct" ou influencent le maintien de ces gaz dans l'atmosphère.

Ainsi, le CO contribue-t-il au maintien prolongé des molécules de méthane dans l'atmosphère, sans compter qu'il termine sa vie en se transformant en CO₂. Les NO_x et les hydrocarbures, quant à eux, forment l'ozone troposphérique qui est lui même un gaz à effet de serre.

L'efficacité de ces gaz sur le réchauffement du climat est toutefois encore assez mal connue.

2.2.1.3.2 Estimation des émissions nationales

Le tableau suivant présente les émissions annuelles nationales de quatre gaz à effet de serre (CO₂, CH₄, CFC, N₂O). Ces émissions sont données par secteur d'activité émetteur.

Tableau 22: Émissions annuelles anthropogéniques françaises de gaz à effet de serre

SECTEURS	CO ₂	CH ₄	CFC	N ₂ O
Production d'énergie	58 700 000	317 300	-	1 700
Industrie	74 300 000	5 900	32 000	94 900
Résidentiel & Tertiaire	118 100 000	150 300	7 500	4 000
Traitement des déchets	13 200 000	739 500	10 000	1 300
Agriculture	7 400 000	1 611 200	-	60 800
Transport	101 300 000	22 900	373	4 200
Total émissions annuelles anthropiques (tonnes)	372 900 000	2 847 100	50 373	166 900

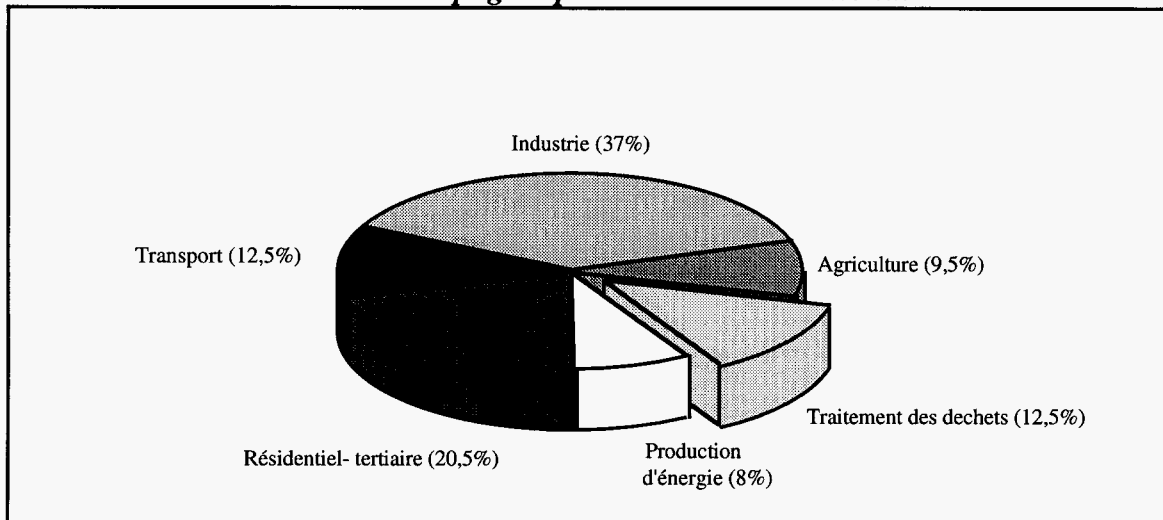
Sources: (5) (37)

2.2.1.4. CONTRIBUTION DE CHAQUE SECTEUR AU NIVEAU NATIONAL

Si l'on ne considère que les émissions anthropogènes de gaz à effet de serre direct, nous pouvons estimer la contribution relative des différents secteurs d'activité en France.

L'outil utilisé pour les calculs est le GWP (Global Warming Potential) et les polluants pris en compte sont: CO₂, CH₄, N₂O et les CFC. Les calculs sont donnés et commentés dans la section 2.1.1 du chapitre 2 page 43.

Figure 4: Contribution de chaque secteur à l'effet de serre anthropogénique au niveau national



⇒ *L'industrie : une part importante*

Ce sont surtout les émissions de CFC ainsi que les émissions de CO₂ dues à la combustion qui donnent la première place au secteur de l'industrie.

⇒ *Le résidentiel-tertiaire*

Le chauffage urbain (émissions de CO₂) et l'activité des ménages (CFC dans les aérosols, les mousses et plastiques, ...) placent le secteur résidentiel-tertiaire en deuxième position quant à la participation à l'effet de serre anthropogène.

⇒ *Le traitement des déchets*

Pour le secteur du traitement des déchets c'est principalement la mise en décharge qui contribue à l'effet de serre par les émissions de méthane dues aux déchets putrescibles ainsi que la mise au rebut de déchets contenant des CFC tels que les réfrigérateurs, congélateurs ou mousses d'isolation.

⇒ *Le transport*

Le transport et en particulier le transport routier, de par sa participation non négligeable aux émissions anthropogéniques de CO₂ en France (27%), est le quatrième secteur participant le plus à l'effet de serre anthropogène.

⇒ *L'agriculture*

Il s'agit principalement des émissions de CH₄, due à la fermentation intestinale du cheptel bovin et aux déjections porcines. Les nitrates contenus dans les sols peuvent donner lieu à des émissions de N₂O importantes.

2.2.1.5 CE QU'IL FAUT RETENIR

L'effet de serre

Pollution planétaire

Il s'agit du piégeage par les gaz à effet de serre des rayonnements solaires réémis par le sol.

⇒ **Polluants mis en cause**

- **Polluants à effet de serre direct**
 - **H₂O** vapeur
 - **CO₂**
 - **CH₄**
 - **CFC et dérivés**
 - **N₂O**
 - **O₃**
- **Polluants à effet de serre indirect**
 - **CO, NO_x, hydrocarbures**
 - favorisent la formation de gaz à effet de serre direct
 - influencent le maintien de ces gaz dans l'atmosphère

⇒ **Les effets envisageables**

- réchauffement du climat
- conséquence de la hausse de température:
 - montée du niveau des mers
 - déplacement des zones climatiques
 - diminution des ressources en eau
 - augmentation de la fréquence et de l'ampleur des catastrophes naturelles.

⇒ **Les chiffres significatifs**

Les quatre plus fortes contributions à l'effet de serre anthropogène:

- **Industrie** (37%)
- **Résidentiel-Tertiaire** (21%)
- **Traitement des déchets** (12,5%)
- **Transport** (12,5%)

2.2.2 L'APPAUVRISSMENT DE LA COUCHE D'OZONE

2.2.2.1. PRÉSENTATION

L'atmosphère terrestre est constituée de trois zones bien distinctes:

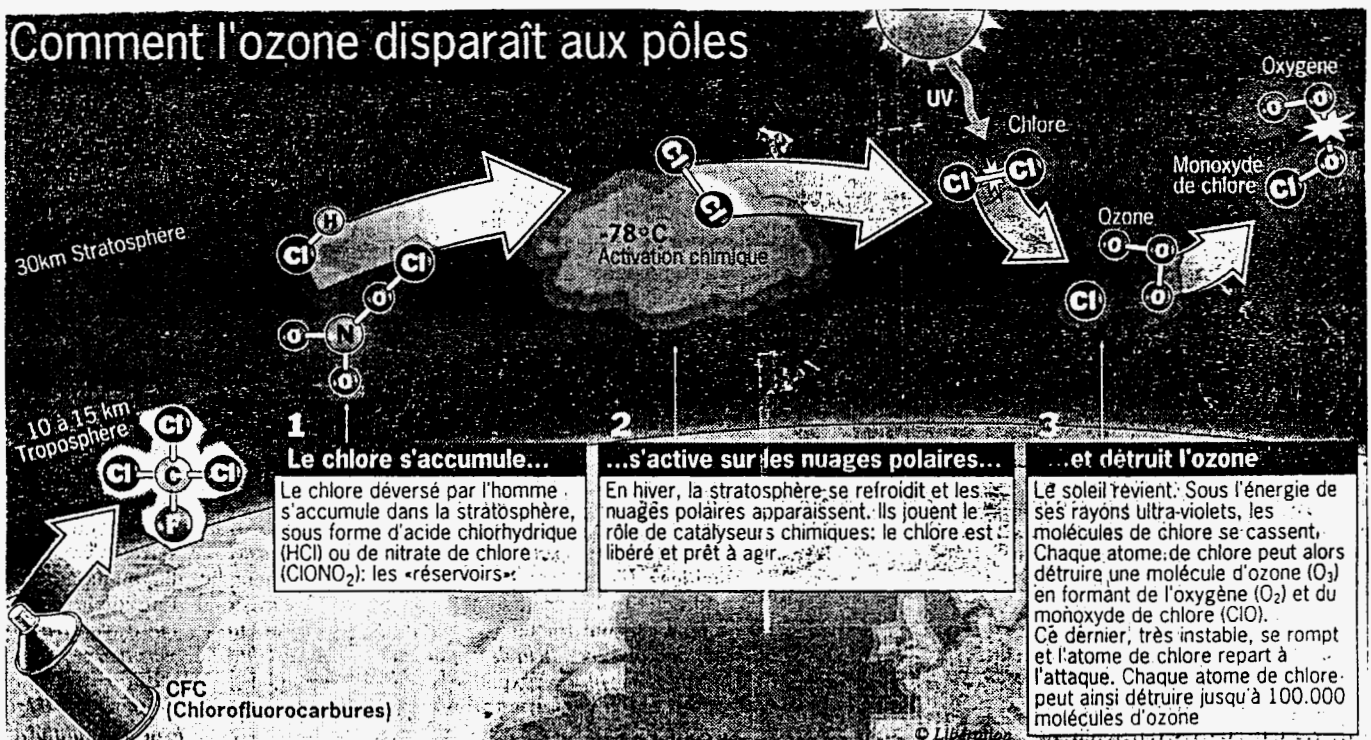
- la plus proche de nous, la **troposphère** s'élève à une altitude comprise entre 10 et 15 kilomètres,
- la **stratosphère** s'étend de 15 à 40 kilomètres,
- au-delà il s'agit de l'**ionosphère**.

C'est dans la stratosphère qu'est concentré 80% de l'ozone atmosphérique. Une des particularités de cette molécule formée de trois atomes d'oxygène est de protéger les êtres vivants en filtrant certains rayonnements ultraviolets nocifs pour la vie.

Or, depuis plus d'une quinzaine d'années, les observations effectuées au sol ou par des satellites montrent une diminution sensible de la quantité d'ozone dans la stratosphère. Cette réduction est particulièrement marquée au-dessus du continent antarctique en septembre et octobre de chaque année où un véritable "trou d'ozone" a été observé.

Les scientifiques ont mis alors en évidence les atteintes que le Fréon et d'autres chlorofluorocarbures (CFC) causent à la couche d'ozone. Ces gaz, utilisés dans l'industrie des mousses synthétiques, comme gaz réfrigérants et comme propulseurs dans les bombes à aérosols, remontent en effet lentement pour s'accumuler dans les parties basses de la stratosphère. Là, ils sont décomposés par le rayonnement ultraviolet du soleil, et libèrent ainsi le chlore qu'ils renferment. Le chlore à son tour, transforme l'ozone en oxygène, ce qui réduit le filtrage du rayonnement solaire et en particulier, celui des ultraviolets courts, qui sont nocifs, et même mortels en grande quantité.

Figure 5: Principe de la disparition de l'ozone stratosphérique (46)



2.2.2.2. MÉCANISMES

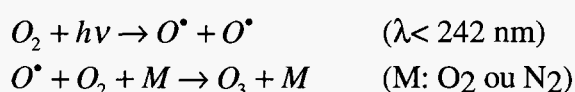
L'ozone joue dans les équilibres de l'environnement terrestre un rôle fondamental. Bien que constituant minoritaire de l'atmosphère (puisque la concentration relative maximum observée à 25 km d'altitude ne dépasse pas cinq à six millièmes -ppmv-), l'ozone est l'unique absorbant, entre le sol et 80 km d'altitude, du rayonnement solaire UV de longueurs d'onde comprises entre 240 et 300 nanomètres. Il importe de prendre conscience que cette protection est assurée par une épaisseur d'ozone extrêmement faible puisque, ramenée aux conditions de température et de pression qui règnent à la surface de la terre elle ne mesure en moyenne que trois millimètres (34).

2.2.2.2.1 Mécanismes réactionnels

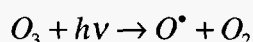
La teneur en ozone dépend d'un équilibre dynamique entre d'une part des réactions de synthèse (production d'ozone) et d'autre part des réactions de dégradation (destruction d'ozone).

processus naturel de production:

à partir de l'oxygène de l'air sous l'effet des U.V.

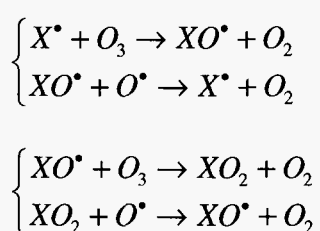


processus naturel de dégradation non catalytique:



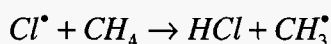
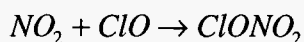
A cette dégradation s'ajoute des réactions de destruction catalytique par des **espèces radicalaires** : H^\bullet , OH^\bullet , NO^\bullet , Cl^\bullet .

Ces espèces sont issues notamment des CFC et des NO_x émis par les activités humaines. En effet, en se rapprochant du soleil et sous l'action des rayons UV, ces molécules se cassent et libèrent des espèces radicalaires.

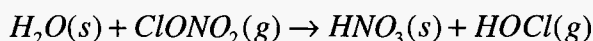
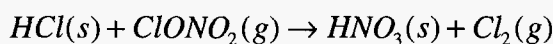


D'après les spécialistes, ces réactions à elles seules ne peuvent justifier l'ampleur de la destruction saisonnière de l'ozone. Actuellement, on parle de l'intervention de réactions chimiques liées à la présence de **nuages stratosphériques polaires**:

- dans la stratosphère, Cl^\bullet ou ClO^\bullet , issus de la dissociation des CFC par les UV, peuvent être stockés sous une forme inactive dans des **espèces réservoirs** (HCl et $ClONO_2$).



- or en hiver, la stratosphère polaire très froide contient des nuages de cristaux de glace à la surface desquels des réactions chimiques très rapides libèrent d'autres composés (Cl_2 et $HOCl$) à partir des réservoirs :



Pendant l'hiver:

Il y a enrichissement anormal de la stratosphère polaire en Cl_2 et $HOCl$.

Au début du printemps:

Cl_2 et $HOCl$ sont rapidement dissociés par les UV pour former Cl^* et ClO^* qui détruisent rapidement l'ozone par les processus catalytiques.

Progressivement les réactions de production de l'ozone se réenclanchent, supplantent les réactions de destruction et permettent au "trou d'ozone" de se recombler en partie.

2.2.2.2.2 Les effets envisageables

L'absorption des UV par l'ozone est capitale. Elle permet le maintien de la vie animale et végétale en éliminant les courtes longueurs d'ondes susceptibles de détruire les cellules de la matière vivante et d'inhiber la photosynthèse.

Mais le danger ne se réduit pas à l'augmentation du taux d'UV atteignant la terre. En effet, de part ses propriétés spectrales dans le domaine des longueurs d'ondes infrarouges, l'ozone est également responsable avec le gaz carbonique et la vapeur d'eau, de l'équilibre radiatif et thermique de l'atmosphère terrestre et de ce fait des grands équilibres climatiques. Par ailleurs, sa présence conduit notamment à l'existence, aux altitudes supérieures (20 à 50 km.), d'une région de grande stabilité vis à vis des échanges d'énergie liés au cycle d'évaporation-condensation de la vapeur d'eau. Mais à la différence du gaz carbonique, qui reste essentiellement inerte dans l'atmosphère, l'équilibre actuel de l'ozone résulte d'un grand nombre d'interactions physico-chimiques mettant en jeu, outre le rayonnement solaire, de nombreux constituants minoritaires de l'atmosphère représentant pour certains moins d'un milliardième (ppbv) de la concentration totale. A terme, c'est toute la chimie de l'atmosphère qui pourrait subir des modifications.

2.2.2.3. LES POLLUANTS CONCERNÉS

Même si à l'heure actuelle, il reste de nombreuses zones d'ombre quant à la responsabilité de certaines substances, d'autres, telles que le méthane (CH_4), l'oxyde nitreux (N_2O) et les chlorofluorocarbures (CFC), sont jugées coupables de l'appauvrissement de la couche d'ozone. En effet, elles sont des précurseurs des espèces que nous venons de citer (HO^* , NO^* , ClO^*).

D'autre part, certains polluants - CH_4 , N_2O - ont certes une origine naturelle, mais l'effet des sources anthropiques additionnelles apparaît clairement puisque les concentrations augmentent à des rythmes de +1% par an pour CH_4 , 0,3% par an pour N_2O et de 5 à 10% par an pour les CFC dont l'origine est uniquement anthropique.

2.2.2.3.1 Les chlorofluorocarbures

Les premiers CFC, connus sous le terme générique de "Fréons" ont été commercialisés dans les années 30 par des firmes américaines comme agents réfrigérants. Du fait de leur réelle innocuité pour l'homme et de leurs propriétés physico-chimiques (non explosifs, non inflammables, non corrosifs), leur utilisation n'a cessé de croître depuis ce jour.

Les CFC sont utilisés de façon très variée. Ils sont employés comme:

- solvants de nettoyage dans l'industrie,
- agents d'expansion dans les mousses et plastiques,
- gaz propulseurs dans certains aérosols,
- agents réfrigérants,
- agents d'extinction.

Ces gaz ont donc plusieurs sources d'émission. Ils peuvent être rejetés à l'atmosphère par perte dès la production, c'est alors le secteur de l'industrie qui est émetteur. Ils peuvent être émis au cours de la consommation d'un produit, c'est le cas de l'utilisation domestique de bombes aérosols mais aussi de l'utilisation industrielle des CFC comme solvants de nettoyage. Enfin, ils peuvent être émis après la mise au rebut de biens de consommation tels que les réfrigérateurs ou les bombes aérosols mis en centre de stockage.

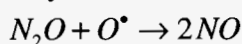
Une estimation de l'Agence pour la Qualité de l'Air (AQA) nous donne une répartition sectorielle des émissions de CFC en France (37): l'industrie serait émettrice de 65% des CFC, les activités domestiques représenteraient 15% de ces émissions, quant aux centres de stockage des déchets, ils seraient émetteurs de 20% d'entre eux (pour un total de 50 000 tonnes par an en 1991 -CFC et dérivés compris-).

Le principal problème provient de la durée de vie extrêmement longue des CFC. Celle-ci se chiffre en décennies voire en siècles pour certains. Il en résulte un effet retard, lié d'une part au temps nécessaire pour assurer le transfert depuis le sol jusque dans la stratosphère (estimé de sept à dix ans) et qui fait que seulement 35% des CFC émis au cours des cinquante dernières années sont aujourd'hui parvenus effectivement dans la stratosphère, d'autre part au fait que seulement 20% du chlore émis est actuellement éliminé de l'atmosphère, entraînant un effet d'accumulation qui contribue à déséquilibrer totalement les réservoirs atmosphériques.

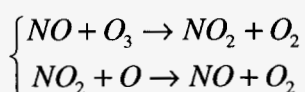
2.2.2.3.2 Le protoxyde d'azote (N₂O)

Ce composé est émis naturellement par l'activité bactérienne des sols (amplifiée par la décomposition des engrais azotés) et par la mer. Il est également émis par les combustions, en quantités mal connues, mais très inférieures à celles de NO et NO₂. Sa concentration dans l'atmosphère était de 300 ppb en 1980 et elle croît de 0,2% par an. Sa particularité est sa grande durée de vie (environ 170 ans) qui a pour conséquence qu'il atteint la stratosphère alors que les autres oxydes d'azote, très réactifs, terminent leur existence dans la basse troposphère, les sols et les eaux.

Dans la stratosphère, N₂O est oxydé en NO sous l'effet du rayonnement UV:



NO attaque alors l'ozone:



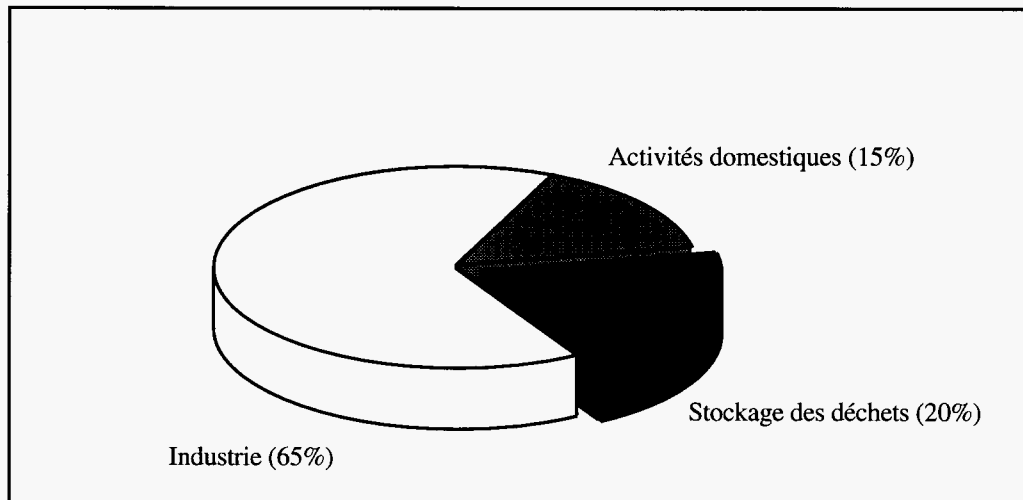
On voit qu'une molécule de NO peut ainsi détruire successivement un grand nombre de molécules d'ozone.

2.2.2.4. CONTRIBUTION DE CHAQUE SECTEUR AU NIVEAU NATIONAL

Par manque de données concernant les émissions de CFC et de leurs dérivés, il n'est pas possible d'utiliser de classification permettant de donner des facteurs de contribution par polluant.

On peut conclure par l'estimation d'émission de CFC citée précédemment, qui est tout de même à considérer avec beaucoup de prudence étant donnée l'incertitude associée à ces chiffres (37).

Figure 6: Répartition des émissions de CFC en France par secteur (37)



Causes principales d'émissions de CFC:

⇒ *L'industrie*

Il s'agit principalement de l'utilisation des CFC comme solvants de nettoyage mais aussi comme agents d'expansion des mousses et plastiques.

⇒ *Les centres de stockage de déchets*

Ce sont la mise au rebut en centre de stockage d'une partie des bombes aérosols et des encombrants tels que les réfrigérateurs. Ces déchets sont issus indirectement de l'activité domestique mais il a été choisi par les auteurs de l'estimation précédente (37) de les en dissocier.

⇒ *Les activités domestiques*

Il s'agit de l'utilisation des bombes aérosols, des fuites dans les systèmes frigorifiques -réfrigérateurs, climatisation-.

Suite au protocole de Montréal (1987), la France s'est engagée à faire disparaître les CFC des produits fabriqués sur son territoire dès Janvier 1995.

2.2.2.5 CE QU'IL FAUT RETENIR

**L'appauvrissement de la
couche d'ozone**

pollution planétaire

Destruction des molécules d'ozone présentes dans la stratosphère par des espèces radicalaires libérées par certains polluants.

⇒ **Polluants mis en cause:**

- **CFC et dérivés**
- **CH₄**
- **N₂O**

⇒ **Les effets envisageables**

- augmentation du taux d'UV sur terre
- déséquilibres climatiques
- modification de l'équilibre chimique de l'atmosphère

⇒ **Les chiffres significatifs**

Les émissions de CFC en France, c'est:

- | | |
|--------------------------------|--------------|
| - Industrie | (65%) |
| - Stockage des déchets | (20%) |
| - Activités domestiques | (15%) |

2.3 POLLUTIONS RÉGIONALES

Ces pollutions touchent des zones étendues et plus ou moins éloignées des sources, en raison des processus de dépôt des polluants et de transformation physico-chimique.

Nous aborderons la pollution photochimique et la pollution acide.

2.3.1 LA POLLUTION PHOTOCHIMIQUE

2.3.1.1. PRÉSENTATION

Au niveau de la troposphère, des réactions chimiques entre divers composés qualifiés de "précurseurs" (oxydes d'azote, composés organiques volatils, etc.) conduisent à la production, sous l'effet du rayonnement solaire, d'un ensemble d'oxydants photochimiques: principalement l'ozone mais aussi de nombreux composés hydrocarbonés oxydés et nitrés.

En forte concentration, ces oxydants photochimiques forment le "smog photochimique", bien connu dans les villes de Los Angeles, Athènes, etc.

Il ne faut pas confondre la formation d'ozone troposphérique et la disparition de l'ozone stratosphérique ("le trou dans la couche d'ozone") qui constituent deux phénomènes complètement différents.

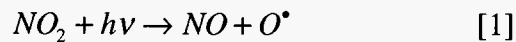
2.3.1.2. MÉCANISME

2.3.1.2.1 Mécanismes réactionnels

Les mécanismes de formation des oxydants photochimiques sont complexes et encore mal connus.

Ceux qui sont le plus souvent proposés font intervenir la modification du cycle photolytique des NO_x dans l'atmosphère. La figure 7.a, ci-dessous, représente le cycle normal de formation et de décomposition de NO_2 .

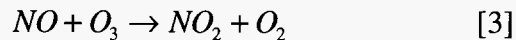
Ainsi, sous l'effet du rayonnement solaire, NO_2 se décompose pour former du monoxyde d'azote NO et un atome d'oxygène.



Ensuite O^\bullet réagit avec O_2 de l'air pour former de l'ozone.



L'ozone réagit à son tour avec NO pour redonner NO_2 .



Ainsi, en l'absence d'autres partenaires, la formation d'ozone dépend uniquement du rapport NO_2/NO . Le cycle est alors équilibré.

Figure 7: Cycle normal (7.a) et cycle perturbé (7.b)

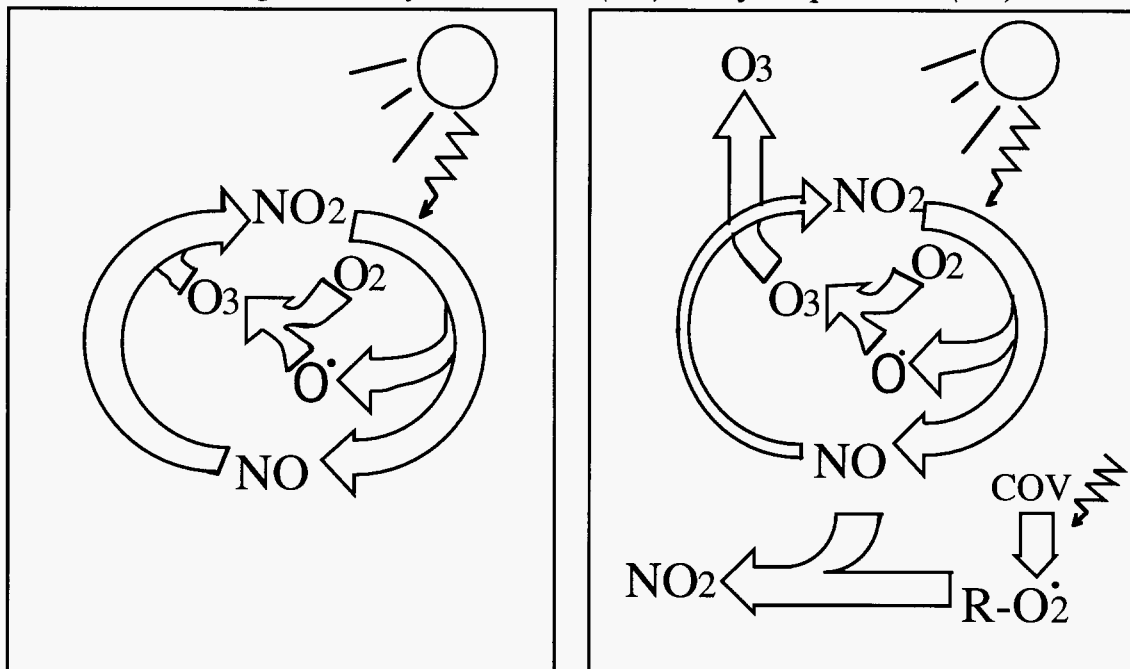
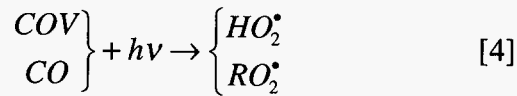


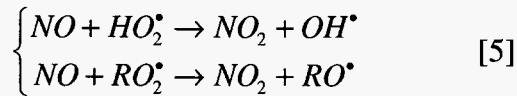
Figure 7.a

Figure 7.b

C'est la présence d'autres polluants, notamment les COV et CO, qui va modifier cet équilibre comme indiqué sur la figure 7.b. Pendant la journée, ils se dégradent sous l'effet du rayonnement solaire en radicaux peroxy RO_2^\bullet et HO_2^\bullet .



Ces radicaux oxydent beaucoup mieux NO en NO₂ que l'ozone.



Ainsi, du fait de la consommation de NO par ces radicaux, l'ozone est moins consommé par la réaction [3].

Ce phénomène a pour conséquences, d'une part, de provoquer une augmentation de la concentration en ozone dans la troposphère pendant la journée; d'autre part, de permettre la formation de composés spécifiques tels que les PAN (Péroxycétyl Nitrate) ou les aldéhydes par réaction entre les COV, les NO_x et l'ozone.

La nuit, il n'y a plus production photochimique d'ozone et la ville est un "puits" d'ozone. L'ozone est consommé grâce à la production normale de NO par le trafic et les activités domestiques. La nuit, la concentration en ozone baisse. Par contre, si ce "smog photochimique" se déplace pendant la nuit vers la campagne où il n'y a pas production de NO, l'ozone ne disparaîtra pas.

2.3.1.2.2 Les effets de la pollution photochimique

On distingue trois principaux types d'effets:

⇒ *Effet toxique*

L'ozone est un gaz très réactif qui affecte notamment les fonctions respiratoires, les effets étant généralement accentués par la présence d'autres polluants tels que les oxydes de soufre et d'azote. D'autres espèces d'origine photochimique tels que les PAN ont également des effets toxiques: irritation des yeux, des voies respiratoires, maux de tête, etc.
(voir section 2.4.2 page 85: Pollution toxique de l'air)

⇒ *Effet écotoxique*

L'ozone et les oxydants photochimiques attaquent les feuilles des plantes et modifient ainsi leur activité photosynthétique, leur résistance aux virus, champignons et insectes et diminuent leur productivité.

⇒ *Autres effets*

La pollution photochimique accélère la dégradation de certains matériaux (notamment les plastiques) et contribue à la dégradation des matériaux de certains édifices (monuments des villes, etc.).

Elle peut également contribuer à des baisses de visibilité dans l'atmosphère avec la formation des "smogs photochimiques".

Elle apporte sa contribution aux pluies acides en accélérant l'oxydation de SO₂ en SO₃ et des NO_x en NO₃⁻ qui formeront H₂SO₄ et HNO₃ en présence de vapeur d'eau.

2.3.1.3. LES POLLUANTS CONCERNÉS

2.3.1.3.1 Présentation des polluants

Puisque la formation de l'ozone, des PAN et autres polluants photochimiques dépend principalement de la présence de précurseurs dans l'atmosphère, il est intéressant d'en connaître les sources.

Ces précurseurs sont principalement le monoxyde de carbone, les composés organiques volatils (dont le méthane) et les oxydes d'azotes. Une large part des émissions est due au transport. (63% pour les CO, 42% pour les COV, 69% pour les NO_x) (5).

Ainsi, la pollution photochimique apparaît plutôt dans des zones urbaines où la circulation routière est dense et où les conditions climatiques sont particulières (forte insolation, peu de vent). Par exemple, la ville de Los Angeles est particulièrement sensible à la formation de smogs photochimiques et détient les records mondiaux de concentration en photo-oxydants avec 58 ppb pour les PAN et 2 600 ppb pour l'ozone.

2.3.1.3.2 Estimation des émissions nationales

Le tableau suivant présente les émissions annuelles nationales de trois gaz précurseurs à la formation d'oxydants photochimiques (COVNM, CH₄, NO_x). Ces émissions sont données par secteur d'activité émetteur.

Tableau 23: Émissions annuelles françaises de gaz précurseurs à la pollution photochimique par secteur d'activité

SECTEURS	COVNM	CH ₄	NO _x
Production d'énergie	142 000	317 300	152 000
Industrie	611 900	5 900	149 500
Résidentiel & Tertiaire	396 300	150 300	100 000
Traitement des déchets	20 500	739 500	23 900
Agriculture	45 800	1 611 200	70 100
Transport	1 187 100	22 900	1 089 100
Nature	461 800	191 100	5 500
TOTAL émissions annuelles nationales (tonnes)	2 865 500	3 038 200	1 590 100

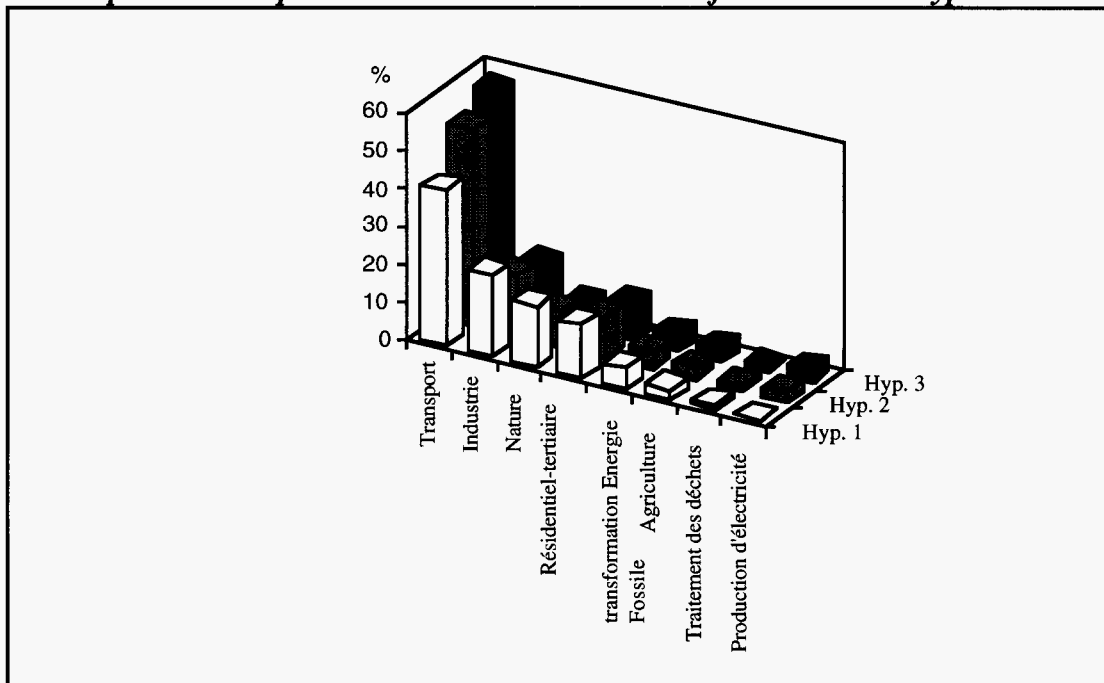
Source: (5)

2.3.1.4. CONTRIBUTION DE CHAQUE SECTEUR AU NIVEAU NATIONAL

Il s'agit ici de comparer la contribution par secteur à la formation d'oxydants photochimiques. Les calculs sont donnés et commentés dans la section 2.1.3 du chapitre 2 page 45. Pour calculer cette contribution, nous avons utilisé le PCOP (Potentiel de Création d'oxydants Photochimiques) comme outil. Les polluants pris en compte sont les oxydes d'azote et les composés organiques volatils (COV) dont le méthane. Trois hypothèses de PCOP (NO_x) ont été posées:

- **Hyp. 1:** hypothèse basse: PCOP (NO_x) = 0,001
- **Hyp. 2:** hypothèse moyenne: PCOP (NO_x) = 0,53
- **Hyp. 3:** hypothèse haute: PCOP (NO_x) = 1,059

Figure 8: Contribution de chaque secteur à la formation d'oxydants photochimiques au niveau national en fonction des hypothèses.



Avec des hypothèses de PCOP variables pour les NO_x , les pourcentages finaux sont évidemment modifiés, par contre l'ordre de classement, par responsabilité, des secteurs quant à la participation à la formation d'oxydants photochimiques, reste inchangé.

En effet, le transport et en particulier le transport routier, de par sa contribution prépondérante aux émissions de COVNM et de NO_x en France (42 % pour les COVNM et près de 70% pour les NO_x), représente de loin le principal émetteur d'oxydants, viennent ensuite l'industrie, le résidentiel-tertiaire ou encore les émissions naturelles selon les hypothèses. Le secteur du traitement des déchets, quant à lui, ne contribue que faiblement (environ 1%) à la formation d'oxydants quelles que soient les hypothèses.

Par contre, pour les différentes filières de traitement des déchets, il n'a pas été possible de donner un ordre de classement. Un PCOP (NO_x) fort place l'incinération en première place pour la formation d'oxydants alors qu'un PCOP plus faible attribue cette place à la mise en décharge (le principal responsable étant dans ce cas le méthane).

La prudence doit prévaloir quant à la validité des résultats obtenus, d'autant plus que les données utilisées (valeurs des PCOP, estimation des émissions de COVNM) sont elles-mêmes approximatives. Ces résultats permettent toutefois une première approche du problème.

2.3.1.5 CE QU'IL FAUT RETENIR

La pollution photochimique

Pollution régionale

Il s'agit de la formation, sous l'effet du rayonnement solaire, d'oxydants photochimiques (ozone, PAN, etc.) dans la troposphère. En fortes concentrations, ces oxydants forment le smog photochimique.

⇒ Polluants mis en cause

- Polluants précurseurs
 - CO
 - NO_x
 - COVNM
 - CH₄
- Polluants formés
 - O₃
 - PAN
 - Aldéhydes
 - autres composés hydrocarbonés oxydés et nitrés

⇒ Les effets

- toxique (irritation des yeux, voies respiratoires, etc.)
- écotoxique (modification de l'activité photosynthétique)
- dégradation de matériaux (plastiques, monuments, etc.)
- contribution aux pluies acides.

⇒ Les chiffres significatifs

Les deux plus fortes contributions:

- **Transport** **50%** en moyenne
- **Industrie** **17%** en moyenne

Contribution du **Traitement des déchets: environ 1%**

2.3.2 LA POLLUTION ACIDE

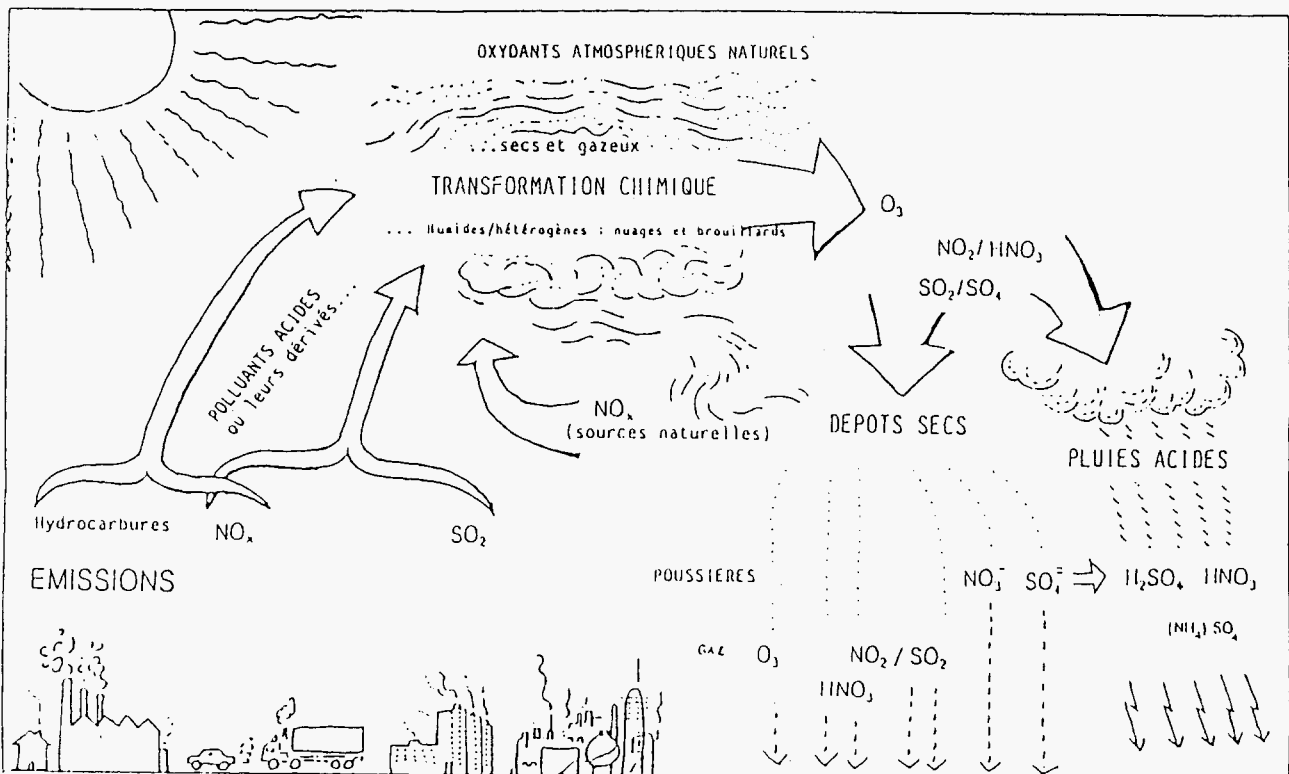
2.3.2.1. PRÉSENTATION

Une des pollutions qui a le plus interpellé l'opinion publique durant les années 80 est le phénomène d'**acidification des milieux**. Cette acidification aurait pour origine les émissions acides comprenant à la fois les précipitations sèches et humides appelées couramment "**pluies acides**", ainsi que les effluents acides se déversant dans l'eau douce.

Dès lors, les émissions acides d'origine anthropique ont été mises en cause dans bien des cas: dépérissement des forêts, acidification des lacs, détérioration des bâtiments, baisse du rendement des cultures. Qu'en est-il réellement ? Les scientifiques n'ont pas encore répondu de manière catégorique à toutes ces interrogations mais la responsabilité des émissions anthropiques acides a bien souvent été revue à la baisse.

Dans cette partie, nous ne considérerons que la pollution engendrée par les émissions atmosphériques puisqu'il n'a pas été possible d'établir un bilan des rejets acides dans l'eau, au niveau national.

Figure 9: La pollution acide, des émissions aux retombées (13)



2.3.2.2. MÉCANISMES

2.3.2.2.1 Mécanismes d'acidification des pluies et "pluies acides"

L'acidité d'une solution comme la pluie, est quantifiée grâce à l'échelle des pH:

- eau parfaitement neutre:	pH = 7
- eau de pluie "pure":	pH = 5,65
- pluie acide:	pH < 5,6 (13)

Dans le langage courant, il est admis que le terme de "pluies acides" s'applique non seulement aux **précipitations humides acides** (pluie, brouillard, neige), mais aussi aux **dépôts secs acides**.

Les **dépôts secs** correspondent aux retombées au sol des polluants gazeux ou particulaires en l'absence de précipitation. Ils sont prépondérants à proximité de la source (à moins de 300 km.) et leur charge polluante est généralement fixée sur des particules solides en suspension.

Les **dépôts humides** englobent l'ensemble des retombées au sol des polluants gazeux ou particulaires incorporés au sein de la pluie, du brouillard ou de la neige. A ceci s'ajoute l'entraînement mécanique des polluants situés sous les nuages qui retombent au sol au cours des précipitations. On peut déceler des nuages polluants à plus de 2 000 km de leur source. En moyenne, on estime qu'environ le tiers des polluants émis dans l'atmosphère retourne au sol sous forme de retombées humides (21).

2.3.2.2.2 Effets sur l'environnement

Les dépôts acides ont été mis en cause dans de nombreuses perturbations des écosystèmes aussi bien terrestres qu'aquatiques. Certaines de ces perturbations ont été prouvées, d'autres restent encore aujourd'hui du domaine de l'éventuel. Le tableau 24 montre l'état actuel des connaissances dans ce domaine.

Tableau 24: Effets des retombées acides sur l'environnement

	Effets prouvés	Effets non prouvés
Forêts	dégâts visibles importants dans les bois de sapins et d'épicéas d'Amérique du nord et de l'est de l'Europe.	ralentissement de la croissance des jeunes arbres.
Récoltes		dégâts importants et baisse de rendement.
Eaux douces	modifications et/ou disparitions du phytoplancton et zooplancton dans certains lacs scandinaves et canadiens.	disparitions de peuplements aquatiques
Bâtiments	dégradation de certains matériaux en Europe: grès, verre teinté, calcaire...	

source: (13)

2.3.2.3. LES POLLUANTS CONCERNÉS

2.3.2.3.1 Présentation et caractéristiques

⇒ *Le dioxyde de soufre (SO₂)*

En présence d'eau, par hydrolyse, il forme l'acide sulfureux (**H₂SO₃**) et par oxydation (oxygène de l'air et ozone troposphérique) l'acide sulfurique (**H₂SO₄**)⁷.

Compte tenu de sa teneur moyenne dans l'air, il est considéré comme le principal polluant à l'échelle du globe.

Les émissions sont naturelles (activité volcanique) mais surtout anthropiques, essentiellement par combustion des énergies fossiles, solides ou liquides (charbon, pétrole).

⇒ *Les oxydes d'azote (NO_x)*

Tout comme le dioxyde de soufre, les oxydes d'azote permettent la formation d'acide nitreux (**HNO₂**) et d'acide nitrique (**HNO₃**).

Ils se forment lors de combustions, à température élevée, dans les foyers industriels et domestiques mais surtout dans les moteurs d'automobiles. Ils proviennent essentiellement de la combinaison entre l'oxygène et l'azote constituants de l'air comburant.

⇒ *Les composés fluorés*

Ils sont issus de l'industrie de traitement de l'aluminium, du verre, de l'électromécanique. Ils participent aux pollutions locales. Se révélant très réactifs avec les composants de l'atmosphère, ils ne sont pas transportés à longue distance.

⇒ *Les composés chlorés*

Ils sont principalement attribués à l'incinération des ordures ménagères et à la combustion du charbon.

Les acides halogénés (HCl et HF) sont directement actifs.

2.3.2.3.2 Estimations disponibles des émissions annuelles nationales

Nous avons regroupé dans le tableau qui suit toutes les données disponibles, permettant d'évaluer la contribution des différents secteurs à la pollution acide en France.

Tableau 25: Estimations annuelles nationales d'émission de polluants

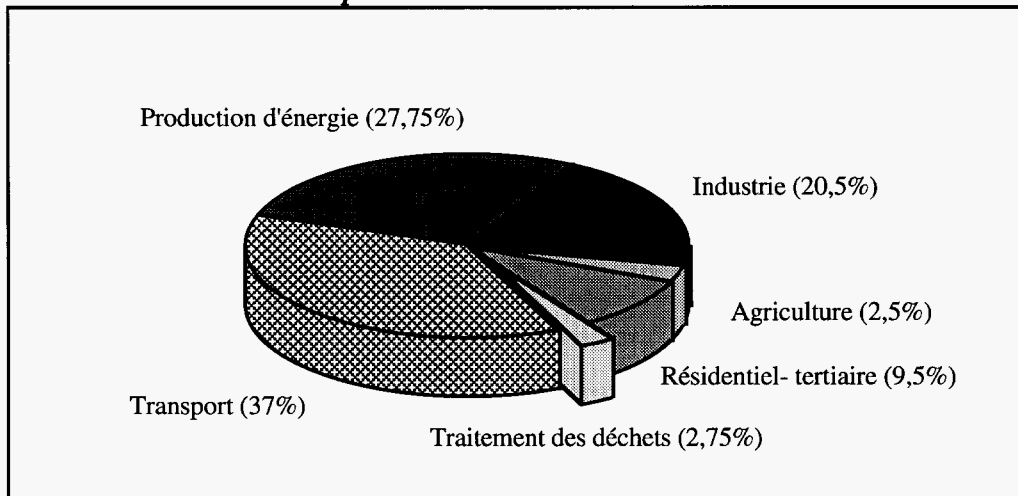
Polluants (tonnes/an)	SO ₂	NO _x	HCl
Production d'énergie	543 000	152 000	40 000
Industrie	400 000	149 500	négligeable
Résidentiel-tertiaire	166 500	100 000	négligeable
Traitement des déchets	19 200	23 900	35 000
Agriculture	14 300	70 100	0
Nature	2 500	5 500	0
Transport	155 000	1 089 100	négligeable
TOTAL	1 300 400	1 590 100	75 000
<i>Sources:</i>	(5)		(18)

⁷On voit donc ici qu'il y a interaction entre la pollution photochimique (cf chapitre 2.3.1) et l'acidification des pluies, la première favorisant la seconde.

2.3.2.4. CONTRIBUTION DE CHAQUE SECTEUR AU NIVEAU NATIONAL

Cette répartition a été faite grâce à un outil de pondération retenu dans les travaux scientifiques: "acidification potentiel (AP)". Elle a été calculée en fonction des émissions de SO₂, NO_x et HCl présentées dans le tableau 25, page précédente. Les calculs sont donnés et commentés dans la section 2.1.4 du chapitre 2 page 47.

Figure 10: Contribution de chaque secteur à la pollution acide au niveau national



⇒ *Le transport*

Sa forte participation est due aux émissions de NO_x. En effet, ces émissions en France sont à 68% dus à ce secteur. Malgré les réductions d'émissions obtenues depuis vingt ans grâce à un contrôle de la pollution, l'augmentation du parc automobile fait que les émissions de NO_x continuent de croître.

⇒ *Le traitement des déchets*

Malgré sa participation de près de 50% aux émissions d'acide chlorhydrique en France par l'intermédiaire des incinérateurs, ce secteur émet très peu d'autres polluants à effet acide tel que SO₂ et NO_x. Ceci explique son faible taux de participation.

2.3.2.5 CE QU'IL FAUT RETENIR

La pollution acide

Pollution régionale

Acidification des milieux par retombées atmosphériques de polluants ayant un potentiel acide.

⇒ **Polluants mis en cause**

- **SO₂**
- **NO_x**
- **HF, HCl**

⇒ **Les effets prouvés**

- dépérissement de certaines espèces d'arbres
- modification du phytoplancton dans certains lacs
- dégradation de certains matériaux

⇒ **Les effets non prouvés**

- ralentissement de la croissance des jeunes arbres
- baisse du rendement des récoltes

⇒ **Les chiffres significatifs**

Les deux plus fortes contributions

- **Transport** (37%)
- **Production d'énergie** (28%)

Contribution du **Traitement des déchets: environ 3%**

2.4 POLLUTIONS LOCALES

Ces pollutions se rencontrent au voisinage des sources polluantes. Leur impact dépend fortement du milieu récepteur.

Nous aborderons ici:

- l'eutrophisation des eaux
- la pollution toxique de l'air
- la pollution toxique de l'eau

2.4.1 EUTROPHISATION DES EAUX

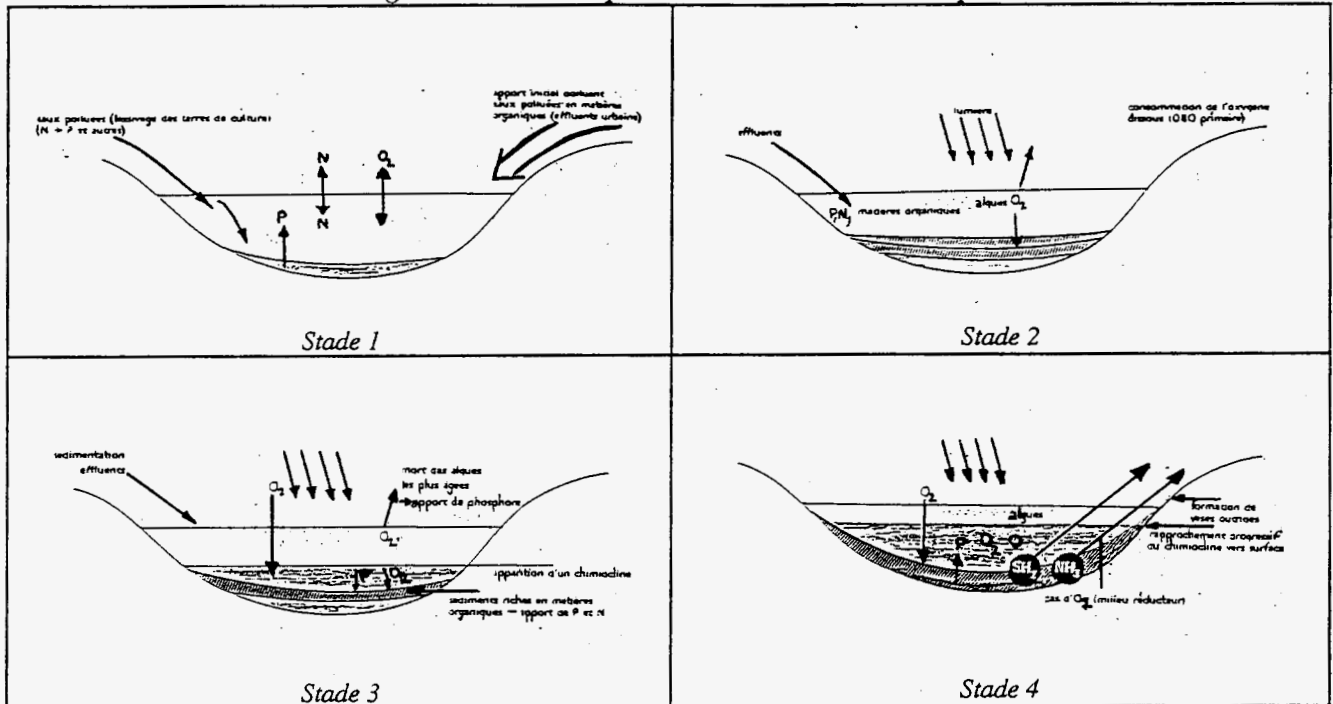
2.4.1.1. PRÉSENTATION

L'eutrophisation est un phénomène complexe qui peut être considéré comme le résultat d'un important déséquilibre du milieu aquatique. Ce phénomène est observé lorsque la production de végétaux aquatiques par photosynthèse dépasse largement les possibilités de dégradation et de consommation de ce même milieu. Cette production excessive est due à un apport trop important de matières nutritives qui proviennent à des degrés divers du milieu naturel et surtout des activités domestiques, industrielles et agricoles. Constaté depuis plusieurs décennies dans les lacs, le phénomène affecte maintenant certaines rivières ainsi que des zones littorales en milieu maritime.

2.4.1.2. MÉCANISME

2.4.1.2.1 Schéma de principe

Figure 11: Les quatre stades de l'eutrophisation



Source: (41)

2.4.1.2.2 Mécanisme

Stade 1: Pollution croissante

Le lac accumule dans ses eaux d'importantes quantités de sels minéraux nutritifs amenés par des effluents d'origines diverses.

Stade 2: Prolifération des algues

L'enrichissement des eaux en éléments nutritifs, principalement le phosphore et l'azote, va déclencher la prolifération du phytoplancton (diatomées et phytophycées). Si l'azote, dont le plancton a besoin pour se développer, n'est pas présent en solution dans l'eau, un plancton capable de fixer l'azote atmosphérique va se développer: les cyanophycées.

Cette prolifération algale se traduit alors par la diminution de la transparence des eaux et la concentration de l'activité photosynthétique au niveau des premiers mètres au-dessous de la surface de l'eau. Finalement, ces phénomènes vont concourir à accroître le taux d'oxygène dissous dans les eaux superficielles du lac.

Stade 3: Phénomène de décomposition aérobie

Les bactéries aérobies se développent dans les couches profondes pour décomposer les algues mortes surabondantes et utilisent alors l'oxygène qui s'y trouve. Un net gradient vertical dans la concentration d'oxygène apparaît, les eaux profondes devenant pauvres ou dépourvues d'oxygène.

Stade 4: Phénomène de décomposition anaérobie

Après disparition totale de l'oxygène dissous dans les couches profondes, l'ultime phase de l'eutrophisation est marquée par l'apparition de fermentations anaérobies avec toutes les conséquences néfastes qui en découlent: odeur de pourriture (H_2S), diffusion de substances à caractère toxique (NH_3 , CH_4). Cette activité bactérienne provoque également le relargage du phosphore et des éléments nutritifs piégés dans les sédiments, constituant ainsi un apport interne pouvant entretenir le phénomène d'eutrophisation même sans apport supplémentaire de phosphore.

2.4.1.2.3 Effets

L'eutrophisation aboutit généralement à des modifications symptomatiques du milieu aquatique telles que:

- la modification des caractéristiques organoleptiques: odeurs de pourriture, goût désagréable, etc.

- la modification de la flore et de la faune aquatique avec prolifération de la population algale et évolution des populations de poissons du fait du développement végétal: les poissons blancs succèdent alors aux poissons nobles jusqu'à ce que des épisodes paroxysmiques d'anoxie les éliminent totalement.

- la libération de produits pouvant être toxiques pour la flore et la faune aquatique aussi bien que pour les consommateurs de cette eau: toxines sécrétées par certaines cyanophycées, relargage d'éléments toxiques piégés dans les sédiments, etc.

2.4.1.3. POLLUANTS CONCERNÉS

Le phénomène est lié à la concentration en produits azotés, produits phosphorés, matière organique, silice, du fait qu'ils peuvent constituer, directement ou indirectement, un apport nutritif pour les organismes (36) (38).

2.4.1.3.1 Les nitrates

Il est largement admis que les nitrates observés dans le milieu naturel sont essentiellement d'origine agricole (lessivage des sols) . Mais les rejets domestiques et parfois industriels ont aussi leur part. On estime en France que les rejets issus de l'activité agricole et des élevages sont en moyenne, sur l'année, à l'origine de 3/4 de l'azote mesuré dans les cours d'eau (48).

Extrêmement mobiles dans les sols, les nitrates s'accumulent dans les nappes phréatiques. Lorsqu'ils sont présents dans les eaux de surface, ils sont éliminés dès que des conditions anaérobies apparaissent. Ils constituent donc plutôt des polluants potentiels des nappes phréatiques que des eaux superficielles.

2.4.1.3.2 Les phosphates

Les phosphates proviennent pour moitié des rejets domestiques (métabolisme humain, détergents), pour environ un tiers des rejets industriels et le reste provient de l'agriculture, principalement de l'élevage. Ils sont reconnus par l'OCDE comme les principaux responsables de l'eutrophisation.

Au niveau national on admet les valeurs suivantes:

Tableau 26: Pollution par les phosphates en France pour la période 1985-1990

Origine	Tonnages mis en jeu (tonnes Phosphore/an)	% transféré	Quantités déversées	
			(tonnes Phosphore/an)	%
agricole				
- élevage	240 000	10	24 000	17,5
- engrais	620 000	1	6 200	4,5
industrielle	40 000	<100	<40 000	<29
domestique				
- métabolisme	32 000	>90	>28 000	>21
- détergents	42 000	>90	>37 000	>27
Total	974 000	-	135 000	100

Source: (7)

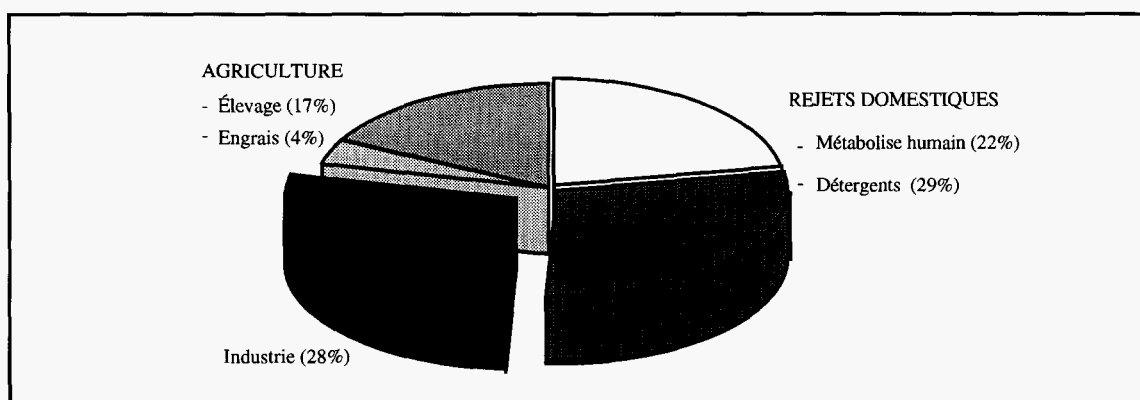
Ces estimations reflètent la situation moyenne en France entre 1985 et 1990, mais elles s'accompagnent de très fortes disparités régionales selon la densité des industries et des élevages⁸ et également selon les saisons.

⁸ La principale région française concernée par l'élevage est le bassin Loire-Bretagne. On y trouve 63% des porcins, espèce la plus responsable des charges polluantes.

2.4.1.4. CONTRIBUTION DE CHAQUE SECTEUR AU NIVEAU NATIONAL

Si l'on ne considère que les rejets de phosphates, nous pouvons estimer la contribution potentielle relative des différents secteurs émetteurs en France à l'eutrophisation. Les calculs sont donnés et commentés dans la section 2.1.5 du chapitre 2 page 49.

Figure 12: Contribution de chaque secteur au rejet de phosphates au niveau national



⇒ *Les rejets domestiques*

Ils représentent environ la moitié des rejets de phosphates dans le milieu aquatique. On considère qu'un habitant rejette environ 4 grammes de phosphore par jour: un tiers a pour origine les déjections humaines et le reste provient de l'utilisation des lessives contenant des TPP (TriPolyPhosphates) (38).

⇒ *L'industrie*

Les activités les plus concernées sont le secteur agro-alimentaire, les ateliers de traitement de surface, l'industrie chimique et parachimique, les usines de fabrication d'engrais, les fabriques de pâtes à papier. Ces rejets correspondent à environ 30% des apports totaux.

⇒ *L'agriculture*

- les apports agricoles dus aux élevages:

les lisiers de porcs notamment sont responsables de rejets importants de phosphore biodisponible, c'est à dire directement assimilable par les algues. Ils représentent environ 17% des apports.

- les apports agricoles dus aux fertilisants minéraux:

il s'agit de rejets diffus résultant de l'érosion des terres agricoles et ne représentent qu'environ 5% des apports. Ces rejets sont variables dans l'année et liés au ruissellement.

⇒ *Le traitement des déchets*

Le Ministère de l'environnement estime les rejets du traitement des déchets industriels nuls en phosphore (22). Les données recueillies auprès des Agences de l'Eau ne permettent pas d'évaluer ces rejets qui semblent toutefois très faibles. Elles ne concernent que les rejets aqueux de certains sites de traitement des déchets industriels.

Il apparaît de ce fait qu'il faudrait d'avantage mettre l'accent sur les apports domestiques plutôt que sur les apports agricoles qui sont souvent considérés, à tort, comme principaux responsables des rejets de phosphore.

2.4.1.5 CE QU'IL FAUT RETENIR

Eutrophisation des eaux

Pollution locale

Il s'agit de la prolifération de végétaux aquatiques par photosynthèse due à un apport trop important de matières nutritives.

⇒ Polluants mis en cause

Tout polluant pouvant constituer, directement ou indirectement, un apport nutritif pour les organismes.

- **phosphates**
- **nitrates**
- **matières organiques**

⇒ Les effets

- modification des caractéristiques organoleptiques (goût, odeur, etc.)
- modification de la flore et de la faune aquatique due au manque d'oxygène
- libération de produits pouvant être toxiques (sécrétés par les algues, relargués par les sédiments, etc.)

⇒ Les chiffres significatifs

- rejets de phosphates

- **Domestiques** (51%)
- **Industriels** (28%)
- **Agricoles et élevages** (21%)

Les rejets dues au traitement des déchets n'ont pas été estimés.

- rejets de nitrates

- **Agricoles et élevages** (75%)
- **Domestiques et industriels** (25%)

2.4.2 LA POLLUTION TOXIQUE DE L'AIR

2.4.2.1. PRÉSENTATION

La concentration de certains polluants dans l'atmosphère, notamment en milieu urbain ou industriel, pose de plus en plus de problèmes de santé publique. Les phénomènes liés à cette pollution ne sont pas encore très bien connus mais de nombreuses études sont en cours.

La pollution toxique peut se scinder en deux sous-catégories suivant les polluants considérés:

-la première comprend les **polluants atmosphériques "classiques"** tels que le dioxyde de soufre (SO₂), les oxydes d'azote (NO_x), le monoxyde de carbone (CO), etc.

Ces polluants sont très fréquemment rencontrés en milieu urbain mais ce n'est qu'à partir d'une concentration relativement importante ou par effet de synergie qu'ils ont des effets sur la santé.

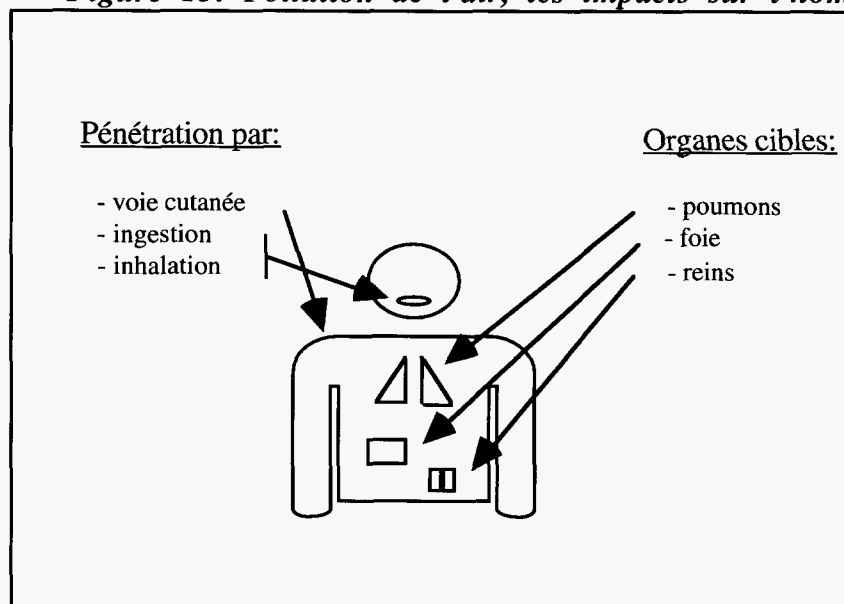
-la deuxième regroupe les **polluants toxiques sous forme de trace**. Ils présentent une toxicité beaucoup plus forte que les polluants classiques. Sont compris dans cette catégorie les métaux lourds, les composés organiques comme le benzène ainsi que les fibres telles que l'amiante.

Les êtres humains peuvent être exposés aux polluants toxiques par **inhalation, contact cutané ou par ingestion**.

Alors que les effets sur la santé des polluants classiques sont relativement bien connus, les polluants en trace dans l'atmosphère sont encore à l'étude et leurs effets sont probablement très variés.

Les polluants toxiques peuvent passer de l'atmosphère à d'autres milieux tel que l'eau, où ils peuvent provoquer d'autres dommages pour l'homme et son environnement.

Figure 13: Pollution de l'air, les impacts sur l'homme



2.4.2.2. MÉCANISMES ET EFFETS

2.4.2.2.1 "Mécanismes"

L'émission d'un polluant et sa dispersion dans l'atmosphère sont fonction des paramètres météorologiques et des caractères particuliers de l'émetteur. De ce fait, l'exposition à la pollution atmosphérique prend deux aspects extrêmes:

- les expositions de courte durée souvent marquées par de **mauvaises conditions de diffusion** se traduisant pendant quelques heures ou quelques jours par un accroissement considérable des niveaux de pollution.
- les expositions quasi permanentes caractérisées par des niveaux de pollution plus faibles et, en l'absence de modification importante des quantités de polluants émises, plus stables dans le temps.

Qu'appelle-t-on mauvaises conditions de diffusion ?

Par temps froid ensoleillé, la couche d'air proche du sol se refroidit à son contact pendant la nuit, alors que les couches plus élevées conservent la température plus clémente de la journée. Résultat: l'air chaud des couches supérieures se comporte comme un couvercle qui empêche les polluants de s'élever et de se disperser. De plus, dès les premières lueurs du jour, le rayonnement solaire déclenche des réactions chimiques à partir de certains de ces polluants bloqués au sol (47).

2.4.2.2.2 Les effets

Les effets sur la santé de l'homme peuvent être aigus ou chroniques: les premiers sont marqués par une surmorbidity (accroissement des facteurs de maladie), les seconds par des effets sur la qualité de la vie.

Dans le cas d'exposition chronique à la pollution, les effets biologiques sont souvent difficiles à mettre en évidence. La détermination de ces effets sur l'homme reste difficile du fait d'une part de l'impossibilité de recourir à des expérimentations et d'autre part du fait de l'existence de facteurs secondaires importants: météorologie, situation géographique, conditions socio-économiques.

On constate également des effets de synergie entre les différents polluants: ainsi, deux polluants pourront, du fait de leur interaction, être néfastes pour la santé humaine bien qu'ils soient présents à des concentrations telles que, pris séparément, ils n'ont pas d'effets notables. A l'inverse, il existe des effets antagonistes qui abaissent le pouvoir toxique de certains polluants.

Il n'y a pas de linéarité entre les concentrations en polluants et les effets sur l'homme. Il apparaît donc malaisé de déterminer des méthodes d'échantillonnage et d'analyse fiables et de choisir des indicateurs synthétiques de pollutions et d'effets sur la santé qui soient incontestables.

Les effets importants de ces polluants sur les matériaux et les végétaux méritent aussi d'être soulignés.

Les trois tableaux suivant présentent les effets toxiques et écotoxiques des principaux polluants atmosphériques.

Tableau 27: Effets toxiques des polluants atmosphériques classiques

Dioxyde de soufre (SO ₂)	En synergie avec les poussières, peut provoquer des difficultés respiratoires chez les personnes fragiles: irritation des muqueuses des voies aériennes, accroissement des pathologies respiratoires.
Oxydes d'azote (NO et NO ₂)	NO ₂ provoque une diminution de la fonction respiratoire. NO affecte le transport de l'oxygène par le sang.
Monoxyde de carbone (CO)	Prend la place de l'oxygène pour se combiner à l'hémoglobine du sang, ce qui conduit à une hypoxie tissulaire, cérébrale et cardiaque.
Ozone (O ₃)	Provoque des troubles fonctionnels des poumons, des nuisances olfactives, des effets lacrymogènes, des irritations des muqueuses et une diminution de l'endurance à l'effort.
Hydrocarbures	Effets très divers selon leur nature: - odeurs désagréables sans effet sur la santé pour certains hydrocarbures soufrés. - effets carcinogènes ou mutagènes pour certains composés polycycliques.
Poussières	Peuvent aider le transport des polluants jusqu'aux alvéoles pulmonaires. Attaques des muqueuses nasales. Augmentation de la susceptibilité aux infections pulmonaires.

Source: (39)

Tableau 28: Effets toxiques de certains polluants atmosphériques en trace: Les métaux et métalloïdes

Arsenic (As)	Cancer du poumon, troubles dermatologiques notamment dermatite ulcérate, effets hématologiques notamment anémie.
Béryllium (Be)	Dermatite, ulcères, inflammation des muqueuses.
Cadmium (Cd)	Affections respiratoires aiguës et chroniques, troubles rénaux, cancérogenèse pour les animaux.
Chrome (Cr)	Cancer du poumon, cancers gastro-intestinaux, dermatites.
Mercuré (Hg)	Effets sur le système nerveux notamment troubles de la mémoire immédiate, troubles des fonctions sensorielles et de coordination; problèmes rénaux.
Nickel (Ni)	Maladies respiratoires notamment asthme, altération des mécanismes de défense de l'appareil respiratoire. Anomalies et malformations congénitales, cancers du nez et du poumon.
Plomb (Pb)	Interférence avec les processus hématopoïétiques, affection du foie et des reins, effets neurologiques.
Thallium (Th)	Bioaccumulation, effets toxiques sur les plantes et les animaux.
Vanadium (V)	Irritation des voies respiratoires, asthme, troubles nerveux, modifications de la formule sanguine.

Source : (39) (42)

Tableau 29: Effets toxiques de certains polluants atmosphériques en trace: Les composés organiques

Benzène (C ₆ H ₆)	Leucémie, symptômes de neurotoxicité, affections de la moelle osseuse, anémie, aberrations chromosomiques.
Dibenzodioxines et dibenzofurannes	Malformations congénitales, affections cutanées, lésions du foie, inhibition du système immunitaire.
Formaldéhyde (HCHO)	Aberrations chromosomiques, irritation des yeux, du nez et de la gorge, dermatite, infections des voies respiratoires chez les enfants.
Toluène (C ₆ H ₅ -CH ₃)	Dysfonctionnement du système nerveux central, irritation des yeux.
Trichloréthylène (C ₂ HCl ₃)	Altération des fonctions psychomotrices, irritation de la peau et des yeux, lésions du foie et des reins, tumeurs et lymphomes des voies urinaires.
Diphényles polychlorés (PCB)	Fausses couches, malformations congénitales, bioaccumulation dans les chaînes alimentaires.
Composés organiques polycycliques	Cancers des voies respiratoires et du poumon, cancers de la peau.

Sources: (39) (42)

2.4.2.3. LES POLLUANTS CONCERNÉS

Les polluants toxiques sont de deux ordres: les polluants atmosphériques classiques et les polluants toxiques en trace.

2.4.2.3.1 Présentation et caractéristiques

2.4.2.3.1.1 Les polluants atmosphériques classiques

On range dans cette catégorie, tous les polluants que l'on rencontre fréquemment en zone urbaine ou fortement industrialisée. Ce sont des substances qui n'ont pas un fort pouvoir toxique mais qui peuvent se trouver en très forte concentration dans l'atmosphère car émises par de nombreuses sources.

Ces polluants peuvent se présenter sous forme gazeuse ou sous forme d'aérosol, suivant le type de composés.

⇒ *Les composés soufrés*

Il s'agit principalement du dioxyde de soufre (SO₂). En milieu urbain, ils ont pour origine principale la combustion des produits soufrés (industries, chauffage, voitures...).

⇒ *Les oxydes d'azote (NO et NO₂)*

Ce sont les polluants majoritaires du secteur transport. Le secteur de l'énergie participe aussi, dans une moindre mesure, à l'émission de ces polluants.

⇒ *Les poussières et particules*

Elles sont en grande majorité d'origine industrielle (combustion de matières fossiles). La contribution du secteur transport (utilisation des moteurs diesel), notamment en zone urbaine, n'est cependant pas négligeable.

⇒ *Les hydrocarbures*

Ils résultent des combinaisons entre atomes d'hydrogène et atomes de carbone. Ils proviennent de l'industrie et de la combustion incomplète des carburants.

⇒ *L'ozone*

Ce polluant est produit lors de réactions photochimiques entre les oxydes d'azote, les hydrocarbures et les composés organiques volatils essentiellement d'origine automobile.

⇒ *Le monoxyde de carbone*

Il est issu d'une combustion incomplète, notamment dans les moteurs à essence des véhicules.

2.4.2.3.1.2 les polluants toxiques en trace

Cette catégorie comporte beaucoup plus de polluants qui ont été moins étudiés que les polluants classiques et ne font pas l'objet d'un contrôle systématique.

Beaucoup d'entre eux sont émis par des industries spécifiques et posent donc des problèmes de pollution locale ainsi que des problèmes d'exposition professionnelle. Toutefois, un grand nombre de polluants toxiques en trace sont émis par une grande diversité d'autres sources.

⇒ *les métaux et métalloïdes*

Si sept métaux au moins sont indispensables à toute forme de vie, il existe des métaux, tels que l'arsenic (As), le cadmium (Cd), le mercure (Hg) ou le plomb (Pb) qui n'ont probablement aucune incidence biologique favorable et sont souvent très toxiques même à de faibles concentrations. D'une manière générale, la plupart des métaux dont les concentrations sont supérieures à celles du milieu naturel sont toxiques pour les organismes vivants. Les métaux lourds sont particulièrement préoccupants pour l'environnement car ils sont très persistants et certains de leurs dérivés peuvent s'accumuler dans les organismes vivants le long de la chaîne alimentaire: ils s'accumulent dans les poissons et dans le lait des vaches, pénétrant ainsi dans la chaîne alimentaire, au risque de provoquer de graves problèmes de santé chez l'être humain.

Les dépôts de métaux lourds modifient la biochimie et la biologie des sols, et leur accumulation dans les écosystèmes aquatiques et terrestres peut inhiber la vitalité des végétaux et des animaux.

Le plomb:

L'origine principale du plomb est la circulation automobile. Cette pollution a très nettement baissé depuis l'introduction de l'essence sans plomb et plus généralement depuis la diminution de la teneur en plomb des carburants classiques.

Les autres métaux: mercure, cadmium, zinc, thallium, Nickel, chrome.

Ils sont rejetés en quantités notables par les installations de traitement de minerais ou de métaux, mais aussi par le secteur de la transformation d'énergie fossile.

⇒ *Les composés organiques*

Ces polluants sont très nombreux, donc difficilement contrôlables et identifiables. Ils proviennent de sources aussi diverses que les usines de matières plastiques et de produits chimiques, les établissements de nettoyage à sec, les usines de traitement des déchets et les automobiles.

Ils comprennent les dioxines, les furannes qui sont essentiellement émis par les incinérateurs de déchets mais aussi le benzène, le chlorure de vinyle, le formaldéhyde, le toluène, etc.

Les dioxines et les furannes (11):

La plupart des études toxicologiques ont porté sur le composé le plus toxique: le 2,3,7,8-TétraChloroDibenzoDioxine (2,3,7,8-TCDD). Peu d'études ont été faites sur les autres composés, mais les données les plus récentes confirment que ce sont les composés qui contiennent au moins des atomes de chlore dans les positions 2,3,7 et 8 qui sont toxiques de façon significative.

Dans la pratique, les différents PolyChloroDibenzoDioxines/Furannes (PCDD/F) se présentent sous forme de mélanges complexes; il est donc nécessaire de pouvoir estimer la toxicité de tels mélanges. La notion d'Équivalent Toxique (Toxic Equivalent: TE) a donc été développée.

Chaque composé PCDD/F est associé à un facteur de toxicité équivalente (TEF) qui, multiplié par la concentration, fournit une toxicité équivalente (TEQ). Ensuite, on fait la somme de toutes les toxicités équivalentes de chacun des composés du mélange.

Différentes listes de TEF ont été proposées, mais c'est maintenant la liste proposée par le "NATO Committee on Challenges to Modern Society" qui est la plus souvent utilisée et qui est devenue internationale (I-TEF et I-TEQ).

⇒ *Les fibres toxiques*

Elles sont souvent diffusées par les matériaux de construction, soit parce qu'elles y sont présentes naturellement, soit parce qu'elles ont été ajoutées en raison de leur pouvoir isolant. Les principales fibres toxiques sont les fibres d'amiante.

2.4.2.3.2 Émissions annuelles de 11 polluants toxiques en France

Nous avons regroupé dans le tableau suivant toutes les données disponibles, permettant d'évaluer la contribution des différents secteurs à la pollution toxique de l'air en France.

Tableau 30: Estimation des émissions annuelles de 11 polluants toxiques en France

	(10 ³ Tonnes)			(g I-TEQ)	(Tonnes)						
	SO ₂	NO _x	CO	PCDD/F	Cr	Cu	Pb	Ni	Zn	Cd	Hg
(S1)	543	122	563		5	8	10	2	40	1	5
(S2)	400	149	712	10	530	438	509	715	774	6	5
(S3)	166	100	2201		16	32	22	143	23		
(S4)	19	24	232	1220	1	2	39	1	34	5	11
(S5)	14	70	174		0	0	0	0	0		
(S6)	155	1089	6853	16	0	0	3731	0	0		
Total	1300	1550	10735	1250	552	480	4311	861	871		21
<i>sources</i>	<i>(5)</i>			<i>(11)</i>	<i>(9)</i>				<i>(16)</i>	<i>(17)</i>	

(S1): production d'énergie

(S2): industrie

(S3): résidentiel/tertiaire

(S4): traitement des déchets

(S5): agriculture/sylviculture

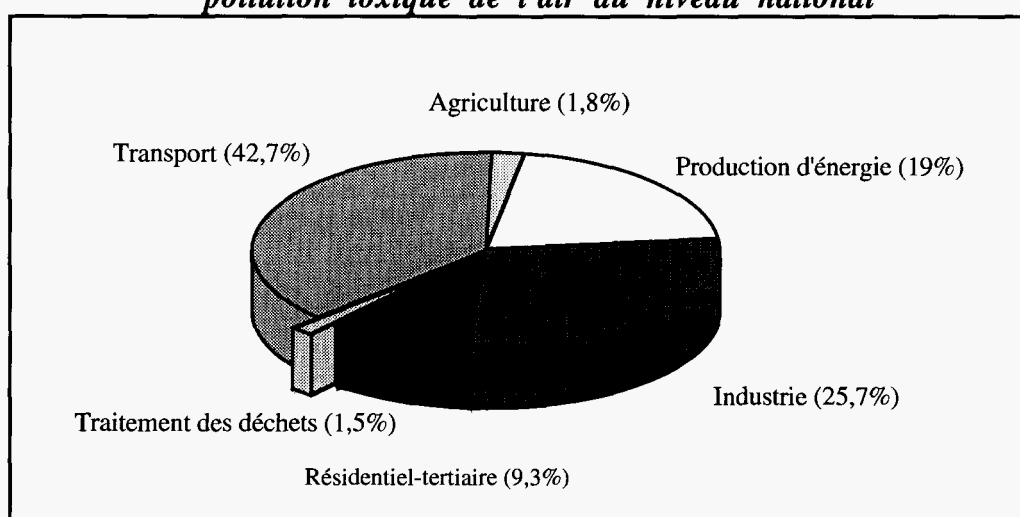
(S6): transport

2.4.2.4. CONTRIBUTION DE CHAQUE SECTEUR AU NIVEAU NATIONAL

L'attribution d'un coefficient (HCA) a permis d'établir une relation entre polluants toxiques et pollution par secteur émetteur. Cette répartition n'a pas la prétention de rendre à chacun sa part de responsabilité à la pollution toxique mais simplement de donner une idée de la charge polluante toxique issue de chaque secteur.

Cette évaluation a été faite à partir des données disponibles. Elles concernent les estimations d'émissions de 11 polluants: SO₂, NO_x, CO, dioxines-furannes, chrome, cuivre, nickel, plomb, zinc, cadmium et mercure (voir tableau 30, page précédente). Les calculs sont donnés et commentés dans la section 2.1.6 du chapitre 2 page 50.

Figure 14: Contribution de chaque secteur à la pollution toxique de l'air au niveau national



⇒ *Le transport*

Les principaux polluants toxiques liés à ce secteur sont le monoxyde de carbone, les oxydes d'azote et surtout le plomb. Les valeurs d'émissions du plomb ont très sensiblement baissé depuis 10 ans. Des calculs similaires ont été faits avec les valeurs d'émissions en plomb de 1985, la contribution du transport s'élevait alors à 45%.

⇒ *L'industrie*

Les industries de traitement et de raffinage des métaux sont les principales émettrices de polluants toxiques. Non seulement, elles émettent des métaux, mais aussi du monoxyde de carbone en grande quantité.

⇒ *Le traitement des déchets*

Malgré des émissions de dioxines-furannes représentant plus de 90% des émissions totales en France, le secteur traitement des déchets ne contribue que très faiblement à la pollution toxique de l'air. Cela est dû à la faible masse émise de polluants ayant un fort pouvoir toxique par rapport à des secteurs tels que la production d'énergie qui émettent des polluants aux pouvoirs moins toxiques mais en quantité très supérieure.

2.4.2.5 CE QU'IL FAUT RETENIR

Pollution toxique de l'air

Pollution locale

Pollution touchant les zones urbaines ou fortement industrialisées.

⇒ **Polluants mis en cause**

Tout polluant qui peut se rencontrer à une concentration suffisante lui permettant d'avoir des effets sur la santé.

- Principaux polluants classiques
 - **SO₂**
 - **NO_x**
 - **CO**
 - **poussières**
- Principaux polluants en trace
 - **métaux lourds**
 - **fibres toxiques (amiante, ...)**
 - **certains composés organiques (benzène, toluène, dioxine, ...)**

⇒ **Les principaux effets**

- irritation des voies respiratoires
- lésions du foie et des reins
- effets cancérigènes et mutagènes

⇒ **Les chiffres significatifs**

- les deux plus fortes contributions:
 - **Transport (42,5%)**
 - **Industrie (25,5%)**
- contribution du **traitement des déchets: 1,5%**

2.4.3 LA POLLUTION TOXIQUE DE L'EAU

2.4.3.1. PRÉSENTATION

Toute substance pouvant être toxique quelle que soit sa nature puisque c'est la dose qui fait le poison, nous n'avons répertorié que les polluants qui en raison de leur toxicité, de leur persistance, de leur bio-accumulation, sont de nature à engendrer des nuisances même lorsqu'ils sont rejetés en très faible quantité. Ce sont principalement certains métaux et métalloïdes, des composés phénoliques, des organohalogénés (lindane, DDT, PCB, etc), certains hydrocarbures.

Ces substances toxiques peuvent atteindre le milieu aqueux:

- par rejet direct d'eaux résiduelles industrielles ou domestiques dans les cours d'eau;
- par ruissellement ou infiltration (cas des produits agricoles);
- par précipitations ou retombées humides de polluants atmosphériques.

Dans notre étude seuls les rejets directs sont considérés, la contamination par l'agriculture bien qu'importante, n'étant pas prise en compte faute de données. La pollution accidentelle n'est également pas prise en compte.

2.4.3.2. "MÉCANISMES"

L'écotoxicité d'un polluant est caractérisée par les effets de toute nature de ce polluant sur les espèces vivantes et leurs organismes, leurs rapport avec la matière inanimée, leurs rapports entre elles et avec l'homme.

Les effets d'un polluant dépendent:

- des doses admises par ces organismes,
- de la facilité d'assimilation du polluant par ces organismes, des mécanismes d'action du polluant,
- de la sensibilité des organismes récepteurs.

En milieu aqueux, l'effet du polluant rejeté dépendra fortement du milieu récepteur: la présence d'autres polluants peut entraîner des phénomènes de synergie (par exemple pour le cadmium en présence de cuivre), la minéralisation de l'eau peut influencer le caractère toxique d'un polluant (en générale, toxicité maximale dans des eaux peu calcaires) ainsi que certains paramètres physico-chimiques: température, pH, etc.

La pollution toxique de l'eau concerne deux milieux:

- les eaux de surface, on parlera alors d'écotoxicité;
- les nappes phréatiques où elle peut poser des problèmes pour la potabilité de l'eau; on parlera alors plutôt de la toxicité vis-à-vis de l'homme.

2.4.3.3. POLLUANTS CONCERNÉS

Compte tenu de l'ampleur du domaine, la liste des polluants toxiques rapportée ci-dessous est limitative et résulte d'un choix arbitraire en fonction des données les mieux connues et les plus fréquemment exposées dans les travaux scientifiques.

2.4.3.3.1 Les composés azotés

Les composés azotés sont présents dans l'eau sous différentes formes: nitrates, nitrites, ammonium, etc. Mais ce sont l'azote ammoniacal et les nitrites qui présentent le plus d'effets toxiques.

2.4.3.3.1.1 Toxicité de l'azote ammoniacal

L'azote ammoniacal se trouve dans l'eau sous forme ionisée (NH_4^+), peu néfaste vis-à-vis de la faune aquatique, ou sous forme ammoniac (NH_3) qui, en revanche, peut entraîner de graves conséquences sur les milieux récepteurs du fait de sa toxicité. Dans la plupart des eaux superficielles (pH entre 6,5 et 8,5), l'azote ammoniacal se trouve sous la forme la moins toxique.

L'ammoniac provoque, même à de faibles concentrations, des lésions branchiales chez les poissons qui limitent les échanges entre le sang et le milieu extérieur.

2.4.3.3.1.2 Toxicité des nitrites

Alors que l'ion nitrate (NO_3^-) est stable, donc peu réactif et a donc peu d'effet toxique, l'ion nitrite (NO_2^-) est quant à lui instable et très réactif et se caractérise de ce fait, par des propriétés toxiques. La présence de nitrates dans les eaux est donc surtout indésirable du fait des possibilités de transformation en nitrites.

En outre, les nitrites peuvent être présents dans l'eau sous forme non ionisée d'acide nitreux (HNO_2) ou ionisée (NO_2^-). La première forme, qui apparaît dans certaines conditions de température et de pH, est la plus toxique pour les organismes vivants. C'est elle qui intervient dans le phénomène de méthémoglobinémie et dans la production soupçonnée de nitrosamines.

Impact sur le milieu récepteur:

En rivière, dans les conditions d'étiage (température et pH élevés), il y a formation d'acide nitreux dont la toxicité se manifeste à faible dose, en particulier chez les salmonidés.

Impact sur la potabilité de l'eau (23):

Lors de leur ingestion, les nitrates sont en grande partie éliminés par l'organisme, le reste étant susceptible de se transformer en nitrites. Ces nitrites ont deux effets majeurs:

1. un effet cancérigène

C'est dans l'oesophage que les nitrites réagissent avec les amines pour se transformer en nitrosamines, dont le pouvoir cancérigène est connu depuis les travaux de Magee et Barnes en 1956.

2. un effet de cyanose

Dans le sang, les nitrites induisent la transformation de l'hémoglobine en méthémoglobine, molécule qui n'assure plus le transfert de l'oxygène, ce qui conduit à l'empoisonnement du sang.

2.4.3.3.2 Les métaux et métalloïdes

Ce sont des matières inhibitrices de toute forme de vie, dangereuses à très toxiques sous des doses toujours relativement faibles.

Le danger de ces rejets, même en quantités infinitésimales, tient au phénomène d'accumulation qui fait croître exponentiellement leur concentration tout au long de la chaîne alimentaire.

2.4.3.3.2.1 Le cadmium (Cd)

Les divers composés du cadmium présentent des effets toxiques très variables selon leur solubilité et donc, leur facilité d'assimilation par l'organisme. Ainsi, le chlorure de cadmium, soluble, apparaît plus toxique que le sulfure de cadmium très insoluble. Il faut également noter le pouvoir synergique important du cadmium vis-à-vis d'autres métaux (cuivre en particulier).

La toxicité du cadmium vis-à-vis du poisson est assez mal connue. Chez l'homme, le cadmium est rarement toxique par voie digestive. Le principal danger du cadmium réside dans son effet cumulatif. Il peut entraîner, notamment, des lésions des tissus rénaux se traduisant par une protéinurie, ainsi qu'une pathologie osseuse dénommée "maladie d'Itai-Itai".

2.4.3.3.2.2 Le mercure (Hg)

Tous les composés mercuriels sont, dans une certaine mesure, toxiques. Parmi eux, il est toutefois reconnu que le méthylmercure ($\text{CH}_3\text{-Hg}^+$) est le plus dangereux du fait de sa stabilité et de la facilité avec laquelle il est assimilé par les organismes vivants.

Chez l'homme, le mercure peut pénétrer dans l'organisme par consommation d'eaux contaminées. Les conséquences d'intoxications au mercure sont très variables selon qu'il s'agisse d'intoxications aiguës ou chroniques: de nombreux organes sont susceptibles d'être affectés et les symptômes concernent le plus souvent le système nerveux, les yeux et les reins.

2.4.3.3.2.3 Le plomb (Pb)

Le plomb ne reste généralement pas très longtemps en solution dans les eaux du milieu naturel car, à l'exception de certains sels très solubles comme les acétates et les chlorures, il est insoluble sous forme de carbonate et d'hydroxyde ou très peu soluble sous forme de sulfate.

Les micro-organismes responsables des phénomènes de dégradation aérobie des matières organiques sont très sensibles au plomb. La toxicité vis-à-vis des poissons est variable selon la minéralisation des eaux (toxicité maximale dans les eaux peu calcaires) et l'espèce étudiée. Chez l'homme, la voie digestive et l'une des deux voies d'assimilation du plomb. La manifestation du saturnisme est conditionnée par la longue rétention du plomb dans l'organisme, ce qui en fait un poison typiquement cumulatif.

2.4.3.3.2.4 Le cuivre (Cu)

La toxicité du cuivre varie en fonction des espèces et des caractéristiques physico-chimiques de l'eau. Elle dépend en particulier de la température, de la concentration en oxygène dissous, de la dureté et de la quantité de dioxyde de carbone libre.

En présence d'une eau dure, une grande partie du cuivre sera précipitée sous forme de composés insolubles et, en particulier, de carbonates.

Le cuivre n'a pas d'effet cumulatif chez l'homme et les intoxications sont exceptionnelles.

2.4.3.3.2.5 Le zinc (Zn)

Ce sont les sels tels que les chlorures et les sulfates qui sont susceptibles de se retrouver partiellement dans le milieu naturel de par leur grande solubilité.

Vis-à-vis des poissons et des autres organismes aquatiques, le zinc présente une toxicité variable selon la dureté de l'eau: une eau dure sera moins toxique qu'une eau plus douce. L'effet toxique n'est en général pas immédiat et un poisson soumis à une pollution accidentelle par le zinc peut ne mourir que quelques jours après.

2.4.3.3.2.6 Le chrome (Cr)

Les problèmes liés à la nuisance des sels de chrome sont assez complexes et font l'objet de controverses.

Le chrome VI est très mobile dans les organismes vivants, où il peut inhiber la chaîne des réactions de la respiration, ou encore jouer le rôle d'agent mutagène en modifiant la structure des bases d'ADN. Le chrome VI est considéré comme très toxique.

Le chrome III est considéré comme sans danger significatif pour l'alimentation en eau potable, la faune et la flore aquatique. A très faible concentration, il semble même avoir une fonction biologique très établie, intervenant en tant que constituant essentiel des systèmes métaboliques de nombreux organismes vivants.

2.4.3.3.2.7 L'arsenic (As)

L'arsenic est connu pour être particulièrement toxique pour l'homme. En outre il a un effet cumulatif dans le corps humain et sa disparition lente peut conduire à des conséquences graves sur la santé après absorption répétée de doses faibles.

Les manifestations de l'intoxication arsenicale sont très polymorphes; le tube digestif, le foie, les reins, le coeur, le système nerveux et la peau sont le plus souvent touchés.

2.4.3.3.3 Autres polluants

2.4.3.3.3.1 Les organochlorés

Les organochlorés sont des composés généralement persistants dont la toxicité pour l'environnement est largement reconnue, notamment après bio-amplification (accroissement du taux d'accumulation d'un niveau de la chaîne alimentaire au suivant). Ils sont susceptibles d'interférer sur la reproduction du monde animal, de perturber le système immunitaire et d'attaquer le système nerveux et des organes tels que le foie et les reins.

Lorsque les organochlorés pénètrent dans l'environnement aquatique, leur comportement dépend de leurs propriétés physiques:

- Les CFC et les solvants comme le chloroforme et le tétrachlorure de carbone sont généralement volatils et ont donc tendance à pénétrer dans l'atmosphère où ils se décomposent lentement.

- Les composés organiques comme les PCB, la dieldrine et les dioxines sont moins volatils. Ils ont tendance à se fixer dans les sédiments et à remonter les chaînes alimentaires. Pour la plupart, les organochlorés se dissolvent plus facilement dans les graisses et les huiles que dans l'eau; ils ont donc tendance à s'accumuler dans les tissus adipeux des organismes vivants.

2.4.3.3.3.2 Les hydrocarbures

Les effets des hydrocarbures, outre leurs effets intrinsèques, sont souvent en grande partie liés aux additifs qui y ont été incorporés au stade de leur fabrication industrielle (phénols, amines aromatiques, etc.).

2.4.3.3.3 Les fluorures

La présence de fluorures en quantité notable dans l'eau est susceptible de provoquer des effets toxiques importants sur les organismes aquatiques. Les symptômes d'intoxication présentés par les poissons correspondent à un état anorexique avec sécrétion accrue de mucus.

2.4.3.3.4 Les cyanures

Bien que la toxicité des cyanures soit généralement exprimée sous forme d'ions cyanures, la forme la plus toxique est la forme non dissociée HCN. L'effet toxique est important dans le domaine habituel de pH des eaux superficielles et devient également plus marqué lorsque la température croît ou lorsque la teneur en oxygène dissous du milieu diminue. Les cyanures sont extrêmement toxiques pour les organismes supérieurs.

2.4.3.3.5 Les phénols

Ce sont des composés dérivant des hydrocarbures benzéniques.

Ils ne peuvent provenir, pour des concentrations sensibles, que d'émissions industrielles: pétrochimie, cokeries, fonderies, industries chimiques et pharmaceutiques (colorants, pesticides, médicaments, détersifs, ...).

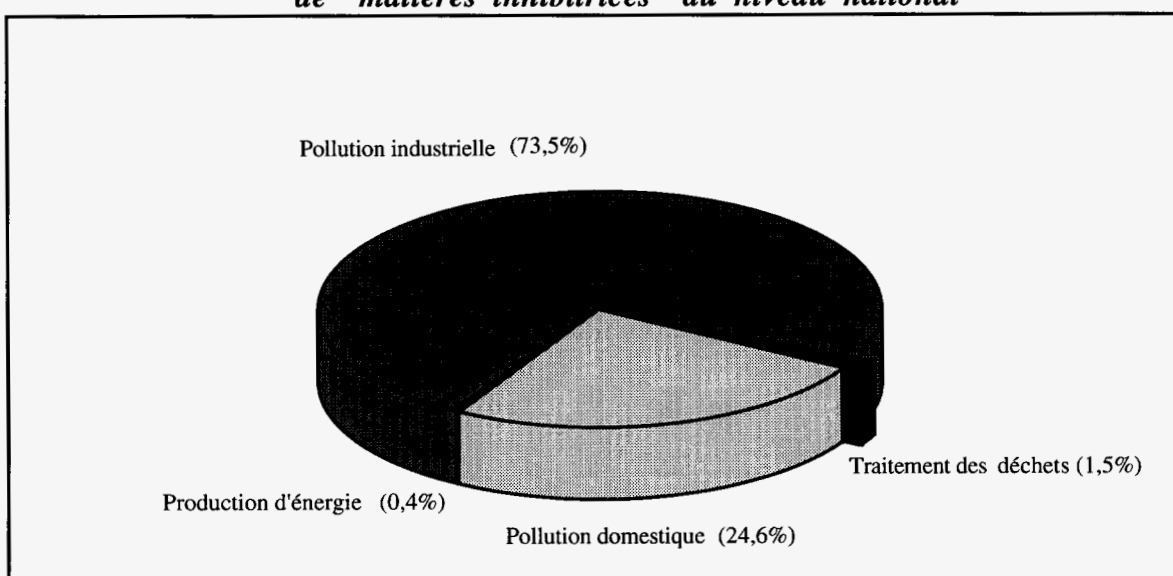
Leur toxicité est des plus élevées pour la plupart des organismes aquatiques.

Pour l'homme, les risques d'intoxication sont minimes, du fait du goût dissuasif que les phénols confèrent à l'eau (formation de chloro-phénols lors de la chloration des eaux potables avant distribution).

2.4.3.4. CONTRIBUTION DE CHAQUE SECTEUR AU NIVEAU NATIONAL

Il s'agit ici de comparer la contribution par secteur à l'émission de matières inhibitrices sous forme de rejets directs. Il ne s'agit donc pas d'évaluer la participation de chaque activité à la pollution toxique des eaux en terme d'impact écotoxicologique. Les calculs sont donnés et commentés dans la section 2.1.7 du chapitre 2 page 51.

Figure 15: Contribution de chaque secteur à l'émission de matières inhibitrices au niveau national



⇒ *Le secteur de l'industrie*

Le secteur industriel serait responsable d'environ 74% des rejets toxiques. Les branches industrielles présentant les plus forts rejets en toxiques sont:

- l'industrie chimique et parachimique qui contribue à environ 35% des rejets totaux;
- le traitement de surface qui contribue à environ 30% des rejets totaux.

⇒ *La pollution domestique*

Elle représenterait presque 25% des rejets toxiques soit l'équivalent du tiers de la pollution industrielle.

⇒ *Le traitement des déchets*

La contribution du secteur traitement des déchets aux rejets de matières inhibitrices dans l'eau semble négligeable (1,5%). Toutefois, la prudence doit prévaloir quant à la validité des données de ce secteur. En effet, les données utilisées ne concernent que le traitement des déchets industriels et ont été estimées d'après les données partielles obtenues auprès des Agences de l'Eau.

2.4.3.5 CE QU'IL FAUT RETENIR

Pollution toxique de l'eau

Pollution locale

Cette pollution dépend fortement des caractéristiques du milieu récepteur (minéralisation, pH, température, etc.).

Ses effets dépendent:

- des doses admises par l'organisme récepteur
- des mécanismes d'action du polluant
- de la sensibilité de l'organisme récepteur

⇒ Polluants mis en cause

Tout polluant qui en raison de sa toxicité, de sa persistance, de sa bio-accumulation, est de nature à engendrer des nuisances chez les organismes vivants.

- **composés azotés: nitrites, azote ammoniacal**
- **métaux et métalloïdes**
- **organohalogénés (PCB, DDT, etc.)**
- **hydrocarbures**
- **phénols, cyanures, fluorures, etc.**

⇒ Les effets

- toxiques (problème de la potabilité de l'eau pour l'homme)
- écotoxiques: effets sur le milieu récepteur (faune et flore aquatique)

⇒ Les chiffres significatifs

Contributions aux rejets aqueux directs de matières inhibitrices:

- **Industrie (73,5 %)**
- **Activités domestiques (24,5 %)**
- **Traitement des déchets (1,5 %)**

Nécessité de données concernant la pollution diffuse (agriculture, transport, etc.) et éventuellement les pollutions accidentelles.

CHAPITRE 3. LES SECTEURS

Au niveau national, on peut attribuer l'essentiel des polluants émis à un certain nombre de secteurs que nous avons répertoriés dans le tableau 31.

Tableau 31: Ensemble des secteurs répertoriés

SECTEURS	SOURCES POLLUANTES
INDUSTRIE	- sidérurgie et métaux lourds - métaux non ferreux - produits minéraux - chimie et pétrochimie - construction (automobile, aéronautique, électrique, etc.) - imprimerie, papier-carton - autres
PRODUCTION D'ÉNERGIE	- transformation d'énergie fossile (charbon, produits pétroliers, gaz naturel) - production d'électricité
RÉSIDENTIEL - TERTIAIRE	- consommation d'énergie (chauffage, cuisson) - produits de l'habitat émettant des polluants - eaux usées
TRAITEMENT DES DÉCHETS	- traitement des eaux usées - épandage des boues - traitement des déchets ménagers (incinération, stockage) - mise au rebut des encombrants - traitement des déchets industriels (incinération, traitements physico-chimiques, stockage) - production de biogaz - feux ouverts de déchets agricoles
AGRICULTURE - SYLVICULTURE	- culture - élevage - autres (engins, etc.)
TRANSPORT	- utilisation du carburant (transport routier, ferroviaire, fluvial, aérien, maritime) - climatisation des véhicules
NATURE	- biomasse et sols (forêts, marécages, etc.) - volcans - eaux libres - êtres vivants (termites, mammifères, être humains) - feux de forêts

Nous nous sommes plus particulièrement attachés à l'étude du secteur "traitement des déchets" pour lequel les rejets sont peu connus. Deux autres secteurs sont abordés dans la suite comme éléments de comparaison: le transport et le résidentiel-tertiaire.

Pour chaque secteur, dans la mesure des données disponibles, nous avons:

- défini les polluants caractéristiques,
- explicité les valeurs de rejet pour chacun de ces polluants au niveau national.

3.1 LE TRANSPORT

3.1.1. POLLUANTS ASSOCIÉS AU TRANSPORT

Les véhicules rejettent des polluants dans l'atmosphère lors de leur fonctionnement normal. Ils génèrent également divers déchets, qu'il s'agisse d'éléments consommés durant la "vie" de ces véhicules ou des véhicules eux-mêmes en fin de "vie".

Il faut également noter que, lors de leur production, les moyens de transport engendrent également beaucoup de déchets. Par exemple, l'automobile engendre 50% de son poids de déchets sur la chaîne de production, soit pour un véhicule moyen, 500 kg de déchets divers et polluants variés (32).

Ici, l'étude se limite à la production de polluants lors de l'utilisation des transports. On distingue donc les polluants dont le rejet est dû:

- à l'utilisation des carburants,
- à la climatisation des véhicules.

3.1.1.1 Utilisation des carburants

L'utilisation des carburants génère des polluants:

- par combustion,
- par fuite d'hydrocarbures au remplissage et pendant le stockage dans le réservoir.

Les polluants principalement émis sont:

- le gaz carbonique (CO₂),
- les oxydes d'azote (NO_x),
- le monoxyde de carbone (CO),
- les hydrocarbures,
- les poussières,
- les composés du plomb,
- les composés soufrés dont le dioxyde de soufre.

Formation de ces polluants:

• *Le gaz carbonique*

21% des émissions françaises de gaz carbonique sont dues aux transports (5).

• *Les oxydes d'azote*

Les oxydes d'azote résultent de la combinaison à haute température, au moment de la combustion, de l'azote présent dans l'air admis et de l'oxygène non utilisé. Ils sont présents à l'échappement essentiellement sous forme de NO et de NO₂ et en très petite quantité sous forme de N₂O. Les transports sont responsables de 69% des émissions de NO_x en France (5).

● **Le monoxyde de carbone**

Le monoxyde de carbone résulte d'une combustion incomplète et rapide du carburant. Son émission est maximale lorsque le moteur est froid ou fonctionne avec un mélange trop riche (41). On estime à 63% la participation des transports aux émissions de CO (5).

● **Les hydrocarbures**

Les hydrocarbures⁹ résultent à la fois d'une combustion incomplète du carburant et en partie de l'huile moteur et d'une transformation chimique de ces mêmes hydrocarbures. Les hydrocarbures évaporés sont identifiés de façon collective par l'intermédiaire des COV (Composés Organiques Volatils).

Ces COV proviennent:

- des gaz d'échappement (environ 82%),
- de l'évaporation au niveau du réservoir et du carburateur (environ 14%),
- de l'évaporation lors du remplissage des réservoirs (environ 3%) (31).

Les transports sont responsables de 42% des émissions de COV (5).

● **Les poussières**

Les particules de "suies" résultent d'un processus très complexe de transformation qui se produit durant et après la combustion. Surtout présentes lors de l'utilisation des moteurs diesel, elles sont constituées de carbone, d'hydrocarbures adsorbés, de composés soufrés et de composés minéraux variés. Les transports seraient responsables du rejet d'environ 76 000 tonnes¹⁰ de poussières par an (1992) dans l'atmosphère en France, soit environ 33% des émissions totales françaises (14).

● **Les composés du plomb**

Les composés du plomb proviennent de la combustion des additifs au plomb contenus dans les essences. Ces additifs sont des agents antidétonants qui améliorent les performances des moteurs. Ce sont principalement le tétraéthyle et le tétraméthyle de plomb. Les transports étaient responsables d'environ 87% des émissions de plomb dans l'atmosphère en 1990 avec un rejet annuel de 3 731 tonnes de plomb (9). Mais ce type de pollution est en décroissance régulière suite à la baisse de la teneur en plomb des carburants au plomb et surtout à la mise sur le marché en 1988-89 d'une essence sans plomb qui représente actuellement environ 50% des ventes de supercarburants. Une estimation globale des émissions de plomb dans l'atmosphère en France a été réalisée en 1992 par le CITEPA (9) à partir des données de consommation de carburant. Le dernier chiffre évoqué concerne l'année 1991 durant laquelle 1 856 tonnes de plomb furent rejetées dans l'atmosphère, plus de la moitié étant redéposée près des voies de circulation, le reste étant susceptible d'être transporté dans l'air.

● **Les composés soufrés**

Les composés soufrés sont émis principalement par les moteurs diesel car le gazole contient naturellement du soufre. Les transports participaient à 12% des émissions de SO₂ en 1990 (5) mais des limites de teneur en soufre de plus en plus draconiennes tendent à faire diminuer ce chiffre (soufre dans le gazole au 1/10/94: 0,2% maximum. Cette valeur doit descendre à 0,05% au 1/10/96).

● **Les dioxines et furannes**

Les dioxines et furannes produites par le trafic automobile représenteraient environ 1% des émissions en France (11). Toutefois ces estimations sont très approximatives.

⁹Les hydrocarbures peuvent se rencontrer à l'état gazeux, à l'état liquide ou solide et sous forme libre ou adsorbés sur des poussières.

¹⁰Les émissions en provenance des véhicules automobiles à essence ne sont pas prises en compte. Les émissions de poussières sont donc quelque peu sous-estimées.

On observe ainsi la contribution majoritaire des transports à la pollution atmosphérique. Ils constituent pour les NO_x, CO, COV la principale source en France et par ailleurs une source significative en ce qui concerne le CO₂ et à un degré moindre le SO₂.

On constate également que la pollution due aux transports provient à plus de 90% du transport routier et que la répartition de ses émissions sur l'ensemble du territoire est très variable et liée aux centres urbains et grands axes de communication. Les émissions varient d'un rapport de 350 entre Paris et la Creuse (5). Ainsi, à l'échelle de la ville, la voiture explique 2/3 des émissions de CO, 3/4 des émissions d'hydrocarbures, plus de 1/3 des émissions de NO_x et presque la moitié des émissions de CO₂.

3.1.1.2 Climatisation des véhicules

Bien que le parc automobile équipé de climatisation reste peu développé en France (1,3% du parc automobile en 1991), les émissions de CFC dues aux fuites de la climatisation des véhicules sont importantes. Elles représenteraient 342 tonnes de CFC 12 et 31 tonnes de HCFC 22 pour 1991¹¹.

Toutefois, les derniers amendements du protocole de Montréal ainsi que le règlement européen du 30 Décembre 1992 ont fixé l'arrêt de la production et de la consommation de CFC au 1er Janvier 1995 et celle des halons au 1er Janvier 1994. Ainsi, d'ici quelques années, les CFC devraient être remplacés par des produits de substitution et la libération de CFC par les climatisations devrait être stoppée.

3.1.1.3 Transport des déchets

La participation du transport des déchets aux émissions totales dues au transport en France est une donnée intéressante.

Selon l'ADEME (Conseil scientifique, Mars 95), la quantité de déchets transportés annuellement en France représenterait 250 millions de tonnes pour 1,5 milliards de tonnes de marchandises transportées (hors déchets). Ainsi, près de 15% du transport de marchandises ne concerne que le transport des déchets avant acheminement au site de traitement. Toutefois, l'évaluation de ces flux est approximative. La connaissance des destinations et du mode de transport est nécessaire pour pouvoir estimer la participation du transport des déchets aux émissions totales dues au transport. Ces données n'étant pas accessibles, il n'a donc pas été possible d'évaluer cette participation.

3.1.1.4 Les déchets¹²

Nous avons choisi d'associer la gestion des déchets de consommation ou de fin de vie des véhicules au secteur "traitement des déchets". Les indications suivantes ne sont donc données qu'à titre d'information sur les déchets des transports et aucune quantification des rejets dus à la gestion de ces déchets n'entre dans le bilan global du secteur "transport".

Les véhicules automobiles génèrent annuellement de l'ordre de 2 millions de tonnes de déchets en France. Ces déchets se répartissent comme indiqué dans le tableau suivant:

¹¹Éléments de calcul:

- il y avait 23 680 000 véhicules en France en 1991 (1).
- 300 000 véhicules étaient climatisés.
- la charge moyenne d'un véhicule est de 2,5 kg avec 92,7% de CFC 12 et 7,3% de HCFC 22.
- un véhicule climatisé perd une charge complète tout les deux ans.

source AFF (Association Française du Froid) d'après (8).

¹² Seule l'automobile a été prise en compte dans cette partie par manque de données sur les autres types de transport.

Tableau 32: Traitement et valorisation des déchets engendrés par les véhicules automobiles

Type de déchets	Quantités (tonnes /an)	Traitement Valorisation
carcasses	1 120 000	retraitées à 75%
pneumatiques	400 000	valorisés à 30%
huiles	270 000	66% collectées et traitées
batteries	200 000	plus de 80% recyclées

Source: (2)

⇒ **Les carcasses**

Deux millions de véhicules sont hors d'usage chaque année en France soit plus d'un million de tonnes de carcasses. Lorsqu'ils sont traités, c'est 75% des composants automobiles (ferreux et non ferreux) qui sont valorisés.

On estime à environ 100 000 le nombre de véhicules abandonnés chaque année par les particuliers sur la voie publique ou dans la nature.

⇒ **Les vieux pneus**

On estime à environ 400 000 tonnes la quantité de pneus usagés disponibles chaque année en France (5). Bien que de multiples filières de valorisation existent, les vieux pneus sont encore trop souvent éliminés en décharge, stockés, brûlés ou abandonnés tels quels dans la nature. L'échec relatif de ces filières de valorisation (elles ne concernent que 30% du gisement total) s'explique essentiellement par la dispersion du gisement de pneus, le volume encombrant de ceux-ci (ce qui rend la collecte difficile et onéreuse) mais également par la faible valeur marchande du pneu.

⇒ **Les batteries**

Le gisement national de batteries usagées est estimé à 200 000 tonnes par an. Près de 90% serait traités chez les professionnels du recyclage du plomb (6).

Selon les sources, 1 voire 2 millions de batteries seraient abandonnées chaque année dans la nature. Ce serait alors 9 000 à 18 000 tonnes de plomb, 1 000 à 2 000 tonnes de plastiques, 4 000 à 8 000 tonnes d'acide de batterie susceptibles de se retrouver annuellement dans le milieu naturel, notamment dans les cours d'eau et dans les nappes phréatiques.

⇒ **Les huiles usagées**

Les huiles usagées sont chargées en impuretés d'origine diverse: eau, carburant, produits d'oxydation, plomb, particules métalliques et charbonneuses, additifs dégradés, etc.

Du fait de la dispersion de leur gisement, de la facilité à les répandre dans la nature, elles présentent un réel danger pour l'environnement, aussi bien pour les sols et les nappes phréatiques que pour l'atmosphère lors de leur brûlage. En 1992, leur gisement était estimé à environ 290 000 tonnes (37).

Grâce à l'application d'une taxe parafiscale qui permet de financer le service de collecte et de traitement des huiles usagées, la collecte s'est largement développée depuis 1986 pour atteindre 61% du gisement en 1992 (37). Les 2/3 des ces huiles récupérées étaient régénérées en gazole ou en huiles lourdes et moyennes, le reste étant valorisé par incinération en cimenterie.

Toutefois, une part encore importante du gisement échappe toujours aux circuits autorisés. Elle est soit stockée, soit brûlée dans des conditions non satisfaisantes, soit rejetée dans la nature.

3.1.2. DONNÉES CHIFFRÉES: BILAN DU SECTEUR TRANSPORT

3.1.2.1 Polluants émis par le secteur transport

Les deux tableaux suivants regroupent les données d'émissions annuelles nationales de polluants du secteur transport. La troisième colonne de ces tableaux présentent un donnée intéressante: le pourcentage de contribution du secteur transport aux émissions du polluant considéré par rapport à l'ensemble des émissions nationales de ce polluant. Toutefois, il faut rester prudent car certaines estimations n'évaluent pas toutes les sources (par exemple, pour les dioxines et les furannes) ce qui fausse les résultats.

Tableau 33: Polluants atmosphériques classiques émis annuellement par les transports en France

POLLUANT X	Émissions annuelles nationales de X par le secteur transport (tonnes/an)	Émissions de X dues aux transports par rapport aux émissions annuelles nationales totales de X	Références
SO ₂	154 000	12 %	(5)
NO _x	1 089 100	69 %	(5)
COVNM	1 187 100	42 %	(5)
CH ₄	22 900	<1 %	(5)
CO	6 853 000	63 %	(5)
CO ₂	101 300 000	21 %	(5)
N ₂ O	4 218	2 %	(5)
Poussières	76 000	33 %	(14)
NH ₃	798	<1 %	(5)

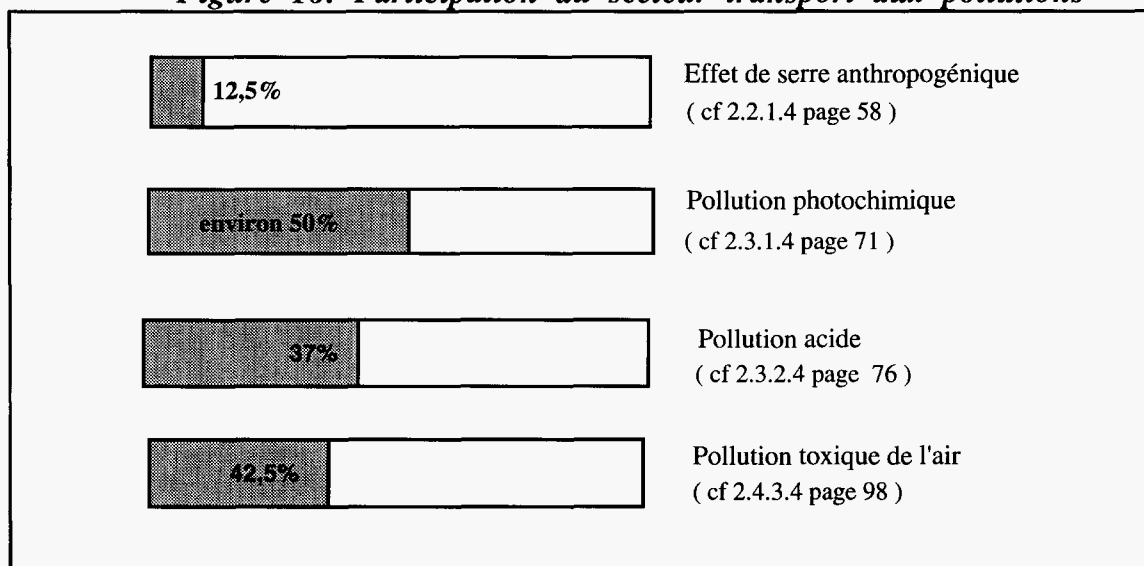
Tableau 34: Polluants atmosphériques particuliers émis annuellement par les transports en France

POLLUANT X	Émissions annuelles nationales de X par le secteur transport	Émissions de X dues aux transports par rapport aux émissions annuelles nationales totales de X	Références
Pb	3 731 tonnes/an	87 %	(9)
Dioxines et furannes	16 g I.TEQ/an	1 %	(11)
CFC 12	342 tonnes/an	-	(8)
HCFC 22	31 tonnes/an	-	(8)

3.1.2.2 Participation des transports aux pollutions

Les pourcentages de contribution aux pollutions présentés dans la figure suivante proviennent de la partie "pollutions".

Figure 16: Participation du secteur transport aux pollutions



⇒ Effet de serre anthropogénique

Ce sont principalement les fortes émissions de CO₂ (27% des émissions totales françaises) par ce secteur qui sont responsables de la contribution non négligeable du transport à l'effet de serre anthropogénique.

⇒ Pollution photochimique

Les polluants impliqués dans la formation d'oxydants photochimiques sont fortement émis par le secteur transport: C'est 42% des COVNM et 69% des NO_x des émissions nationales qui sont émis par ce secteur. La contribution de ce secteur à cette pollution est donc importante (de l'ordre de la moitié) même si le potentiel de création d'oxydants photochimiques est encore mal défini.

⇒ Pollution acide

Ce sont principalement les émissions de NO_x qui sont responsables de la forte participation du transport à la pollution acide. Comme il est dit précédemment, le transport est à l'origine de 69% des émissions totales de NO_x en France.

⇒ Pollution toxique de l'air

Les principaux polluants mis en causes sont en premier lieu les NO_x, vient ensuite le plomb qui est émis à 87% par le transport en France et enfin CO (63% du CO a pour origine le transport).

3.1.3 CE QU'IL FAUT RETENIR

LE TRANSPORT

Deux familles de sources polluantes:

- **utilisation des carburants** (combustion et fuites)
- **climatisation des véhicules**

⇒ **Polluants atmosphériques mis en cause et % d'émission dus au transport**

- plomb	87% en 1990
- NO_x	69% en 1990
- CO	63% en 1990
- COV	42% en 1990
- poussières	33% en 1992
- CO₂	21% en 1990
- SO₂	12% en 1990
- dioxines et furannes	environ 1% en 1990

⇒ **Les pollutions engendrées**

- Pollution photochimique
- Pollution toxique de l'air
- Pollution acide
- Effet de serre anthropogénique

⇒ **Les chiffres significatifs**

Le transport en France, c'est:

- environ **50%** de la **pollution photochimique**
- **42,5%** de la **pollution toxique de l'air**
- **37%** de la **pollution acide**
- **12,5%** de l'**effet de serre anthropogénique**

3.2 LE SECTEUR RÉSIDENTIEL-TERTIAIRE

Le secteur résidentiel-tertiaire regroupe les activités liées:

- au logement de l'habitant (secteur résidentiel),
- aux bureaux, commerces, hôpitaux et écoles (secteur tertiaire).

Nous disposons de chiffres clés sur ce secteur:

Le secteur résidentiel français se compose de:

- 14,7 millions de maisons individuelles,
- 1 million d'immeubles collectifs représentant au total 11,6 millions de logements, soit une superficie globale de 2,3 milliards de m².

La France en 1993 comptait 8,6 millions de chaudières individuelles (dont 2,8 millions avaient plus de 16 ans).

Le secteur tertiaire représente quant à lui un parc de 720 millions de m² de bâtiments (en ne comptabilisant que les locaux chauffés).

Le résidentiel-tertiaire est le premier secteur consommateur d'énergie en France avec 84,5 Mtep¹³ consommées en 1993 (2/3 pour le résidentiel et 1/3 pour le tertiaire).

Le chauffage des locaux et des logements représente 48,3% de la consommation totale d'énergie du secteur. L'utilisation d'électricité spécifique (éclairage, électroménager) représente quant à elle 32,5% de cette énergie. Restent l'eau chaude sanitaire et la cuisson des aliments qui consomment 19,2% de l'énergie du secteur (2).

Ceci représentait, en 1993, 45% de la consommation totale d'énergie finale (en 1973 ce chiffre était de 38,5%) (1).

3.2.1 POLLUANTS ASSOCIÉS AU RÉSIDENTIEL-TERTIAIRE

Trois sources principales d'émissions de polluants dans l'eau et l'air sont relatives à ce secteur:

- les émissions se rapportant à la consommation d'énergie dans les locaux,
- les émissions provenant de l'usage de produits émettant des polluants lors de leur utilisation,
- les rejets, dans le réseau, d'eaux usées souillées par les usages domestiques.

Seules sont prises en compte les émissions directes. Ainsi, les émissions polluantes liées à la production d'électricité ainsi qu'au traitement des ordures ménagères sont exclues de cette évaluation.

3.2.1.1 La consommation d'énergie

Ce sont la combustion et l'évaporation des combustibles qui sont susceptibles d'entraîner l'émission de polluants atmosphériques lors de la consommation d'énergie. Le chauffage de l'habitat et des locaux, le chauffage de l'eau chaude sanitaire et la cuisson des aliments sont les trois sources principales de consommation d'énergie.

¹³Mtep: Million de tonnes équivalent-pétrole.

3.2.1.1.1 Les principaux polluants émis sont:

- les polluants atmosphériques "classiques" tel que SO₂, NO_x, CO, etc.,
- les composés organiques volatils (COV),
- certains métaux.

3.2.1.1.2 Formation et origine des polluants

Le **chauffage** constitue la source principale de polluants atmosphériques pour ce secteur. Les énergies les plus utilisées en France sont le charbon, le pétrole, le gaz et l'électricité.

Le tableau 35 montre leur répartition en 1992. Les valeurs de consommation sont tout d'abord exprimées en unité commune: la tep (tonne équivalent-pétrole) puis ensuite ramenées à un pourcentage.

Tableau 35: Energies utilisées pour le chauffage en France en 1992

ÉNERGIES UTILISÉES	% consommé (1992)
Charbon	2,7
Pétrole	32,6
Gaz	27,7
Électricité	30,6
Autres	6,3

Source: (2)

Les polluants sont issus majoritairement de la combustion d'énergies fossiles telles que le pétrole, le charbon et le gaz. En effet, la combustion d'hydrocarbures dans une chaudière conduit:

1. au dégagement de dioxyde de carbone (CO₂)

Le CO₂ provient de la combustion normale de tous les composés organiques. La combustion d'énergies fossiles pour le chauffage est la source la plus importante de CO₂ en France (24% des émissions totales).

2. à l'élaboration d'hydrocarbures imbrûlés

Par "imbrûlés", on désigne un ensemble comprenant:

- les molécules du combustible initial,
- les produits du cracking thermique,
- les hydrocarbures partiellement oxydés (aldéhydes, acides). Le monoxyde de carbone et les suies entrent également dans cette catégorie.

Le CO émis par l'utilisation d'énergie dans le résidentiel-tertiaire représente 17% de la totalité du CO émis annuellement en France (5).

3. à la formation d'oxydes d'azote

Ils se forment à haute température dans les phénomènes de combustion, en particulier par combinaison dans la flamme entre azote et oxygène.

4. à la formation d'oxydes de soufre

Leur formation par combustion est strictement fonction du soufre contenu dans les combustibles. Environ 13% des émissions totales de SO₂ en France sont dues à l'utilisation d'énergie dans le résidentiel-tertiaire (5).

5. au dégagement, lors de la combustion, de métaux présents dans le charbon et le fuel.

Les systèmes de chauffage sont émetteurs de près de 16% de la totalité du nickel émis en France.

Depuis une vingtaine d'années, on assiste à une forte diminution de la pollution engendrée par le chauffage. Cette baisse est liée d'une part au développement du chauffage électrique (aux dépens du charbon principalement et du fuel dans une moindre mesure), d'autre part à des mesures particulières telles que la baisse du taux de soufre dans les fuels et la maîtrise de l'énergie. Il convient de noter que les pollutions qu'entraîne la production même de l'énergie électrique ne sont pas prises en compte.

3.2.1.1.3 Bilan des émissions

Le tableau 36 prend en compte les émissions nationales liées aux divers types de chauffage (chauffages urbains, collectifs, individuels) ainsi qu'aux autres usages d'énergie: plaques de cuisson, chauffage de l'eau, etc.

Tableau 36: Emissions annuelles de polluants classiques liées à la consommation d'énergie dans le résidentiel-tertiaire en France (1990)

POLLUANTS	SO ₂	NO _x	COVNM	CH ₄	CO	CO ₂	N ₂ O	Poussières
émissions liées à la consommation d'énergie (tonnes/an)	166 200	99 600	214 700	150 400	1 907 900	117 900 000	4 000	10 000
sources	(5)	(5)	(5)	(5)	(5)	(5)	(5)	(14)

Les émissions de métaux dues au chauffage sont présentées dans le tableau 37, qui suit. Cette estimation prend en compte les émissions des deux plus importantes sources: le fuel domestique et le charbon (consommation résidentiel-tertiaire 1987: 2,7 Mt de charbon, 21,4 Mtep de fuel).

Tableau 37: Emissions annuelles de métaux liées au chauffage en France (1989)

MÉTAUX	Chrome	Cuivre	Nickel	Plomb	Zinc
émissions liées au chauffage (tonnes/an)	16,3	31,9	143,2	22,1	23,2

Source: (9)

3.2.1.2 L'usage de produits dans l'habitat

3.2.1.2.1 Les principaux polluants

La vie domestique est à l'origine de l'émission de principalement deux catégories de polluants.

- **les COV**: ils sont issus principalement de l'utilisation des peintures et des solvants. Environ 6% des COV émis en France ont pour origine l'utilisation de peintures et de solvants dans le résidentiel-tertiaire, ce qui représente une masse d'environ 181 500 tonnes de COV par an (5).

- **les CFC et leurs dérivés**: ils sont contenus dans les bombes aérosols. Ils s'échappent également par fuite des systèmes tels que les climatisations ou les réfrigérateurs (habitats et locaux commerciaux).

Les estimations concernant les CFC prêtent à contestation. Il y a contradiction suivant les sources:

D'après l'Agence pour la Qualité de l'Air (AQA) (37), les activités domestiques produisaient 7 500 tonnes de CFC en 1991 pour un total de 50 000 tonnes par an (CFC et dérivés).

L'Agence Française du Froid (AFF) propose une autre estimation (8), basée sur les tonnages de CFC vendus. Les activités domestiques et tertiaires émettraient alors 2 550 tonnes de CFC par an, pour une émission annuelle (excluant l'industrie) de 5 000 tonnes en 1993.

3.2.1.2.2 Bilan des émissions

L'estimation qui suit, tableau 38, prend en compte les émissions de polluants hors utilisation d'énergie. Il est à noter que les auteurs ont fait le choix d'y intégrer les estimations des émissions dues au bricolage et au jardinage. On retrouve donc ici les émissions issues de l'utilisation de tondeuses, tronçonneuses, groupes électrogènes, etc. qui sont elles directement liées à l'utilisation d'énergie.

Tableau 38: Estimation des émissions annuelles de polluants hors usage d'énergie en France (1990)

POLLUANTS	SO ₂	NO _x	COVNM	CH ₄	CO	CO ₂	N ₂ O	Poussières
émissions hors énergie (tonnes/an)	200	400	181 600	0	292 800	300 000	0	0

source: (5)

3.2.1.3 Les eaux usées domestiques et tertiaires

3.2.1.3.1 La pollution domestique

En France, l'alimentation en eau potable domestique représente 16% de la consommation totale d'eau. Une répartition des besoins de l'habitant en agglomération urbaine est indiqués dans le tableau suivant:

Tableau 39: Besoins en eau d'un habitant en agglomération urbaine

eaux de boisson	cuisine	linge	vaisselle	W-C	salle de bain
1%	3%	13%	13%	26%	44%

source: (3)

Les eaux usées rejetées entraînent une pollution brute domestique non négligeable. Par rapport à la pollution totale générée en France, elle représente, pour l'eau:

- 26% des matières en suspension,
- 35% des matières oxydables,
- 5% des matières inhibitrices.

Ces eaux usées domestiques représentent 150 à 200 litres par habitant et par an.

La pollution domestique de l'eau est évaluée en France grâce aux données des Agences de l'Eau. Elles évaluent la charge polluante rejeté par un habitant type pendant un an. Ce sont ces valeurs, ramenées à la population française qui sont présentées dans le tableau 40, page suivante.

Tableau 40: Pollution domestique annuelle de l'eau en France

Paramètres de pollution	Résidentiel	
matières en suspensions	1 880 000	tonnes/an
matières oxydables	1 200 000	tonnes/an
matières inhibitrices	4 200 000	Kéquitox/an
matières azotées	300 000	tonnes /an
matières phosphatées	80 000	tonnes/an
composés halogénés	1 000	tonnes/an
métaux	5 000 10 ⁶	métox/an

source: (3)

3.2.1.3.2 La pollution du secteur tertiaire

Dans cette catégorie, sont pris en compte les commerces, l'hôtellerie, les campings, les hôpitaux et les écoles.

Par rapport à la pollution totale des eaux générée en France, la pollution brute due au secteur tertiaire est faible. Elle représente (22):

- 0,4 % des matières en suspension,
- 0,6 % des matières oxydables,
- 1% des matières inhibitrices.

La pollution annuelle de l'eau par le secteur tertiaire sur le territoire français a été évaluée par le Ministère de l'Environnement (22). Cette estimation est calculée à partir de la redevance payée aux Agences de l'Eau. Les conclusions sont présentées dans le tableau suivant:

Tableau 41: Pollution annuelle de l'eau par le secteur tertiaire

Paramètres de pollution	Tertiaire	
matières en suspensions	26 500	tonnes/an
matières oxydables	18 200	tonnes/an
matières inhibitrices	9 100	Kéquitox/an
matières azotées	3 300	tonnes /an
matières phosphatées	500	tonnes/an

source: (22)

3.2.2 DONNÉES CHIFFRÉES: BILAN DU SECTEUR RÉSIDENTIEL-TERTIAIRE

3.2.2.1 Polluants émis par le secteur résidentiel-tertiaire

Afin d'évaluer globalement la pollution engendrée par ce secteur, nous avons réuni dans les tableaux 42, 43, 44 et 45, l'ensemble des valeurs recensées précédemment. Ces tableaux regroupent donc les données d'émissions annuelles nationales de polluants du secteur résidentiel-tertiaire ainsi que pour chaque polluant, le pourcentage de contribution du secteur résidentiel-tertiaire par rapport aux émissions nationales (tous secteurs confondus) de ce polluant (3^{ème} colonne).

Tableau 42: Polluants atmosphériques classiques émis annuellement par le résidentiel-tertiaire en France (1990)

POLLUANTS X	Émissions annuelles nationales de X par le résidentiel-tertiaire (tonnes/an)	Émissions de X dues au résidentiel-tertiaire par rapport aux émissions annuelles nationales totales de X	Remarques et (sources)
SO ₂	166 500	13%	(5)
NO _x	100 000	6%	(5)
COVNM	396 300	14%	(5)
CH ₄	150 300	5%	util. énergie (5)
CO	2 200 800	20%	(5)
CO ₂	118 100 000	24%	(5)
N ₂ O	4 000	2%	util. énergie (5)
NH ₃	0	0	(5)
Poussières	10 000	4%	(14)

Les seules sources significatives d'émissions de CH₄ et N₂O par le résidentiel-tertiaire sont les utilisations d'énergie (chauffage, eau chaude, cuisson).

Tableau 43: Métaux émis annuellement à l'atmosphère par le résidentiel-tertiaire en France (1989)

POLLUANTS X	Émissions annuelles nationales de X par le résidentiel-tertiaire (tonnes/an)	Émissions de X dues au résidentiel-tertiaire par rapport aux émissions annuelles nationales totales de X
Zn	23,2	3%
Pb	22,1	<1%
Ni	143,2	17%
Cu	31,9	7%
Cr	16,3	3%

Source: (9)

Les émissions de métaux par le résidentiel-tertiaire sont dûes à l'utilisation de combustibles fossiles. Elles sont donc essentiellement liées au chauffage.

Tableau 44: CFC et dérivés émis annuellement par le résidentiel-tertiaire en France

POLLUANT	Émissions annuelles nationales de CFC par le résidentiel-tertiaire (tonnes/an)	Émissions de CFC dues au résidentiel-tertiaire par rapport aux émissions annuelles nationales totales de CFC	Références
CFC	2550-7500	15%	(8) (37)
<i>moyenne</i>	5025		

Ces données d'émissions de CFC sont peu fiables. Elles sont donc à considérer avec la plus grande prudence.

Tableau 45: Pollution annuelle de l'eau par le résidentiel-tertiaire

Paramètres de pollution X	Niveaux annuels nationaux de X pour le résidentiel-tertiaire
MES	1 900 000 tonnes/an
MA	300 000 tonnes/an
MI	4 200.10 ⁶ équitox/an
Métaux	5000.10 ⁶ métox/an
MP	84 000 tonnes/an
Halogènes	1 000 tonnes/an
MO	1 200 000 tonnes/an

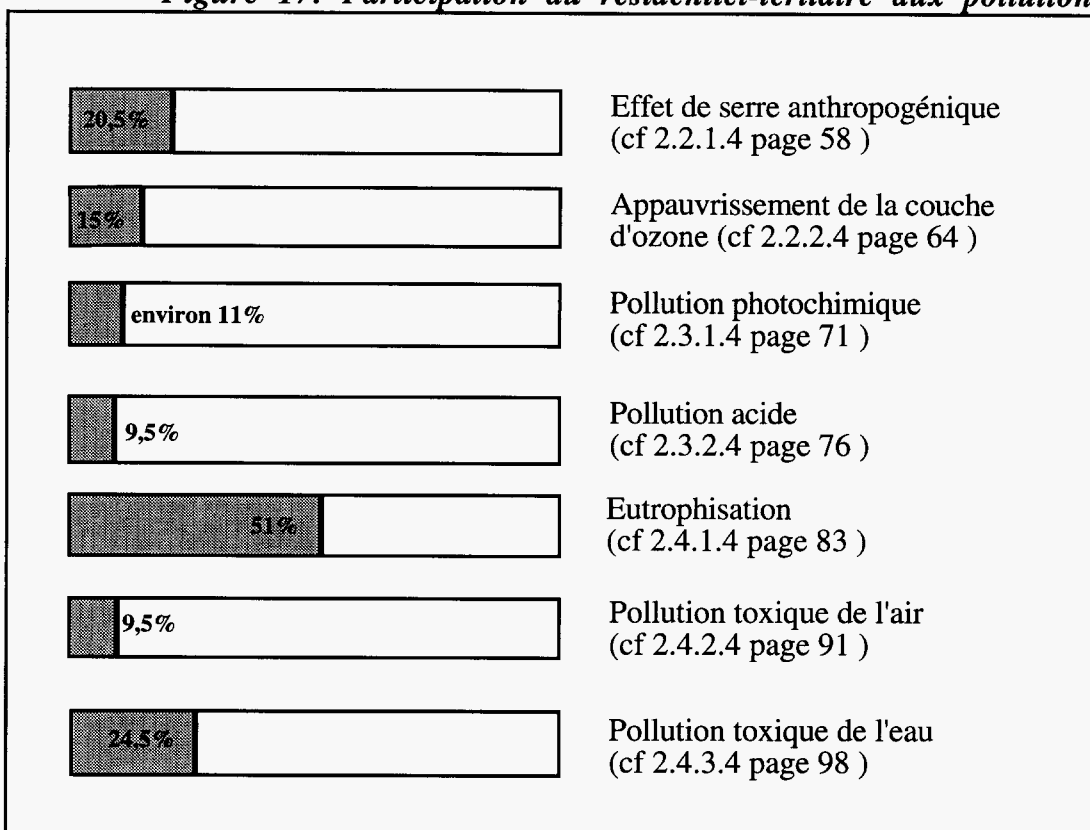
Source: (3)

Ces données regroupent les données du secteur résidentiel et du secteur tertiaire sauf pour les paramètres "métaux" et "halogènes" où seule la source domestique a été évaluée.

3.2.2.2 Participation du secteur résidentiel-tertiaire aux pollutions

Cette répartition (figure 17) découle de la mise en commun des informations obtenues à la fin de chaque chapitre traitant d'une pollution.

Figure 17: Participation du résidentiel-tertiaire aux pollutions



⇒ Effet de serre anthropogénique

La forte émission de CO₂ par le chauffage ainsi que les émissions domestiques de CFC placent le secteur Résidentiel-Tertiaire en deuxième position quant à la participation à l'effet de serre anthropogénique.

⇒ Appauvrissement de la couche d'ozone

Il faut rappeler que cette évaluation résulte d'une estimation des CFC (et dérivés) émis en France. Par ailleurs cette estimation est à considérer avec beaucoup de prudence. Le secteur résidentiel-tertiaire représenterait donc 15% des émissions de CFC; ceci étant dû principalement à l'utilisation d'aérosols pharmaceutiques ainsi qu'à des fuites des systèmes frigorifiques.

⇒ Pollution photochimique

Ce sont principalement les émissions de COVNM dues à l'utilisation des peintures et des solvants ainsi que les émissions de NO_x par ce secteur qui contribuent à cette pollution. Il est à noter que le potentiel photochimique affecté aux NO_x n'est défini qu'arbitrairement.

⇒ Pollution acide

La participation de ce secteur à la pollution acide est assez faible. Sa contribution vient de ses émissions de SO₂ (environ 13% des émissions totales) et de NO_x (6% des émissions totales) qui sont dues, en grande majorité, aux systèmes de chauffage.

⇒ Eutrophisation

Les rejets domestiques représentent la moitié des rejets de phosphate au milieu naturel. Le tiers de ces rejets a pour origine les déjections humaines, le reste provenant de l'utilisation de lessives.

⇒ Pollution toxique de l'air

Le secteur résidentiel-tertiaire participe assez peu à cette pollution. Les polluants contribuant le plus à la pollution toxique sont, ici aussi, SO₂ et NO_x.

⇒ Pollution toxique de l'eau

la pollution toxique domestique représenterait le quart de la pollution toxique totale. Elle résulte de l'utilisation de substances toxiques par la population. Pour les rejets au réseau d'assainissement public, le traitement éventuel en station d'épuration n'est pas pris en compte.

3.2.3. CE QU'IL FAUT RETENIR

LE SECTEUR RÉSIDENTIEL-TERTIAIRE

Trois familles de sources polluantes:

- **utilisation d'énergie** (chauffage essentiellement)
- **produits émetteurs de polluants**
- **utilisation d'eau**

⇒ **Polluants mis en cause**

- dans l'air
 - **CO₂**
 - **CO**
 - **CFC et dérivés**
- dans l'eau
 - **Matières phosphatées**
 - **Matières oxydables**
 - **Matières inhibitrices**

⇒ **Les pollutions engendrées**

- Effet de serre
- Appauvrissement de la couche d'ozone
- Eutrophisation des eaux
- Pollution toxique de l'eau

⇒ **Les chiffres significatifs**

Le résidentiel-tertiaire en France, c'est:

- **84,5 Mtep** consommées en 1993 (1^{er} consommateur d'énergie)
- **24%** des émissions de **CO₂** en France (1^{er} secteur émetteur)
- **20,5%** de l'**effet de serre** anthropogénique
- **51%** de l'**eutrophisation** des eaux
- **25%** de la **pollution toxique de l'eau**

3.3 LE TRAITEMENT DES DÉCHETS - GÉNÉRALITÉS -

Il est produit annuellement en France 580 millions de tonnes de déchets (chiffre 1990). Ce chiffre se décompose comme suit:

Tableau 46: Production annuelle de déchets en France (1990)

	Millions de tonnes (1990)
Déchets ménagers	30
Déchets industriels	150
Déchets agricoles	400
TOTAL	580

Source: (37)

3.3.1 LES DÉCHETS MÉNAGERS

On distingue: - les ordures ménagères (OM): environ 20 Mt par an
 - les autres déchets ménagers: 10 Mt/an, principalement:
 - déchets encombrants : 3 Mt,
 - automobiles : 2 Mt,
 - boues d'épuration : 3 Mt,
 - espaces verts : 0,5 Mt.

Les OM subissent aujourd'hui les traitements suivants:

Tableau 47: Répartition des OM en fonction des filières de traitement

	% du tonnage (1990)
Stockage	51%
Incinération	38%
Tri- compostage	7%
Recyclage	4%

Source: (2)

3.3.2 LES DÉCHETS INDUSTRIELS

Ils se décomposent en déchets:

- inertes (environ 100 Mt): déblais, gravats, ...
- banals (environ 40 Mt): emballages, rebuts de fabrication, assimilables aux déchets ménagers;
- spéciaux (environ 7 Mt): présentant un caractère toxique potentiel.

⇒ Les déchets inertes sont pour 50% réutilisés, et pour 50% mis en centre de stockage.

⇒ Les Déchets Industriels Banals (DIB) subissent les traitements suivants:

Tableau 48: Répartition des DIB en fonction des filières de traitement

	% du tonnage (1990)
Valorisation	35%
Stockage	25%
Incinération	5%
Éliminations diverses	35%

Source: (2)

Ils sont traités dans les mêmes installations que les déchets ménagers.

⇒ Les Déchets Industriels Spéciaux (DIS)

Ils proviennent des traitements de dépollution des usines ou de process (boues, huiles, déchets liquides, ...). Ils sont issus de tous les secteurs industriels; les branches les plus concernées étant notamment la chimie, la sidérurgie et la fonderie. Leur traitement peut se faire en interne (donc difficilement quantifiable) ou en externe. En 1992, on estime la quantité de DIS traitée en externe à 2,3 Mt (24).

Ces DIS subissent les traitements suivants (en externe):

Tableau 49: Répartition des DIS en fonction des filières de traitement en externe

	% du tonnage (1992)
Incinération	42%
CET de classe I	41%
Traitements physico-chimiques	16%
Traitements divers	1%

Source: (24)

3.3.3 LES DÉCHETS AGRICOLES

Ils représentent la plus grosse quantité de déchets produits en France. Ils comprennent les déchets et sous-produits générés par l'activité agricole (élevage, bois, culture) et les déchets des industries agro-alimentaires. Ils sont en général valorisés (épandages, alimentation animale, etc.).

Dans notre étude, nous nous sommes plus particulièrement intéressé aux filières:

- d'incinération;
- de traitement physico-chimique;
- de stockage.

Nous avons distingués le traitement des déchets ménagers et le traitement des DIS.

3.4 TRAITEMENT DES DÉCHETS MÉNAGERS

Ce chapitre prend en compte à la fois les OM, les encombrants ménagers ainsi que les DIB. Ce groupe de déchets est appelé "déchets ménagers et assimilés".

Nous ne considérons ici que les deux filières principales vers lesquelles sont dirigés ces déchets:

- l'incinération qui traitait 38% des OM et 5% des DIB en 1990,
- le stockage admettant plus de 50% des OM et 25% des DIB.

3.4.1. INCINÉRATION DES OM ET ASSIMILÉES

Chaque français produit environ 1 kg d'ordures ménagères par jour, ce qui représentait près de 20,5 millions de tonnes d'ordures en 1990 (37). Cette même année, l'incinération traitait environ 38% de ces ordures alors qu'aujourd'hui, c'est près de la moitié de ces déchets qui sont incinérés (2) (31).

5% des DIB sont incinérés soit environ 2 millions de tonnes par an. Ces déchets peuvent être assimilés dans leur composition à des déchets ménagers non fermentescibles et sont traités dans les mêmes installations que les déchets ménagers. Les émissions dues à leur incinération seront donc calculées en utilisant les facteurs d'émission définis pour l'incinération des OM.

3.4.1.1 Polluants associés à l'incinération des OM et assimilés

En règle générale, l'incinération d'ordures ménagères produit les polluants atmosphériques suivants:

- Poussières;
- Acides: chlorhydrique, sulfurique, fluorhydrique;
- Métaux lourds;
- Composés soufrés, azotés;
- Composés Organiques Volatils (COV);
- Autres polluants: dioxines, furannes, chlorophénols, etc.

Les rejets aqueux des UIOM (résidus liquides du lavage des fumées et autres) sont traités avant d'être rejetés au milieu naturel ou au réseau d'assainissement public. Aucune teneur en polluants de ces rejets n'a pu être définie. Seule la pollution atmosphérique engendrée par les UIOM est considérée.

• *Les poussières*

Ce sont des particules solides, minérales ou organiques entraînées par les fumées. En l'absence de tout traitement, l'incinération d'une tonne d'ordures entraînerait, selon les estimations disponibles, le rejet vers l'atmosphère de 20 à 30 kg de poussières (4). Les systèmes de dépoussiérages par lavage des fumées à l'eau, par filtration mécanique ou électrostatique, etc., assurent le piégeage d'une grande proportion de ces particules. La contribution des UIOM aux émissions de poussières en devient donc plus faible. On a estimé à environ 6 700 tonnes la quantité de poussières émises en France par an, soit environ 3% des émissions totales nationales.

• **L'acide chlorhydrique HCl**

L'acide chlorhydrique provient de diverses sources: papier, déchets alimentaires, polychlorure de vinyle (PVC), ce dernier étant responsable, selon une étude de l'ANRED, d'environ 50% des rejets d'HCl. Environ 60 à 70% de l'HCl produit se retrouve dans les gaz de fumée. Sans traitement des gaz, la combustion d'une tonne d'ordures ménagères conduirait à l'émission d'environ 7 kg d'HCl. Mais les systèmes de neutralisation des fumées (par voie sèche, semi-sèche, semi-humide) permettent de réduire considérablement ces émissions. En 1990, on estimait à 35 000 tonnes la quantité d'HCl émis par les UIOM soit quasiment autant que la quantité de HCl émise par la combustion du charbon en France. Mais avec les valeurs limites d'émission imposées aux nouvelles unités, ces émissions ont certainement dû diminuer ces dernières années.

• **Les métaux lourds**

De par leur composition très diversifiée, les ordures ménagères sont, au cours de leur combustion, à l'origine d'émission de "métaux lourds", principalement, du zinc (Zn), du plomb (Pb), du cadmium (Cd), du cuivre (Cu), du mercure (Hg) et de l'arsenic (As).

Parmi les déchets sources de métaux, citons par exemple:

- les piles: 80% du plomb, 30% du nickel contenus dans les déchets;
- les ferrailles: environ 40% du plomb, 30% du cuivre et 10% du chrome présents dans les OM;
- le papier qui serait une source notable de plomb et de chrome par l'intermédiaire des pigments;
- les matières plastiques qui contiennent des pigments ou des stabilisateurs principalement au cadmium.

Les métaux se retrouvent pour une bonne part dans les mâchefers d'incinérations (environ 70% pour le plomb et le zinc; >90% pour le chrome, le cuivre et le nickel; 40% pour le cadmium et seulement 10 à 30% pour le mercure) et les poussières filtrées, les rejets épurés ne contenant généralement qu'une quantité de métaux d'environ 10% relativement à la charge initiale (environ 20% pour le cadmium). Cependant, les systèmes d'épuration des gaz sont plus ou moins efficaces. Utilisés de façon optimale, ils peuvent permettre d'atteindre des niveaux beaucoup plus élevés d'épuration.

Sources: (31) (9) (4) (16) (17)

Pour le cadmium, de l'ordre de quelques tonnes seraient émises chaque année (environ 5 tonnes d'après les facteurs d'émission, environ 3 tonnes d'après les données d'autosurveillance), ce qui représenterait environ 40% des émissions totales françaises. Toutefois, il faut remarquer que beaucoup de sources industrielles n'ont pas été évaluées ce qui fausses évidemment les résultats.

Pour le mercure, c'est environ 5 tonnes qui serait émis par an par les UIOM représentant ainsi le quart des émissions atmosphériques de mercure en France. Mais les facteurs d'émissions qui on permis ces calculs sont très approximatifs.

Quant aux autres métaux (zinc, plomb, nickel, cuivre, chrome), leurs émissions par les UIOM sont très faibles par rapport aux autres sources d'émission en France.

• **Les Composés Organiques Volatils (COV)**

Dans le cas de l'incinération des déchets, ce terme regroupe les diverses molécules qui n'auraient pas été totalement décomposées au cours de la combustion. Les COV représentent l'essentiel des composés odorants émis lors de l'incinération. Leurs émissions par les UIOM sont très faibles par rapport aux autres sources d'émission en France.

• **Dioxines et furannes**

L'émission possible de dioxines et de furannes par les UIOM a soulevé l'émotion du public et mobilisé les pouvoirs publics, tant en France qu'à l'étranger.

Quatre hypothèses peuvent expliquer la présence de dioxines et de furannes en dose infinitésimale dans les fumées d'incinération:

- Les dioxines et furannes présents dans les OM ne sont pas complètement détruits lors de la combustion.
- Ils se forment à partir de précurseurs semblables tels que les phénols chlorés et les biphényles polychlorés. Par exemple, l'oxydation du pyralène (PCB) conduit à la formation de furannes.
- Ils se forment à partir de composés organiques non chlorés (par exemple: le toluène) et de donneurs de chlore (HCl oxydé en chlore actif par exemple) à des températures de l'ordre de 250-450°C.
- Ils se forment à partir de composés précurseurs très différents par condensation dès lors qu'il y a des atomes de C, H, Cl et O disponibles: c'est l'hypothèse de la chimie des traces dans la combustion (11).

Les incinérateurs émettraient la majorité des dioxines et furannes en France. Mais toutefois, d'une part, les autres sources sont difficilement quantifiables et d'autre part, les résultats de mesures en UIOM disponibles pour la France montrent que les valeurs d'émissions sont très faibles bien que mesurables.

En ce qui concerne les polluants atmosphériques classiques (SO₂, NO_x, CO₂, CO) et d'autres polluants tels que N₂O et NH₃, la contribution des UIOM est très faible (de l'ordre de un pourcent).

3.4.1.2 Données chiffrées: bilan de l'incinération des déchets ménagers et assimilés

Les UIOM brûlent un combustible, le déchet, dont les caractéristiques varient d'un site à l'autre, voire même pour un site déterminé, d'une période à l'autre de l'année. De plus, elles utilisent des technologies différentes aussi bien au niveau de la combustion qu'au niveau de l'épuration des gaz. L'estimation au niveau national des émissions de polluants engendrées par les UIOM est donc délicate. Les données suivantes sont donc à considérer avec beaucoup de prudence.

Quatre sources distinctes de données ont été utilisées:

1. Les facteurs d'émissions trouvés dans les travaux scientifiques;
2. Les normes de rejet fixées par la législation française;
3. Les données brutes d'émission fournies par l'étude CORINAIR du CITEPA;
4. Les données d'autosurveillance des UIOM.

Ces données sont accessibles en annexe 2 ainsi qu'une explication du choix des valeurs retenues. Les trois tableaux suivants regroupent l'ensemble des données d'émissions annuelles nationales de polluants que nous avons conservé, concernant les UIOM.

**Tableau 50: Polluants atmosphériques classiques
émis annuellement par les UIOM en France**

POLLUANT X	Émissions annuelles nationales de X par les UIOM (tonnes/an)	Émission de X par les UIOM par rapport aux émissions annuelles nationales totales de X	Références
SO ₂	14 312	1 %	(5)
NO _x	19 512	1 %	(5)
COVNM	329	<1 %	(5)
CH ₄	6 301	<1 %	(5)
CO	5 643	<1 %	(5)
CO ₂	5 991 000	1 %	(5)
Poussières <i>moyenne</i>	1 764 - 11 760	3 %	(15) (14)
	6 762		
N ₂ O	négligeable	-	(5)
NH ₃	négligeable	-	(5)

Tableau 51: Métaux émis annuellement dans l'atmosphère par les UIOM en France

POLLUANT X	Émissions annuelles nationales de X par les UIOM (kg/an)	Émission de X par les UIOM par rapport aux émissions annuelles nationales totales de X	Références
Zn	18 700	2 %	(28)
Cd <i>moyenne</i>	2 900-6 900	42 %	(16)
	4 880		
Pb	27 700	<1 %	(28)
Hg <i>moyenne</i>	980-9 800	24 %	(17)
	5 390		
Ni	98	<1 %	(9)
Cu	1 670	<1 %	(9)
Cr	490	<1 %	(9)

Les chiffres annoncés dans ce tableau sont à considérer avec beaucoup de réserve. En effet, ces données ont été calculées (à l'exclusion de Zn et Pb) à partir de facteurs d'émission présentant de grandes incertitudes. Pour le plomb et le zinc, il s'agit de données d'autosurveillances qui ne concernent donc pas la totalité des UIOM en France.

Tableau 52: Polluants atmosphériques particuliers émis annuellement par les UIOM en France

POLLUANT X	Émissions annuelles nationales de X par les UIOM	Émission de X par les UIOM par rapport aux émissions annuelles nationales totales de X	Références
HF <i>moyenne</i>	117,5 - 235 tonnes/an	-	(15)
	176 tonnes/an		
HCl	35 000 tonnes/an	47 %	(18)
Dioxines et Furannes	1,17 kgI-TEQ/an	94 %	(11)

Là encore certaines réserves sont à émettre par rapport à la validité des données disponibles. Les émissions de HF sont calculées à partir des normes de rejet. Les émissions de dioxines et furannes sont calculées à partir de facteurs d'émission qui sont à améliorer. Les données concernant HCl sont des données prévisionnelles établies en 1988 pour 1990.

3.4.2. LE STOCKAGE DES DÉCHETS MÉNAGERS ET ASSIMILÉS

En dépit des progrès accomplis en matière de traitement, le stockage (qui devrait être de plus en plus "ultime") reste et restera toujours nécessaire au circuit global de gestion des déchets. En ce qui concerne les déchets ménagers et assimilés, la politique choisie par la France va vers une diminution de cette filière à l'avantage de l'incinération.

Le stockage en France concerne:

Tableau 53: Participation du stockage à la gestion des déchets ménagers et assimilés

Types de déchets	Tonnages (1990)	% massiques du total de la catégorie
Ordures ménagères	10,5 Mt	51%
Déchets industriels inertes	100 Mt	50%
Déchets industriels banals	10 Mt	25%

Source: (37)

Les décharges contrôlées, aujourd'hui appelées centres d'enfouissement technique (CET), sont classées en fonction de la perméabilité des substrats. Elles sont susceptibles de recevoir chacune des déchets bien distincts qui sont présentés dans le tableau suivant:

Tableau 54: Caractérisation des Centres d'Enfouissement Technique

Catégories de sites	Valeur du coefficient de perméabilité: K	Déchets majoritairement présents
CET Classe I	$K < 10^{-9}$ m/s Site "imperméable"	- boues de STEP. - cendres, MIOM et poussières d'épuration des fumées d'incinérateurs. - matériaux contenant des hydrocarbures. - boues de peintures, vernis.
CET Classe II	$10^{-9} < K < 10^{-6}$ m/s Site "semi-perméable"	- ordures ménagères - déchets industriels banals (assimilables aux OM)
CET Classe III	$K > 10^{-6}$ m/s Site "perméable"	- déchets inertes

3.4.2.1 Polluants associés au stockage des déchets ménagers

3.4.2.1.1 Les gaz rejetés

- *Décomposition de la matière organique*

La fraction organique biodégradable des déchets subit une évolution biologique essentiellement anaérobie.

Les centres de stockage émettent alors principalement:

- du méthane,
- du dioxyde de carbone,
- de l'hydrogène sulfuré,
- des composés organiques volatils.

D'après les données CORINAIR du CITEPA (5), le méthane issu des centres de stockage représente 23% des émissions totales de ce polluant en France.

- *Émissions des encombrants*

Suite à la mise au rebut de certains encombrants comme :

- les réfrigérateurs,
- les congélateurs,
- les mousses d'isolation,

il peut y avoir émission de CFC (ou de dérivés) lors de leur dégradation.

Malgré des estimations contradictoires à leur sujet, il semble que les centres de stockage soient le lieu d'au moins 20% des émissions totales de CFC en France.

3.4.2.1.2 Les rejets dans l'eau: les lixiviats

Il s'agit de la production d'effluents liquides. Deux phénomènes sont à l'origine de ces lixiviats:

- le lessivage des déchets stockés par les eaux de pluies ,
- les sous-produits de la dégradation biologique des déchets.

Ces lixiviats sont riches en matières organiques et en éléments minéraux. Leur rejet dans l'environnement nécessite un traitement préalable qui dépend de leur teneur en polluants et doit répondre aux exigences des normes de rejet dans le milieu naturel.

La composition des lixiviats varie énormément d'un site à l'autre et pour un même site au cours du temps. Toutefois, les charges polluantes les plus couramment rencontrées sont:

- une importante charge organique en "matières oxydables", souvent liée à la concentration en acides gras volatils (AGV);
- une salinité liée à la présence de chlorures, sulfates, carbonates;
- une teneur en métaux élevée.

3.4.2.2 Données chiffrées: Bilan du stockage des déchets ménagers et assimilés

Les données qui suivent ne concernent que les **émissions atmosphériques**. Par manque de données globales sur le sujet, il n'a pas été possible de faire une évaluation des effluents liquides issus des centres de stockage.

Plusieurs sources de données ont été utilisées:

- les données d'estimation d'émission fournies par l'étude CORINAIR du CITEPA,
- les facteurs d'émission trouvés dans les travaux scientifiques,
- les estimations en matière de CFC.

L'ensemble de ces données est accessible dans l'annexe 3 ainsi que des explications sur le choix des valeurs présentées dans les deux tableaux suivants. Ces tableaux regroupent les données d'émissions annuelles nationales de polluants des centres de stockages des déchets ménagers et assimilés.

Tableau 55: Polluants atmosphériques classiques émis annuellement en France par le stockage des déchets ménagers et assimilés

POLLUANT X	Émissions annuelles nationales de X par les centres de stockage des déchets ménagers (tonnes/an)	Émissions de X dues au stockage des déchets ménagers par rapport aux émissions annuelles nationales totales de X	Références
COVNM	4 751	<1 %	(5)
CH ₄	699 100	23 %	(5)
CO ₂	2 976 000	<1 %	(5)

D'après les estimations faites par le CITEPA (5), les émissions de: SO₂, NO_x, CO, N₂O, et NH₃ sont négligeables pour ce mode de gestion des déchets.

Tableau 56: Émissions annuelles de CFC liées au stockage des déchets ménagers et assimilés en France.

POLLUANT X	Émissions annuelles nationales de X par les centres de stockage des déchets ménagers (tonnes/an)	Émissions de X dues au stockage des déchets ménagers par rapport aux émissions annuelles nationales totales de X	Références
CFC	2 450-10 000	20-50 %	(8) (37)
<i>moyenne</i>	6 250		

Les différentes sources d'estimation d'émissions de CFC liées au stockage des déchets ménagers et assimilés donnent une grande fourchette de valeurs. Ces données semblent discutables. Elles sont donc à considérer avec beaucoup de prudence.

3.4.3. DONNÉES CHIFFRÉES: BILAN DU TRAITEMENT DES DÉCHETS MÉNAGÉS ET ASSIMILÉS

Il s'agit de la somme des données de l'incinération et du stockage des OM, des encombrants et des DIB (autrement dit "déchets ménagers et assimilés"). Les trois tableaux suivants regroupent l'ensemble de ces données.

Tableau 57: Polluants atmosphériques classiques émis annuellement par l'incinération et le stockage des déchets ménagers et assimilés en France

POLLUANT X	Émissions annuelles nationales de X par le stockage et l'incinération des déchets ménagers (tonnes/an)	Émissions de X dues au stockage et à l'incinération des déchets ménagers par rapport aux émissions annuelles nationales totales de X	Références
SO ₂	14 312	1 %	(5)
NO _x	19 512	1 %	(5)
COVNM	5080	<1 %	(5)
CH ₄	705 401	23 %	(5)
CO	5 643	<1 %	(5)
CO ₂	8 967 000	2 %	(5)
Poussières moyenne	1 764 - 11 760 6 762	3 %	(15) (14)
N ₂ O	négligeable	-	(5)
NH ₃	négligeable	-	(5)

Tableau 58: Métaux émis annuellement dans l'atmosphère par l'incinération et le stockage des déchets ménagers et assimilés en France

POLLUANT X	Émissions annuelles nationales de X par le stockage et l'incinération des déchets ménagers (kg/an)	Émissions de X dues au stockage et à l'incinération des déchets ménagers par rapport aux émissions annuelles nationales totales de X	Références
Zn	18 700	22 %	(28)
Cd moyenne	2 900-6 900 4 880	42 %	(16)
Pb	27 700	<1 %	(28)
Hg moyenne	980-9 800 5 390	24 %	(17)
Ni	98	<1 %	(9)
Cu	1 670	<1 %	(9)
Cr	490	<1 %	(9)

Dans cette évaluation, seules les émissions des UIOM sont prises en compte car ce sont les seules sources significatives émettrices de métaux à l'atmosphère dans des conditions normales de fonctionnement.

Tableau 59: Polluants atmosphériques particuliers émis annuellement par l'incinération et le stockage des déchets ménagers et assimilés en France

POLLUANT X	Émissions annuelles nationales de X par le stockage et l'incinération des déchets ménagers	Émissions de X dues au stockage et à l'incinération des déchets ménagers par rapport aux émissions annuelles nationales totales de X	Références
HF	117,5- 235		(15)
<i>moyenne</i>	176 tonnes/an	-	
HCl	35 000 tonnes/an	47 %	(18)
CFC	2 450- 10 000		(8)
<i>moyenne</i>	6 250 tonnes/an	20 - 50 %	(37)
Dioxines et Furannes	1,17 kgI-TEQ/an	94 %	(11)

Les données d'émission de CFC ne concernent que le stockage des déchets ménagers. Leur fiabilité est discutable. Elles sont donc à considérer avec la plus grande prudence.

3.5 TRAITEMENT DES DÉCHETS INDUSTRIELS SPÉCIAUX

Nous nous sommes intéressés aux trois filières principales de gestion des DIS:

- l'incinération sous toutes ces formes,
- les traitements physico-chimiques,
- le stockage en CET.

3.5.1. INCINÉRATION DES DÉCHETS INDUSTRIELS SPÉCIAUX

42% des DIS sont concernés par l'incinération. Près de 985 000 tonnes sont incinérées en externe chaque année, auxquelles s'ajoute environ 1 million de tonnes de DIS incinérées en interne dans les usines qui les produisent.

La plupart des DIS peuvent contenir des produits très toxiques. Ils peuvent aussi générer lors de leur combustion des composés également dangereux (métaux lourds, acides minéraux, etc.). Ils ne sont donc incinérés que dans des installations spécifiques dont les caractéristiques (système d'admission des déchets, typologie du four, conditions de fonctionnement, procédé de traitement des gaz) dépendent des déchets incinérés.

Les gaz, généralement acides, font l'objet de traitement de lavage, de neutralisation et de dépoussiérage afin que leur teneur en polluants soit ramenée à des niveaux compatibles avec les normes de qualités fixées par arrêté. Les effluents liquides issus du traitement des gaz sont rejetés dans le milieu naturel à condition de respecter les normes de rejet.

Les DIS se répartissent de la façon suivante entre chaque filière d'incinération:

Tableau 60: Répartition des DIS entre les différentes filières d'incinération

FILIÈRES D'INCINÉRATION	en % massique
Centre d'incinération	54
Cimenterie	26
Évapo-incinération	15
UIOM et centrale thermiques	5
Total	100

Source: (24)

• *Cas particulier de l'incinération en cimenterie*

Sur 985 000 tonnes de DIS incinérés en externe chaque année, 260 000 tonnes sont incinérés en cimenterie. Ce sont soit des déchets énergétiques qui se substituent à une partie du combustible, soit des déchets sans valeur énergétique qui profitent des conditions favorables du procédé pour leur destruction thermique. Ceci concerne par exemple les huiles usagées, les solvants, les boues de peinture, déchets d'encre, les résidus de broyage automobile, les pneumatiques, etc.

Le procédé cimentier offre les garanties suffisantes à la destruction des déchets: température élevée, temps de séjour long, forte inertie thermique, milieu oxydant. Les phases organiques sont complètement décomposées, les gaz acides sont neutralisés par la chaux issue du process (99,9% de piégeage du chlore, 75 à 95% pour le soufre), tandis que les métaux sont piégés au sein de la matrice minérale (plus de 95%) (31).

Nous considérons donc que l'incinération des DIS par ce procédé n'engendre pas d'émission supplémentaire par rapport à son fonctionnement sans déchets, ce qui explique l'absence de données nationales à ce niveau.

- *L'évapo-incinération*

Environ 15% des DIS incinérés en externe le sont par la technique de l'évapo-incinération. Ce procédé concerne principalement les mélanges eaux-hydrocarbures à forte charge organique. Il allie les techniques d'incinération et de traitement physico-chimique. C'est un passage thermique au cours duquel la phase aqueuse est vaporisée. Le concentrât liquide d'hydrocarbures est alors facilement incinérable. L'eau en phase vapeur subit un traitement d'oxydation thermique à haute température qui permet l'élimination de la phase organique résiduelle avant rejet à l'atmosphère.

3.5.2. TRAITEMENTS PHYSICO-CHIMIQUES

La filière physico-chimique s'adapte au traitement des DIS incombustibles ou non incinérables directement. De nombreux déchets solides, liquides ou pâteux doivent subir divers traitements qui ont pour but:

- de concentrer
- de séparer
- d'atténuer la toxicité
- d'inertiser
- de conditionner.

Les résidus issus de ces traitements sont, soit dirigés vers des centres de stockage, soit incinérés. Une fraction peut être valorisée ou recyclée lorsque cela est possible.

• Situation en France

17% des DIS sont redevables de la filière physico-chimique, pour l'essentiel dans des centres collectifs. En effet, on estime que les déchets traités en interne ne représentent que 7% du total de la filière.

En 1994, 13 centres collectifs de traitements physico-chimiques étaient recensés en France. En 1992, ils ont reçu 368 000 tonnes de déchets à traiter.

Ces centres regroupent un ensemble de modes de traitement s'adaptant aux multiples catégories de déchets industriels spéciaux. Le tableau suivant nous donne la répartition massique des DIS selon le traitement physico-chimique qu'ils subissent en centre collectif.

Tableau 61: Répartition des DIS par type de traitement physico-chimique

FILIÈRES PHYSICO-CHIMIQUES	% massiques (1992)
Déchromatation	7%
Décyanuration	5%
Neutralisation	34%
Régénération des résines	< 1%
Déshydratation mécanique	6%
Solidification	2%
Cassages d'émulsion	41%
Osiose inverse	3%
Traitements spéciaux de solutions aqueuses	2%
<i>total traitements physico-chimiques</i>	<i>368 026 tonnes</i>

source (24)

• Polluants associés aux traitements physico-chimiques des DIS

Lors du fonctionnement normal des installations, il n'y a à priori pas de rejets significatifs à l'atmosphère.

Par contre, la filière est responsable de rejets aqueux. La pollution restante dépend ensuite du système de traitement des eaux résiduaires propre à chaque centre.

Les polluants principaux que l'on trouve sont:

- les métaux (caractérisés par la valeur en Métox¹⁴ du rejet)
- les matières colloïdales (caractérisées par la valeur de MES¹⁵ du rejet)
- les molécules organiques telles que le phénol, les hydrocarbures, etc.

¹⁴Métox: paramètre utilisé par les Agences de l'Eau estimant la teneur en métaux d'un effluent.

¹⁵MES: matières en suspension, paramètre utilisé par les Agences de l'Eau.

3.5.3. LE STOCKAGE EN CENTRE D'ENFOUISSEMENT TECHNIQUE

Si l'on cumule le stockage interne et externe en France, cette technique reste à la première place dans la gestion des DIS. Ces derniers sont, soit enfouis directement, soit issus de prétraitements permettant l'enfouissement.

En 1990, 42 % de la masse totale de DIS soit 3 Mt ont été dirigés vers des centres d'enfouissement technique (ou assimilés) (37).

Les sites de stockage doivent être des centres d'enfouissement technique de classe I (ou assimilés) et doivent donc répondre à des caractéristiques bien précises:

- imperméabilité du fond de la décharge (coefficient de perméabilité: $K < 10^{-9}$ m/s sur une épaisseur minimale de 5 mètres)
- aptitude du site à un façonnage garantissant les écoulements vers un point bas
- aptitude à l'implantation d'un ouvrage de contournement évitant les entrées d'eaux de surface
- aptitude à une couverture en pente favorisant le ruissellement.

Les déchets, eux aussi, doivent répondre à des critères d'admission:

- siccité >15 à 20 %
- fraction soluble <10 % et ne dépassant pas certaines concentrations en substances toxiques
- hydrocarbures totaux <10%
- $6 < \text{pH} < 8$

Actuellement, la répartition des déchets entrant en CET de classe I est la suivante (1992):

Tableau 62: Déchets entrants en CET de classe I (1992)

Nature des déchets	Pourcentage de la masse totale
boues de STEP	2%
déchets industriels banals	8%
déchets industriels spéciaux	81%
déchets inertes	3%
ordures ménagères	6%
<i>Tonnage total (1992)</i>	<i>960 000</i>

source (24)

• Polluants associés au stockage des DIS

⇒ Les lixiviats

Le stockage des DIS produit des effluents aqueux ou "lixiviats" qui nécessitent un traitement particulier avant rejet au milieu naturel en accord avec l'arrêté préfectoral d'exploitation. Les caractéristiques générales de ces lixiviats sont semblables à celles données pour les lixiviats dus au stockage des déchets ménagers (cf 3.4.2.1.2 page 126).

⇒ Émission de biogaz

Le cas des DIS est sensiblement différent de celui des déchets ménagers. La partie fermentescible des déchets industriels est beaucoup plus faible que pour les déchets ménagers. La quantité de biogaz émis est donc très faible voire négligeable.

3.5.4. DONNÉES CHIFFRÉES: BILAN DU TRAITEMENT DES DIS

Les diverses sources de données sont accessibles en annexe 4 ainsi qu'une explication quant au choix des valeurs présentées dans les tableaux suivants. Ces quatre tableaux regroupent les données d'émissions annuelles nationales de polluants dues au traitement des DIS.

Tableau 63: Polluants atmosphériques classiques émis annuellement par le traitement des DIS en France

POLLUANT X	Émissions annuelles nationales de X dues au traitement des DIS (tonnes/an)	Émissions de X dues au traitement des DIS par rapport aux émissions annuelles nationales totales de X
SO ₂	4 854	<1%
NO _x	943	<1%
COVNM	31	<1%
CH ₄	64	<1%
CO	3 372	<1%
CO ₂	225 000	<1%
N ₂ O	négligeable	-
NH ₃	négligeable	-

Source: (5)

Il s'agit des émissions dues à l'incinération des déchets industriels et des boues d'épuration des eaux ainsi que des émissions des torchères en raffinerie et dans l'industrie chimique.

Tableau 64: Métaux émis à l'atmosphère annuellement par le traitement des DIS en France

POLLUANT X	Émissions annuelles nationales de X dues au traitement des DIS (kg/an)	Émissions de X dues au traitement des DIS par rapport aux émissions annuelles nationales totales de X	Références
Zn	15 045	2 %	(9) (28)
Cd	0,28-1,16		(16)
<i>moyenne</i>	0,72	< 1 %	
Pb	10 948	< 1 %	(9) (28)
Hg	5 950	27 %	(17)
Ni	799	< 1 %	(9)
Cr	748	< 1 %	(9)

Ces données ne concernent que l'incinération des déchets industriels. Elles sont très approximatives puisqu'elles sont établies à partir de facteurs d'émission eux-mêmes relativement arbitraires.

Tableau 65: Polluants atmosphériques particuliers émis annuellement par le traitement des DIS en France

POLLUANT	Émissions annuelles nationales dues au traitement des DIS (g I-TEQ /an)	Émissions dues au traitement des DIS par rapport aux émissions annuelles nationales totales
Dioxines et furannes	51	4 %

Source: (11)

Cette donnée ne concerne que l'incinération des déchets industriels. Elles est établie à partir d'un facteur d'émission relativement arbitraires.

Tableau 66: Pollution annuelle de l'eau par le traitement des DIS en France

Paramètre de pollution X	Niveaux annuels nationaux de X pour le traitement des déchets
MES <i>moyenne</i>	3- 1 257 630 tonnes/an
MA <i>moyenne</i>	45- 369 207 tonnes/an
MI <i>moyenne</i>	$3 \cdot 10^6$ - $520 \cdot 10^6$ $261 \cdot 10^6$ équitox/an
Sels	3,2 mho/cm.m ³
Métaux <i>moyenne</i>	$2 \cdot 10^6$ - $559 \cdot 10^6$ $280,5 \cdot 10^6$ Métox/an
MO <i>moyenne</i>	427 - 12 284 6 355 tonnes/an

Ces estimations ne prennent en compte que les rejets dus au traitement des déchets industriels en centres collectifs (incinération et traitement physico-chimique). Ces valeurs sont des estimations personnelles faites à partir des données recueillies auprès des Agences de l'Eau. La donnée sur les sels provient du Ministère de l'Environnement (22).

3.6 BILAN DU SECTEUR TRAITEMENT DES DÉCHETS

Après nous être plus particulièrement intéressés aux filières incinération, traitements physico-chimiques et stockage, nous présentons des estimations recueillies pour la totalité du secteur tous déchets confondus. Dans la mesure du possible, nous avons pris en compte les émissions des secteurs suivants:

- **Incinération des déchets**
 - ménagers et assimilés
 - industriels
 - boues d'épuration des eaux
 - torchères en raffinerie
 - torchères dans l'industrie chimique
- **Stockage**
- **Traitements physico-chimiques en centres collectifs**
- **Traitement des eaux usées**
- **Épandage des boues**
- **Production de biogaz**
- **Feux ouverts de déchets agricoles**

3.6.1. POLLUANTS ÉMIS PAR LE SECTEUR TRAITEMENT DES DÉCHETS

Les quatre tableaux suivants regroupent l'ensemble des données de rejets de polluants dus au traitement des déchets. Dans la mesure du possible, on a considéré la totalité de ce secteur. Toutefois certains rejets n'ont pas été estimés. Sous chacun des tableaux suivants nous avons donc présenté les limites liées à ces données.

Tableau 67: Polluants atmosphériques classiques émis annuellement par le traitement des déchets en France

POLLUANT X	Émissions annuelles nationales de X dues au traitement des déchets (tonnes/an)	Émissions de X dues au traitement des déchets par rapport aux émissions annuelles nationales totales de X	Références
SO ₂	19 166	1,5 %	(5)
NO _x	23 935	1,5 %	(5)
COVNM	20 521	<1 %	(5)
CH ₄	739 485	24 %	(5)
CO	232 015	2 %	(5)
CO ₂	13 178 000	3 %	(5)
N ₂ O	1 336	<1 %	(5)
Poussières	1 764 - 11 760		(15)
<i>moyenne</i>	6 762	3 %	
NH ₃	1 751	< 1%	(5)

Les émissions atmosphériques dues au traitement physico-chimique sont considérées comme négligeables. Pour les émissions de poussières, il ne s'agit que des données des UIOM.

Tableau 68: Métaux émis annuellement par le traitement des déchets en France

POLLUANT X	Émissions annuelles nationales de X dues au traitement des déchets (tonnes/an)	Émissions de X dues au traitement des déchets par rapport aux émissions annuelles nationales totales de X	Références
Zn	33,75	4 %	(9) (28)
Cd	3 - 6,9		(16)
<i>moyenne</i>	4,9	42 %	
Pb	38,6	<1 %	(9) (28)
Hg	6,9-15,7		(17)
<i>moyenne</i>	11,3	51 %	
Ni	0,9	<1 %	(9)
Cu	1,7	<1 %	(9)
Cr	1,2	<1 %	(9)

Il ne s'agit que des émissions dues à l'incinération des OM, DIB et DIS. Il s'agit de la somme des données du bilan du traitement des OM et assimilées et du traitement des DIS. Pour le cuivre, seules les émissions engendrées par l'incinération des OM et des DIB ont été prises en considération.

Tableau 69: Polluants atmosphériques particuliers émis annuellement par le traitement des déchets en France

POLLUANT X	Émissions annuelles nationales de X dues au traitement des déchets	Émissions de X dues au traitement des déchets par rapport aux émissions annuelles nationales totales de X	Références
HF	118 - 235		(15)
<i>moyenne</i>	176 tonnes/an	-	
HCl	35 000 tonnes/an	47 %	(18)
CFC	2 450-10 000		(8)
<i>moyenne</i>	6 250 tonnes/an	20-50 %	(37)
Dioxines et furannes	1,22 kg I-TEQ/an	98 %	(11)

Les émissions de HF et d'HCl ne sont estimées que pour les UIOM. Les données de CFC correspondent aux émissions par les centres de stockage et sont d'ailleurs à considérer avec beaucoup de précaution. Pour les dioxines et les furannes, il s'agit de l'incinération des OM et assimilées et des déchets industriels.

**Tableau 70: Pollution annuelle de l'eau
par le traitement des déchets en France**

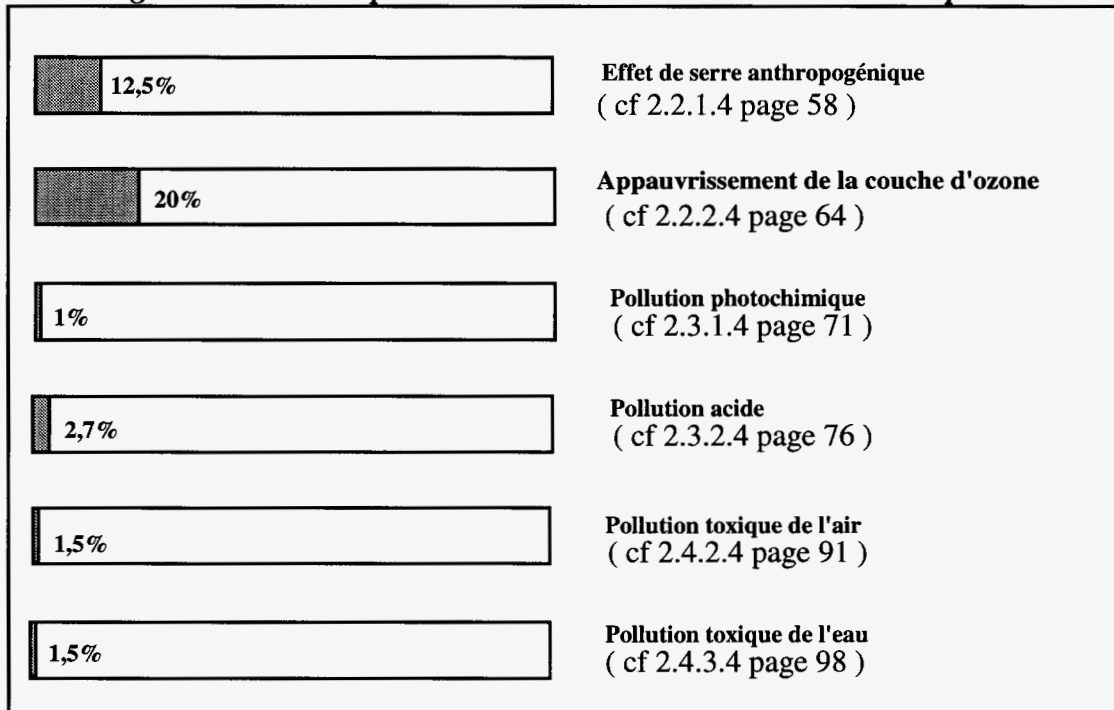
Paramètres de pollution X	Niveaux annuels nationaux de X pour le traitement des déchets
MES <i>moyenne</i>	3- 1 257 630 tonnes/an
MA <i>moyenne</i>	45- 369 207 tonnes/an
MI <i>moyenne</i>	$3 \cdot 10^6$ - $520 \cdot 10^6$ $261 \cdot 10^6$ équitox/an
Sels	$3,2 \text{ mho/cm.m}^3$
Métaux <i>moyenne</i>	$2 \cdot 10^6$ - $559 \cdot 10^6$ $280,5 \cdot 10^6$ Métox/an
MO <i>moyenne</i>	427 - 12 284 6 355 tonnes/an

Ces estimations ne prennent en compte que les rejets dûs au traitement des déchets industriels en centres collectifs (incinération et traitement physico-chimique). Ces valeurs sont des estimations personnelles faites à partir des données recueillies auprès des Agences de l'Eau. La donnée sur les sels provient du Ministère de l'Environnement (22).

3.6.2. PARTICIPATION DU TRAITEMENT DES DÉCHETS AUX POLLUTIONS

Cette répartition découle de la mise en commun des informations obtenues à la fin de chaque chapitre traitant d'une pollution.

Figure 18: Participation du traitement des déchets aux pollutions



⇒ Effet de serre anthropogénique

c'est principalement la mise en décharge par les émissions de méthane qu'elle entraîne ainsi que la mise au rebut de déchets contenant des CFC (réfrigérateurs, congélateurs, mousses d'isolation, etc.) qui contribuent à l'effet de serre anthropogénique.

⇒ Appauvrissement de la couche d'ozone

Cette évaluation a été faite à partir des estimations d'émission de CFC (et dérivés). Le fort pourcentage obtenu par le traitement des déchets tient au fait que la mise en charge semble représenter 20% des émissions de CFC en France. Il faut toutefois garder une grande prudence par rapport aux estimations faites pour les CFC qui sont souvent remises en cause.

⇒ pollution photochimique

La faible contribution du secteur traitement des déchets peut s'expliquer de deux façons. D'une part, les polluants impliqués dans cette pollution sont faiblement émis par ce secteur (0,7% pour les COVNM, 1,5% pour les NO_x, 25% pour CH₄ des émissions nationales). D'autre part, les sites de traitement des déchets sont généralement implantés à l'extérieur des centres urbains favorisant ainsi la dispersion des polluants dans l'atmosphère.

⇒ Pollution acide

Avec 2,7% de contribution, le traitement des déchets ne prend que très faiblement part à cette pollution. Les émissions d'HCl par les incinérateurs qui représentent pourtant près de 50% des émissions totales passent en second plan derrière les masses énormes de NO_x et SO₂ émises par les autres secteurs.

⇒ Pollution toxique de l'air

La contribution du traitement des déchets à cette pollution est très faible. Malgré des pourcentages d'émission en métaux et dioxines importants (environ 42% des émissions totales de cadmium et plus de 90% des émissions totales de dioxine-furanne), ces polluants ne constituent qu'une très petite masse polluante.

⇒ Pollution toxique de l'eau

Par rapport au secteur domestique ou industriel, le secteur "traitement des déchets" participe faiblement à la pollution toxique de l'eau. Toutefois ses rejets en matières inhibitrices sont estimés de manière très grossière.

3.6.3 CE QU'IL FAUT RETENIR

LE TRAITEMENT DES DÉCHETS

⇒ Polluants principaux mis en cause

- dans l'air
 - CH₄
 - HCl
 - CFC et dérivés
 - Dioxines et furannes
 - Cadmium
 - Mercure
- dans l'eau
 - Matières inhibitrices
 - Métaux

⇒ Les chiffres significatifs

- Plus fortes participations du traitement des déchets:
 - **20%** de l'appauvrissement de la **couche d'ozone**
 - environ **12,5%** de l'**effet de serre**
- Plus faibles participations du traitement des déchets:
 - **moins de 3%** de la **pollution acide**
 - **1,5%** de la **pollution toxique de l'air**
 - **1,5%** de la **pollution toxique de l'eau**
 - environ **1%** de la **pollution photochimique**

On note un manque significatif de données fiables concernant ce secteur. Les données avancées dans ce rapport sont donc à considérer avec beaucoup de prudence.

TROISIÈME PARTIE:

L'ÉQUIVALENT-HABITANT / DÉCHETS

CHAPITRE 1. INTRODUCTION

1.1 CONCEPT

Au sein d'une collectivité définie (un pays par exemple) co-responsable de l'émission d'une certaine quantité d'éléments polluants en rapport avec son activité, il est possible de rendre compte de cet état en affectant à chaque habitant la fraction correspondante de ces différents polluants.

Cette représentation vise deux objectifs:

- au plan pratique, elle permet de disposer d'une base quantitative pour dimensionner à priori une future installation de traitement. Ceci est particulièrement vrai pour les polluants directement émis par les habitants. C'est le cas, par exemple, des eaux usées domestiques. Par analogie avec ces estimations, il est possible d'évaluer aussi par ce biais la pollution rejetée par une unité industrielle ou agricole dans la mesure où les paramètres de la pollution choisie sont communs. C'est ainsi que l'on dira qu'une raffinerie émet, au regard de la pollution oxydable par exemple, une quantité d'eau polluée équivalente à N habitants.

- au plan de la communication, cette expression de la pollution concrétise, au niveau du message, la "co-responsabilité" de chaque habitant, de façon certes arbitraire mais bien illustrative. Elle permet aussi d'effectuer des comparaisons entre les différentes sources de pollution en les reliant au point commun que constitue l'habitant.

1.2 OBJECTIFS DE NOTRE TRAVAIL

Nous visons ici plusieurs objectifs.

- Établir des équivalents-habitants liés aux polluants émis par les filières de traitement des déchets: incinération, mise en décharge, traitements physico-chimiques, ... Réaliser, dans le même ordre d'idée, des équivalents-habitants liés aux pollutions engendrées par ces traitements.

- Réaliser le même travail pour les autres secteurs émetteurs des mêmes polluants dans l'eau et l'air. Il s'agit principalement des activités du transport et du secteur résidentiel-tertiaire (chauffage principalement).

- A partir de l'ensemble des informations précédentes, il sera alors possible de se livrer à toutes les comparaisons voulues afin de dégager des outils quantitatifs utilisables au plan de la compréhension et de la communication.

Quelque soit le secteur considéré, deux sortes d'approches sont permises par notre étude:

- l'approche par polluant dans l'eau et dans l'air;
- l'approche par pollution.

CHAPITRE 2. REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

2.1 L'ÉQUIVALENT-HABITANT POUR L'EAU

Le décret du 28 octobre 1975 relatif à LA RÉPARTITION DES EAUX ET LA LUTTE CONTRE LEUR POLLUTION et l'arrêté du 19 décembre 1991 donnent pour la France les valeurs caractérisant l'équivalent-habitant au niveau de la pollution de l'eau:

- Débit :	Q = 150 à 200 l/hab./j
- Matières en suspension:	MES = 90 g/hab./j
- Matières oxydables:	MO = 57 g/hab./j
- Matières inhibitrices:	MI = 0,2 équitox/hab./j
- Matières azotées:	MA = 15 g/hab./j
- Matières phosphatées:	MP = 4 g/hab./j
- Composés organohalogénés:	0,05 g/hab./j
- Métaux:	Métox = 0,23 g/hab./j

Cet ensemble de valeurs caractérise la pollution quotidiennement engendrée par un habitant.

Dans la pratique, on observe que la notion d'équivalent-habitant est utilisée différemment suivant que l'on considère le débit, les matières en suspension, ou encore un autre paramètre. Par exemple, une unité industrielle est dite estimée à 500 équivalents-habitants/matière oxydable lorsque son rejet correspond à autant de matière oxydable par jour que 500 habitants types.

Le principal objectif de cette notion d'équivalent-habitant est de dimensionner, à priori, une station d'épuration connaissant l'effectif de la population à raccorder.

2.2 L'ÉQUIVALENT-HABITANT/DÉCHET SELON MAYSTRE (33)

Le concept d'équivalent-habitant peut s'appliquer à toute activité générant des déchets. Dans le domaine des déchets, l'équivalent-habitant peut se référer à divers paramètres: tonnage, teneur en matières organiques, pouvoir calorifique, etc. Par exemple, une entreprise équivaut à 500 équivalents-habitants si sa production massique de déchets assimilables aux OM est la même que celle de 500 habitants dans le cas où l'on prend le tonnage comme élément d'évaluation.

CHAPITRE 3. DÉFINITIONS

On entend par définition de l'équivalent-habitant d'un secteur, l'ensemble des valeurs de charges polluantes annuelles dues à ce secteur, ramené à un habitant. Chaque tableau qui suit est une définition d'un équivalent-habitant.

Pour notre part, nous avons appliqué cette notion à trois secteurs:

- Le traitement des déchets ainsi que le sous-secteur du traitement des déchets ménagers
- Le transport
- Le résidentiel-tertiaire.

L'**équivalent-habitant/polluants d'un secteur** est défini par l'ensemble des valeurs d'émission annuelle de polluants engendrée en France par le secteur considéré ramenée à un habitant. Ces émissions nationales annuelles sont ramenées à l'habitant en les divisant par la population française de l'année d'estimation (tableau 71).

Tableau 71: Population française par année

Année	Population française
1989	56 423 405
1990	56 735 103
1991	56 893 206
1992	57 217 577
1993 ¹⁶	57 529 577
1994 ¹⁶	57 803 577

source: INSEE

Par extension, on définit l'**équivalent-habitant/pollutions d'un secteur**. C'est l'ensemble des données de contribution aux pollutions calculé pour un secteur particulier. Ces valeurs sont calculées de la façon suivante:

On considère le secteur i , une pollution particulière p et un ensemble de polluants j participant à cette pollution.

C_{ip} est la contribution du secteur i à la pollution p .

M_{ij} est la masse annuelle de polluant j émise en France par le secteur i .

k_{jp} est le coefficient de pondération du polluant j . Il traduit le pouvoir de contribution de ce polluant à la pollution p . On a alors:

$$C_{ip}(\text{en}\%) = \frac{C_{ip}}{\sum_i C_{ip}} \times 100 = \frac{\sum_j (M_{ij} \times k_{jp})}{\sum_{ij} (M_{ij} \times k_{jp})} \times 100$$

$C_{ip}(\%)$, exprime la contribution du secteur i à la pollution p au niveau national.

¹⁶ Valeur estimée sur la base de 1992.

Si l'on veut se ramener à l'émission d'un habitant, il faut diviser la masse de polluant M_{ij} émise annuellement par le secteur i par la population française. Dans la formule précédente, cette division se fait au niveau du numérateur et du dénominateur. Ainsi, le résultat est inchangé et C_p (%) exprime alors la contribution du secteur i à la pollution p pour un habitant. Par extension, on définit donc l'équivalent-habitant/pollutions qui traduit la contribution aux pollutions du secteur considéré, au niveau national ainsi qu'au niveau d'un habitant.

L'élaboration de ces équivalents-habitants a été faite en fonction des données disponibles. Ces données ne sont pas exhaustives. Ces définitions, bien qu'imparfaites, constituent donc une première approche du sujet et peuvent être complétées par d'autres données.

3.1 L'ÉQUIVALENT-HABITANT/DÉCHET

L'équivalent-habitant/déchet traduit soit la quantité annuelle de polluants engendrée par le traitement des déchets d'un habitant; soit la contribution aux pollutions du traitement des déchets d'un habitant.

Deux approches sont présentées selon le type de déchets considéré. La première approche, plus générale, caractérise le traitement des déchets produits en France dans sa globalité. Le traitement des déchets est alors considéré dans son ensemble, dans la limite des données disponibles. La seconde approche caractérise plutôt la pollution propre due à la vie de l'habitant puisqu'elle ne s'attache qu'au traitement des déchets ménagers (ordures ménagères et assimilées, encombrants).

Il en résulte quatre tableaux de définition:

Tableau 72: L'équivalent-habitant/déchets par polluant.....	p 148
Tableau 73: L'équivalent-habitant/déchets par pollution.....	p 149
Tableau 74: L'équivalent-habitant/déchets ménagers par polluant.....	p 150
Tableau 75: L'équivalent-habitant/déchets ménagers par pollution.....	p 151

3.1.1 L'équivalent-habitant/déchets

Ce tableau présente, au plan national, les émissions annuelles de polluants du secteur traitement des déchets ramenées à un habitant. Le traitement des déchets est considéré dans son ensemble, dans la limite des données disponibles. Ces données proviennent de la division des données des tableaux 67 à 70 pages 136 à 138 par la population française donnée par le tableau 71 page 145.

Tableau 72: L'équivalent-habitant/déchets par polluant

ÉQUIVALENT-HABITANT/DÉCHETS PAR POLLUANT	
POLLUANTS ATMOSPHÉRIQUES CLASSIQUES en g/hab./an	
SO₂	340
NO_x	420
COVNM	360
CH₄	12 970
CO	4 070
CO₂	232 000
N₂O	20
Poussières	120
NH₃	30
MÉTAUX DANS L'ATMOSPHÈRE en mg/hab./an	
Zn	595
Cd	86
Pb	681
Hg	200
Ni	16
Cu	2,9 10 ⁻²
Cr	22
POLLUANTS ATMOSPHÉRIQUES PARTICULIERS	
HF	3 g/hab./an
CFC	110 g/hab./an
HCl	608 g/hab./an
Dioxines et Furannes	21 µg I-TEQ/hab./an
PARAMÈTRE DE POLLUTION DE L'EAU	
MES	11 g/hab./an
MA	3,6 g/hab./an
MI	4,6 équitox/hab./an
Sels	5,6.10 ⁻⁸ mho/cm.m ³ /hab./an
Métaux	4,9 Métox/hab./an
MO	111 g/hab./an

Ce tableau représente, au niveau national, la participation du secteur traitement des déchets aux diverses pollutions. Le traitement des déchets est considéré dans son ensemble, dans la limite des données disponibles. Ces données proviennent de la figure 18 page 139.

Tableau 73: L'équivalent-habitant/déchets par pollution

ÉQUIVALENT-HABITANT/DÉCHETS PAR POLLUTION	
POLLUTIONS PLANÉTAIRES	
EFFET DE SERRE ANTHROPOGÉNIQUE	12,5%
APPAUVRISSMENT DE LA COUCHE D'OZONE	20%
POLLUTIONS RÉGIONALES	
POLLUTION PHOTOCHEMIQUE	1,2%
POLLUTION ACIDE	2,7%
POLLUTIONS LOCALES	
POLLUTION TOXIQUE DE L'AIR	1,5%
POLLUTION TOXIQUE DE L'EAU	1,5%

3.1.2 L'équivalent-habitant/déchets ménagers

Ce tableau présente, au plan national, les émissions de polluants du secteur traitement des déchets ménagers (ordures ménagères et assimilées, encombrants) ramenées à un habitant. Ces données proviennent de la division des données des tableaux 57 à 59 pages 128-129 par la population française donnée par le tableau 71 page 145.

Tableau 74: L'équivalent-habitant/déchets ménagers par polluant

ÉQUIVALENT-HABITANT/DÉCHETS MÉNAGERS PAR POLLUANT	
POLLUANTS ATMOSPHERIQUES CLASSIQUES en g/hab./an	
SO₂	250
NO_x	350
COVNM	90
CH₄	12 400
CO	100
CO₂	158 000
N₂O	négligeable
Poussières	120
NH₃	négligeable
MÉTAUX DANS L'ATMOSPHERE en mg/hab./an	
Zn	327
Cd	86
Pb	488
Hg	95
Ni	2
Cu	2,9 10 ⁻²
Cr	9
POLLUANTS ATMOSPHERIQUES PARTICULIERS	
HF	3 g/hab./an
CFC	110 g/hab./an
HCl	608 g/hab./an
Dioxines et furannes	20 µg I-TEQ/hab./an

Ce tableau représente, au niveau national, la participation du secteur traitement des déchets ménagers (ordures ménagères et assimilées, encombrants) aux diverses pollutions.

Tableau 75: L'équivalent-habitant /déchets ménagers par pollution

ÉQUIVALENT-HABITANT/DÉCHETS MÉNAGERS PAR POLLUTION	
POLLUTIONS PLANÉTAIRES	
EFFET DE SERRE ANTHROPOGÉNIQUE	6,9%
APPAUVRISSMENT DE LA COUCHE D'OZONE	20%
POLLUTIONS RÉGIONALES	
POLLUTION PHOTOCHEMIQUE	0,8%
POLLUTION ACIDE	1,8%
POLLUTIONS LOCALES	
POLLUTION TOXIQUE DE L'AIR	1,1%

3.2 L'ÉQUIVALENT-HABITANT/TRANSPORT

L'équivalent-habitant/transport traduit soit la quantité de polluants annuellement engendrée par l'utilisation des transports par un habitant; soit la contribution aux pollutions due à l'utilisation des transports. Il en résulte deux tableaux de définition:

Tableau 76: L'équivalent-habitant/transport par polluant.....	p 153
Tableau 77: L'équivalent-habitant/transport par pollution.....	p 154

Ce tableau présente, au niveau de la France, les émissions annuelles de polluants du secteur transport ramenées à un habitant. Il ne s'agit que des émissions atmosphériques dues à l'utilisation des transports. Ces données proviennent de la division des données des tableaux 33-34 page 105 par la population française donnée par le tableau 71 page 145.

Tableau 76: L'équivalent-habitant/transport par polluant

ÉQUIVALENT-HABITANT/TRANSPORT PAR POLLUANT	
POLLUANTS ATMOSPHÉRIQUES CLASSIQUES en g/hab./an	
SO₂	2 700
NO_x	19 100
COVNM	20 800
CH₄	400
CO	120 300
CO₂	1 777 200
N₂O	74
Poussières	1 300
NH₃	110
MÉTAUX DANS L'ATMOSPHÈRE en mg/hab./an	
Pb	66 000
POLLUANTS ATMOSPHÉRIQUES PARTICULIERS	
CFC	6,55 g/hab./an
Dioxines et furannes	0,28 µg I.TEQ/hab./an

Ce tableau représente, au niveau national, la participation du secteur transport aux diverses pollutions. Ces données proviennent de la figure 16 page 106.

Tableau 77: L'équivalent-habitant/transport par pollution

ÉQUIVALENT-HABITANT/TRANSPORT PAR POLLUTION	
POLLUTIONS PLANÉTAIRES	
EFFET DE SERRE ANTHROPOGÉNIQUE	12,5%
APPAUVRISSMENT DE LA COUCHE D'OZONE	négligeable
POLLUTIONS RÉGIONALES	
POLLUTION PHOTOCHEMIQUE	50%
POLLUTION ACIDE	37%
POLLUTIONS LOCALES	
POLLUTION TOXIQUE DE L'AIR	42,5%

3.3 L'ÉQUIVALENT-HABITANT/RÉSIDENTIEL-TERTIAIRE

L'équivalent-habitant/résidentiel-tertiaire traduit soit la quantité de polluants annuellement engendrée par l'habitant lors de ses activités liées au secteur résidentiel-tertiaire (chauffage, utilisation d'eau); soit la contribution aux pollutions du secteur résidentiel-tertiaire. Il en résulte deux tableaux de définition:

Tableau 78: L'équivalent-habitant/résidentiel-tertiaire par polluant.....p 156

Tableau 79: L'équivalent-habitant/résidentiel-tertiaire par pollution.....p 157

Ce tableau présente, au niveau national, les émissions annuelles de polluants du secteur résidentiel-tertiaire ramenées à un habitant. proviennent de la division des données des tableaux 42 à 45 pages 113-114 par la population française donnée par le tableau 71 page 145.

Tableau 78: L'équivalent-habitant/résidentiel-tertiaire par polluant

ÉQUIVALENT-HABITANT/RÉSIDENTIEL-TERTIAIRE PAR POLLUANT	
POLLUANTS ATMOSPHÉRIQUES CLASSIQUES en g/hab./an	
SO₂	3 000
NO_x	1 700
COVNM	7 000
CH₄	2 600
CO	38 500
CO₂	2 082 000
N₂O	70
Poussières	180
NH₃	négligeable
MÉTAUX DANS L'ATMOSPHÈRE en mg/hab./an	
Zn	405
Pb	386
Ni	2 503
Cu	5,6 10 ⁻¹
Cr	285
POLLUANTS ATMOSPHÉRIQUES PARTICULIERS en g/hab./an	
CFC	88
PARAMÈTRES DE POLLUTION DE L'EAU	
MES	33 000 g/hab./an
MA	5 000 g/hab./an
MI	73 équitox/hab./an
MP	1 300 g/hab./an
Métaux	87 métox/hab./an
MO	21 000 g/hab./an
Halogènes	17 g/hab./an

Ce tableau représente, au niveau national, la participation du secteur résidentiel-tertiaire aux diverses pollutions. Ces données proviennent de la figure 17 page 115.

Tableau 79: L'équivalent-habitant résidentiel-tertiaire par pollution

ÉQUIVALENT-HABITANT/RÉSIDENTIEL-TERTIAIRE PAR POLLUTION	
POLLUTIONS PLANÉTAIRES	
EFFET DE SERRE ANTHROPOGÉNIQUE	20,5%
APPAUVRISSMENT DE LA COUCHE D'OZONE	15%
POLLUTIONS RÉGIONALES	
POLLUTION PHOTOCHEMIQUE	11%
POLLUTION ACIDE	9,5%
POLLUTIONS LOCALES	
EUTROPHISATION	48%
POLLUTION TOXIQUE DE L'AIR	9,5%
POLLUTION TOXIQUE DE L'EAU	25%

CHAPITRE 4: UTILISATION DES ÉQUIVALENTS-HABITANTS

Les équivalents-habitants définis précédemment sont des outils qui permettent de se livrer à toutes les comparaisons voulues entre les différents secteurs étudiés.

Afin d'établir ces comparaisons, le secteur auquel on s'intéresse est pris comme référence: les données de l'équivalent-habitant associées à ce secteur sont alors prises égales à 1.

Les données des secteurs à comparer sont ensuite divisées par les valeurs de l'équivalent-habitant du secteur référence.

Par exemple, si l'on prend le secteur traitement des déchets comme référence et que l'on compare les émissions de NO_x, on obtient:

Tableau 80: Exemple de calcul

	Résidentiel- tertiaire	Transport	Traitement des déchets
Valeurs de l'équivalent- habitant/NO _x	1,70	19,10	0,42
valeurs comparatives	$\frac{1,70}{1,70} = 1$	$\frac{19,10}{1,70} = 11,23$	$\frac{0,42}{1,70} = 0,25$

Au regard de ce tableau, on peut immédiatement conclure que le secteur transport émet environ 11 fois plus de NO_x que le secteur résidentiel-tertiaire.

Quant au secteur traitement des déchets, celui-ci correspond à 0,25 équivalent-habitant/résidentiel-tertiaire/NO_x. Il émet donc 4 fois moins de NO_x que le secteur résidentiel-tertiaire.

Pour la comparaison des contributions aux pollutions, les calculs sont similaires.

Nous avons choisi, comme convention d'écriture des valeurs comparatives, de garder deux chiffres significatifs. On définit cette écriture afin de conserver, dans la mesure du possible, une signification raisonnable aux valeurs proposées tout en étant conscient des fortes incertitudes attachées à ces valeurs.

Les tableaux suivants sont donc des tableaux de comparaison des différents secteurs. Ils représentent l'ensemble des valeurs comparatives; chaque secteur étudié étant pris successivement comme référence. Cette comparaison peut se faire par polluant ou par pollution. Il en résulte 8 tableaux:

Tableau 82:	Comparaison sectorielle par polluant. Secteur de référence: le traitement des déchets.....p	160
Tableau 83:	Comparaison sectorielle par pollution. Secteur de référence: le traitement des déchets.....p	161
Tableau 84:	Comparaison sectorielle par polluant. Sous-secteur de référence: le traitement des déchets ménagers.....p	162
Tableau 85:	Comparaison sectorielle par pollution. Sous-secteur de référence: le traitement des déchets ménagers.....p	163
Tableau 86:	Comparaison sectorielle par polluant. Secteur de référence: le transport.....p	164
Tableau 87:	Comparaison sectorielle par pollution. Secteur de référence: le transport.....p	165
Tableau 88:	Comparaison sectorielle par polluant. Secteur de référence: le secteur résidentiel-tertiaire.....p	166
Tableau 89:	Comparaison sectorielle par pollution. Secteur de référence: le secteur résidentiel-tertiaire.....p	167

Symboles utilisés dans les tableaux:

"-" signifie que l'émission du polluant considéré par le secteur pris en compte n'est pas connue; ou bien que la contribution du secteur considéré à la pollution prise en compte n'est pas évaluée. Il est donc impossible de comparer ce secteur au secteur référence.

"0" signifie que l'émission du polluant considéré par le secteur pris en compte est négligable.

"1" est utilisé pour le secteur référence. Lorsqu'on attribue cette valeur à un secteur non référence, cela signifie que les données de ce secteur sont les mêmes que celles du secteur référence. Par exemple, pour les émissions de poussières, le secteur référence "traitement des déchets" et le secteur "traitement des déchets ménagers" ont tous deux la valeur 1. Cela signifie que seules les émissions de poussières du secteur "traitement des déchets ménagers" ont été quantifiées.

"1,0" Vu les conventions choisies précédemment, "1,0" correspond à une valeur comparative x telle que $0,95 < x < 1,05$.

4.1 UTILISATION DES ÉQUIVALENTS-HABITANTS/DÉCHETS

Ce tableau permet de comparer la contribution des différents secteurs aux émissions annuelles nationales de polluants. Le secteur de référence est le secteur traitement des déchets considéré dans son ensemble dans la limite des données disponibles. Un exemple de calcul de ces valeurs est donné page 158.

*Tableau 82: Comparaison sectorielle par polluant.
Secteur de référence: le traitement des déchets*

	Traitement des déchets	Traitement des déchets ménagers	Transport	Résidentiel- Tertiaire
POLLUANTS ATMOSPHERIQUES CLASSIQUES				
SO ₂	1	0,74	7,9	8,8
NO _x	1	0,83	45	4,0
COVNM	1	0,25	58	19
CH ₄	1	0,96	3,1 10 ⁻²	0,20
CO	1	2,5 10 ⁻²	30	9,5
CO ₂	1	0,68	7,7	9,0
N ₂ O	1	0	3,7	3,5
Poussières	1	1	11	1,5
NH ₃	1	0	0,27	-
MÉTAUX DANS L'ATMOSPHÈRE				
Zn	1	0,55	-	0,68
Cd	1	1	-	-
Pb	1	0,72	97	0,57
Hg	1	0,47	-	-
Ni	1	0,12	-	160
Cu	1	1	-	19
Cr	1	0,41	-	13
POLLUANTS ATMOSPHERIQUES PARTICULIERS				
HF	1	1	-	-
CFC	1	1	5,9 10 ⁻²	0,80
HCl	1	1	-	-
Dioxines et Furannes	1	0,95	1,3 10 ⁻²	-
PARAMÈTRES DE POLLUTION DE L'EAU				
MES	1	-	-	3000
MA	1	-	-	1400
MI	1	-	-	16
Sels	1	-	-	-
Métaux	1	-	-	18
MO	1	-	-	190

Exemple d'utilisation: le transport émet environ 30 fois plus de CO que le traitement des déchets. Nous dirons donc que le transport correspond à environ 30 équivalents-habitants/déchets/CO.

Ce tableau permet de comparer, au niveau national, la contribution annuelle des différents secteurs aux pollutions. Le secteur de référence est le secteur traitement des déchets considéré dans son ensemble dans la limite des données disponibles. Un exemple de calcul de ces valeurs est donné page 158.

Tableau 83: Comparaison sectorielle par pollution.
Secteur de référence: le traitement des déchets

	Traitement des déchets	Traitement des déchets ménagers	Transport	Résidentiel-Tertiaire
POLLUTIONS PLANÉTAIRES				
Effet de serre anthropogénique	1	0,55	1	1,6
Appauvrissement de la couche d'ozone	1	1	-	0,75
POLLUTIONS RÉGIONALES				
Pollution photochimique	1	0,67	42	9,2
Pollution acide	1	0,67	14	3,5
POLLUTIONS LOCALES				
Pollution toxique de l'air	1	0,73	28	6,3
Pollution toxique de l'eau	1	-	-	17

Exemple d'utilisation: le secteur résidentiel-tertiaire participe environ 3 fois plus à la pollution acide que le secteur traitement des déchets. On peut donc dire que le secteur résidentiel- tertiaire correspond à environ 3 équivalents-habitants/déchets/pollution acide en France.

4.2 UTILISATION DES ÉQUIVALENTS-HABITANTS/DÉCHETS MÉNAGERS

Ce tableau permet de comparer la contribution des différents secteurs aux émissions annuelles nationales de polluants. Le secteur de référence est le secteur traitement des déchets ménagers considéré dans son ensemble dans la limite des données disponibles. Par déchets ménagers, on entend les ordures ménagères et assimilées ainsi que les encombrants. Un exemple de calcul de ces valeurs est donné page 158.

*Tableau 84: Comparaison sectorielle par polluant.
Secteur de référence: le traitement des déchets ménagers*

	Traitement des déchets ménagers	Traitement des déchets	Transport	Résidentiel-Tertiaire
POLLUANTS ATMOSPHÉRIQUES CLASSIQUES				
SO₂	1	1,4	11	12
NO_x	1	1,2	55	4,9
COVNM	1	4,0	230	78
CH₄	1	1,0	3,2 10 ⁻²	0,21
CO	1	41	1 200	390
CO₂	1	1,5	11	13
Poussières	1	1	11	1,5
MÉTAUX DANS L'ATMOSPHÈRE				
Zn	1	1,8	-	1,2
Cd	1	1	-	-
Pb	1	1,4	140	0,79
Hg	1	2,1	-	-
Ni	1	8,0	-	1 300
Cu	1	1	-	19
Cr	1	2,4	-	32
POLLUANTS ATMOSPHÉRIQUES PARTICULIERS				
HF	1	1	-	-
CFC	1	1	5,9 10 ⁻²	0,80
HCl	1	1	-	-
Dioxines et Furannes	1	1,0	1,4 10 ⁻²	-

Exemple d'utilisation: le secteur résidentiel-tertiaire émet environ 13 fois plus de CO₂ que le traitement des déchets ménagers. Nous dirons donc que le résidentiel-tertiaire correspond à environ 13 équivalents-habitants/déchets ménagers/CO₂.

Ce tableau permet de comparer, au niveau national, la contribution annuelle des différents secteurs aux pollutions. Le secteur de référence est le secteur traitement des déchets ménagers considéré dans son ensemble dans la limite des données disponibles. Par déchets ménagers, on entend les ordures ménagères et assimilées ainsi que les encombrants. Un exemple de calcul de ces valeurs est donné page 158.

*Tableau 85: Comparaison sectorielle par pollution.
Secteur de référence: le traitement des déchets ménagers*

	Traitement des déchets ménagers	Traitement des déchets	Transport	Résidentiel-Tertiaire
POLLUTIONS PLANÉTAIRES				
Effet de serre anthropogénique	1	1,8	1,8	3,0
Appauvrissement de la couche d'ozone	1	1	-	0,75
POLLUTIONS RÉGIONALES				
Pollution photochimique	1	1,5	62	14
Pollution acide	1	1,5	21	5,3
POLLUTIONS LOCALES				
Pollution toxique de l'air	1	1,4	39	8,6

Exemple d'utilisation: le transport participe environ 21 fois plus à la pollution acide que le secteur traitement des déchets ménagers, on peut donc dire que le transport correspond à 21 équivalents-habitants/déchets ménagers/pollution acide.

4.3 UTILISATION DES ÉQUIVALENTS-HABITANTS/TRANSPORT

Ce tableau permet de comparer la contribution des différents secteurs aux émissions annuelles nationales de polluants. Le secteur de référence est le secteur transport. On a considéré pour ce secteur les émissions de polluants dues à l'**utilisation** des transports. Un exemple de calcul de ces valeurs est donné page 158.

*Tableau 86: Comparaison sectorielle par polluant.
Secteur de référence: le transport*

	Transport	Traitement des déchets	Traitement des déchets ménagers	Résidentiel-Tertiaire
POLLUANTS ATMOSPHÉRIQUES CLASSIQUES				
SO₂	1	0,13	9,3 10 ⁻²	1,1
NO_x	1	2,2 10 ⁻²	1,8 10 ⁻²	8,9 10 ⁻²
COVNM	1	1,7 10 ⁻²	4,3 10 ⁻³	0,34
CH₄	1	32	31	6,5
CO	1	3,4 10 ⁻²	8,3 10 ⁻⁴	0,32
CO₂	1	0,13	8,9 10 ⁻²	1,2
N₂O	1	0,27	-	0,95
Poussières	1	9,2 10 ⁻²	9,2 10 ⁻²	0,14
NH₃	1	3,7	-	-
MÉTAUX DANS L'ATMOSPHÈRE				
Pb	1	1,0 10 ⁻²	7,4 10 ⁻³	5,8 10 ⁻³
POLLUANTS ATMOSPHÉRIQUES PARTICULIERS				
CFC	1	17	17	13
Dioxines et furannes	1	75	71	-

Exemple d'utilisation: le secteur résidentiel-tertiaire correspond à environ 0,35 équivalent-habitant/transport/COVNM. Il émet donc environ 3 fois moins de COV non méthaniques que le transport.

Ce tableau permet de comparer, au niveau national, la contribution annuelle des différents secteurs aux pollutions. Le secteur de référence est le transport. On a considéré pour ce secteur les émissions de polluants dues à l'**utilisation** des transports. Un exemple de calcul de ces valeurs est donné page 158.

**Tableau 87: Comparaison sectorielle par pollution.
Secteur de référence: le transport**

	Transport	Traitement des déchets	Traitement des déchets ménagers	Résidentiel-Tertiaire
POLLUTIONS PLANÉTAIRES				
Effet de serre anthropogénique	1	1,0	0,55	1,6
POLLUTIONS RÉGIONALES				
Pollution photochimique	1	2,4 10 ⁻²	1,6 10 ⁻²	0,22
Pollution acide	1	7,3 10 ⁻²	4,9 10 ⁻²	0,26
POLLUTIONS LOCALES				
Pollution toxique de l'air	1	3,5 10 ⁻²	2,6 10 ⁻²	0,22

Exemple d'utilisation: le résidentiel-tertiaire participe environ 1,6 fois plus à l'effet de serre anthropogénique que le secteur transport, on peut donc dire que le transport correspond à 1,6 équivalents-habitants/transport/effet de serre.

4.4 UTILISATION DES ÉQUIVALENTS-HABITANTS/RÉSIDENTIEL-TERTIAIRE

Ce tableau permet de comparer la contribution des différents secteurs aux émissions annuelles nationales de polluants. Le secteur de référence est le secteur résidentiel-tertiaire. On a considéré pour ce secteur les rejets de polluants dues à la consommation d'énergie, à l'utilisation de produits particuliers (bombes aérosols, solvants, etc.) ainsi que les rejets d'eaux usées. Un exemple de calcul de ces valeurs est donné page 158.

*Tableau 88: Comparaison sectorielle par polluant.
Secteur de référence: le résidentiel-tertiaire*

	Résidentiel-Tertiaire	Transport	Traitement des déchets	Traitement des déchets ménagers
POLLUANTS ATMOSPHÉRIQUES CLASSIQUES				
SO₂	1	0,9	0,11	8,3 10 ⁻²
NO_x	1	11	0,25	0,21
COVNM	1	3,0	5,1 10 ⁻²	1,3 10 ⁻²
CH₄	1	0,15	5,0	4,8
CO	1	3,1	0,11	2,6 10 ⁻³
CO₂	1	0,85	0,11	7,6 10 ⁻²
N₂O	1	1,1	0,29	-
Poussières	1	7,2	0,67	0,67
MÉTAUX DANS L'ATMOSPHÈRE				
Zn	1	-	1,5	0,81
Pb	1	170	1,8	1,3
Ni	1	-	6,4 10 ⁻³	8,0 10 ⁻⁴
Cu	1	-	5,2 10 ⁻²	5,2 10 ⁻²
Cr	1	-	7,7 10 ⁻²	3,2 10 ⁻²
POLLUANTS ATMOSPHÉRIQUES PARTICULIERS				
CFC	1	7,4 10 ⁻²	1,2	1,2
PARAMÈTRES DE POLLUTION DE L'EAU				
MES	1	-	3,3 10 ⁻⁴	-
MA	1	-	7,2 10 ⁻⁴	-
MI	1	-	5,6 10 ⁻²	-
Halogènes	1	-	-	-
Métaux	1	-	5,6 10 ⁻²	-
MO	1	-	5,3 10 ⁻³	-

Exemple d'utilisation: le secteur "traitement des déchets" émet environ 5 fois plus de méthane que le secteur résidentiel-tertiaire. On peut donc dire que le traitement des déchets équivaut à 5 équivalents-habitants/résidentiel-tertiaire/CH₄.

Ce tableau permet de comparer la contribution des différents secteurs aux émissions annuelles nationales de polluants. Le secteur de référence est le secteur résidentiel-tertiaire. On a considéré pour ce secteur les rejets de polluants dus à la consommation d'énergie (chauffage essentiellement), à l'utilisation de produits particuliers (bombes aérosols, solvants, etc.) ainsi que les rejets d'eaux usées. Un exemple de calcul de ces valeurs est donné page 158.

**Tableau 89: Comparaison sectorielle par pollution.
Secteur de référence: le résidentiel-tertiaire**

	Résidentiel - Tertiaire	Transport	Traitement des déchets	Traitement des déchets ménagers
POLLUTIONS PLANÉTAIRES				
Effet de serre anthropogénique	1	0,61	0,61	0,34
Appauvrissement de la couche d'ozone	1	-	1,3	1,3
POLLUTIONS RÉGIONALES				
Pollution photochimique	1	4,5	0,11	7,3 10 ⁻²
Pollution acide	1	3,9	0,28	0,19
POLLUTIONS LOCALES				
Eutrophisation	1	-	-	-
Pollution toxique de l'air	1	4,5	0,16	0,12
Pollution toxique de l'eau	1	-	6,0 10 ⁻²	-

Exemple d'utilisation: le transport participe environ 4 fois plus à la pollution toxique de l'air que le secteur résidentiel-tertiaire.

CHAPITRE 5: CONCLUSION

Les tableaux de chiffres définis précédemment ne constituent pas directement des outils de communication, toutefois il est facile de les transformer. L'équivalent-habitant permet alors d'exprimer des messages simples et clairs sous forme, par exemple, de phrases clés:

"L'utilisation des transports par un habitant type produit environ 1 200 fois plus de monoxyde de carbonique que l'incinération de ses déchets ménagers."

"Le chauffage d'un habitant émet environ 12 fois plus de dioxyde de soufre que l'incinération de ses déchets ménagers."

Ou bien encore:

"Le transport contribue environ 40 fois plus à la pollution photochimique que le traitement des déchets"

Une représentation graphique stylisée pourrait aussi être utilisée afin de rendre le message plus facilement compréhensible.

Il apparaît assez nettement que la charge polluante du secteur traitement des déchets est faible par rapport à d'autres secteurs. Toutefois, les résultats obtenus sont fortement liés aux hypothèses que nous avons posées ainsi qu'aux données collectées. C'est avant tout le concept de l'équivalent-habitant qui est intéressant.

On peut imaginer d'autres définitions de l'équivalent-habitant. On pourrait considérer d'autres secteurs (l'industrie chimique, l'agriculture, etc.) ou encore segmenter d'avantage le secteur traitement des déchets et aboutir ainsi à la définition d'équivalents-habitants caractéristiques des filières de traitements.

CONCLUSION GÉNÉRALE

L'objectif fixé à notre étude consistait à regrouper toutes les informations quantitatives concernant diverses pollutions liées d'une part au traitement des déchets et d'autre part à d'autres secteurs émetteurs de polluants comme les transports ou le chauffage. Une fois rassemblées, ces informations devaient être présentées de telle sorte qu'elles fassent apparaître la co-responsabilité de chaque habitant.

A ce propos, nous avons fait le choix d'étendre la notion d'équivalent-habitant (déjà utilisée dans le cas de la pollution de l'eau), au traitement des déchets et aux autres sources de pollutions.

Au cours de cette démarche, nous nous sommes heurtés à un certain nombre de difficultés:

- absence de données sur les impacts liés au traitement des déchets industriels "en interne" et à l'impact réel des sites d'enfouissement technique,
- impossibilité de faire, pour certains polluants, un choix judicieux entre des données issues de sources différentes et faisant apparaître un très grande fourchette de valeurs,
- manque de certitudes des experts quant à la contribution exacte de nombreux polluants aux pollutions globales.

En outre, une des lacunes de notre approche provient du fait, qu'en toute rigueur, s'agissant des produits de consommation, de leur utilisation (véhicules automobiles, emballages, etc.) et de leur traitement une fois devenus déchets, il y aurait lieu d'inclure les pollutions associées à leur élaboration. Nous n'avons pu le faire car cela nécessite que soit réalisé l'analyse de leur cycle de vie (ACV), ce qui ne fait pour l'instant l'objet que de rares études non validées sérieusement.

En dépit de ces lacunes, les informations que nous avons élaborées constituent une première approche de la réponse aux questions posées.

C'est ainsi que cette étude doit permettre à chaque habitant de prendre conscience de la faible charge polluante liée au traitement de ses déchets par rapport à la pollution directe qu'il peut lui-même engendrer: utilisation d'un véhicule, chauffage d'une habitation, rejet des eaux usées. Une information du public sur ce point peut, par exemple, dédramatiser la perception des pollutions liées à l'activité du déchet et créer un climat plus serein au niveau de l'acceptation des centres (CET en particulier).

Notons enfin que c'est avant tout le concept de l'équivalent-habitant/déchets qui est intéressant, les chiffres quant à eux sont à confirmer ou infirmer. Les résultats obtenus sont en effet fortement liés aux hypothèses que nous avons posées ainsi qu'aux données collectées.

INDEX DES TABLEAUX

Tableau 1: Sous-systèmes étudiés.....	4
Tableau 2: Utilisation des CFC et de leurs dérivés.....	17
Tableau 3: Émissions annuelles mondiales de métaux.....	25
Tableau 4: Émissions annuelles de métaux en France.....	25
Tableau 5: Valeurs de GWP.....	43
Tableau 6: Émissions annuelles nationales de gaz à effet de serre par secteur (1990).....	44
Tableau 7: Contribution des différents secteurs à l'effet de serre anthropogène.....	44
Tableau 8: Valeur des facteurs ODP.....	45
Tableau 9: Définition des hypothèses du PCOP (NOx).....	46
Tableau 10: Hypothèses générales de PCOP.....	46
Tableau 11: Émissions annuelles françaises pour 1990.....	47
Tableau 12: Contribution des différents secteurs à la pollution photochimique selon les trois hypothèses.....	47
Tableau 13: Valeurs des facteurs AP.....	48
Tableau 14: Émissions annuelles de polluants acidifiants en France.....	48
Tableau 15: Contribution des différents secteurs à la pollution acide.....	48
Tableau 16: Pollution par les phosphates en France pour la période 1985-1990.....	49
Tableau 17: Valeurs des facteurs HCA.....	50
Tableau 18: Emissions annuelles par secteur des polluants toxiques de l'air en France.....	50
Tableau 19: Contribution des différents secteurs à la pollution toxique de l'air.....	51
Tableau 20: Rejet annuels nationaux de Matières Inhibitrices par secteur d'activité.....	52
Tableau 21: Contribution des différents secteurs à la pollution toxique de l'eau.....	52
Tableau 22: Émissions annuelles anthropogéniques françaises de gaz à effet de serre.....	57
Tableau 23: Émissions annuelles françaises de gaz précurseurs à la pollution photochimique par secteur d'activité.....	70
Tableau 24: Effets des retombées acides sur l'environnement.....	74
Tableau 25: Estimations annuelles françaises d'émission de polluants.....	75
Tableau 26: Pollution par les phosphates en France pour la période 1985-1990.....	82
Tableau 27: Effets toxiques des polluants atmosphériques classiques.....	87
Tableau 28: Effets toxiques de certains polluants atmosphériques en trace: les métaux et métalloïdes.....	87
Tableau 29: Effets toxiques de certains polluants atmosphériques en trace: les composés organiques.....	88
Tableau 30: Estimation des émissions annuelles de 11 polluants toxiques en France.....	90
Tableau 31: Ensemble des secteurs répertoriés.....	100
Tableau 32: Traitement et valorisation des déchets engendrés par les véhicules automobiles.....	104
Tableau 33: Polluants atmosphériques classiques émis annuellement par les transports en France.....	105
Tableau 34: Polluants atmosphériques particuliers émis annuellement par les transports en France.....	105
Tableau 35: Energies utilisées pour le chauffage en France en 1992.....	109
Tableau 36: Emissions annuelles de polluants classiques liées à la consommation d'énergie dans le résidentiel-tertiaire en France (1990).....	110
Tableau 37: Emissions annuelles de métaux liées au chauffage en France (1989).....	110
Tableau 38: Estimation des émissions annuelles de polluants hors usage d'énergie en France (1990).....	111
Tableau 39: Besoins en eau d'un habitant en agglomération urbaine.....	111

Tableau 40: Pollution domestique annuelle de l'eau en France	112
Tableau 41: Pollution annuelle de l'eau par le secteur tertiaire	112
Tableau 42: Polluants atmosphériques classiques émis annuellement par le résidentiel-tertiaire en France (1990).	113
Tableau 43: Métaux émis annuellement à l'atmosphère par le résidentiel-tertiaire en France (1989).....	113
Tableau 44: CFC et dérivés émis annuellement par le résidentiel-tertiaire en France.....	114
Tableau 45: Pollution annuelle de l'eau par le résidentiel-tertiaire	114
Tableau 46: Production annuelle de déchets en France (1990)	118
Tableau 47: Répartition des OM en fonction des filières de traitement.....	118
Tableau 48: Répartition des DIB en fonction des filières de traitement.....	119
Tableau 49: Répartition des DIS en fonction des filières de traitement en externe	119
Tableau 50: Polluants atmosphériques classiques émis annuellement par les UIOM en France.....	123
Tableau 51: Métaux émis annuellement dans l'atmosphère par les UIOM en France	124
Tableau 52: Polluants atmosphériques particuliers émis annuellement par les UIOM en France	124
Tableau 53: Participation du stockage à la gestion des déchets ménagers et assimilés.....	125
Tableau 54: Caractérisation des Centres d'Enfouissement Technique.....	125
Tableau 55: Polluants atmosphériques classiques émis annuellement en France par le stockage des déchets ménagers et assimilés.....	127
Tableau 56: Émissions annuelles de CFC liées au stockage des déchets ménagers et assimilés en France.....	127
Tableau 57: Polluants atmosphériques classiques émis annuellement par l'incinération et le stockage des déchets ménagers et assimilés en France	128
Tableau 58: Métaux émis annuellement dans l'atmosphère par l'incinération et le stockage des déchets ménagers et assimilés en France	128
Tableau 59: Polluants atmosphériques particuliers émis annuellement par l'incinération et le stockage des déchets ménagers et assimilés en France.....	129
Tableau 60: Répartition des DIS entre les différentes filières d'incinération	130
Tableau 61: Répartition des DIS par type de traitement physico-chimique.....	132
Tableau 62: Déchets entrants en CET de classe I (1992).....	133
Tableau 63: Polluants atmosphériques classiques émis annuellement par le traitement des DIS en France	134
Tableau 64: Métaux émis à l'atmosphère annuellement par le traitement des DIS en France	134
Tableau 65: Polluants atmosphériques particuliers émis annuellement par le traitement des DIS en France.....	135
Tableau 66: Pollution annuelle de l'eau par le traitement des DIS en France	135
Tableau 67: Polluants atmosphériques classiques émis annuellement par le traitement des déchets en France	136
Tableau 68: Métaux émis annuellement par le traitement des déchets en France	137
Tableau 69: Polluants atmosphériques particuliers émis annuellement par le traitement des déchets en France....	137
Tableau 70: Pollution annuelle de l'eau par le traitement des déchets en France.....	138
Tableau 71: Population française par année.....	145
Tableau 72: L'équivalent-habitant/déchets par polluant.....	148
Tableau 73: L'équivalent-habitant/déchets par pollution.....	149
Tableau 74: L'équivalent-habitant/déchets ménagers par polluant.....	150
Tableau 75: L'équivalent-habitant /déchets ménagers par pollution	151
Tableau 76: L'équivalent-habitant/transport par polluant.....	153
Tableau 77: L'équivalent-habitant/transport par pollution	154
Tableau 78: L'équivalent-habitant/résidentiel-tertiaire par polluant.....	156
Tableau 79: L'équivalent-habitant résidentiel-tertiaire par pollution.....	157
Tableau 80: Exemple de calcul.....	158
Tableau 81: Écriture de la valeur comparative X en fonction de l'intervalle auquel elle appartient.....	158
Tableau 82: Comparaison sectorielle par polluant. Secteur de référence: le traitement des déchets	160
Tableau 83: Comparaison sectorielle par pollution. Secteur de référence: le traitement des déchets.....	161
Tableau 84: Comparaison sectorielle par polluant. Secteur de référence: le traitement des déchets ménagers.....	162
Tableau 85: Comparaison sectorielle par pollution. Secteur de référence: le traitement des déchets ménagers.....	163
Tableau 86: Comparaison sectorielle par polluant. Secteur de référence: le transport	164
Tableau 87: Comparaison sectorielle par pollution. Secteur de référence: le transport.....	165
Tableau 88: Comparaison sectorielle par polluant. Secteur de référence: le résidentiel-tertiaire.....	166
Tableau 89: Comparaison sectorielle par pollution. Secteur de référence: le résidentiel-tertiaire	167

INDEX DES FIGURES

Figure 1: Les trois axes d'approche	9
Figure 2: Schéma de principe de l'effet de serre	54
Figure 3: Comparaison de l'efficacité des gaz à effet de serre.....	56
Figure 4: Contribution de chaque secteur à l'effet de serre anthropogénique au niveau national	58
Figure 5: Principe de la disparition de l'ozone stratosphérique (46).....	60
Figure 6: Répartition des émissions de CFC en France par secteur (37).....	64
Figure 7: Cycle normal (7.a) et cycle perturbé (7.b)	68
Figure 8: Contribution de chaque secteur à la formation d'oxydants photochimiques au niveau national en fonction des hypothèses.....	71
Figure 9: La pollution acide, des émissions aux retombées (13).....	73
Figure 10: Contribution de chaque secteur à la pollution acide au niveau national	76
Figure 11: Les quatre stades de l'eutrophisation.....	80
Figure 12: Contribution de chaque secteur au rejet de phosphates au niveau national.....	83
Figure 13: Pollution de l'air, les impacts sur l'homme.....	85
Figure 14: Contribution de chaque secteur à la pollution toxique de l'air au niveau national.....	91
Figure 15: Contribution de chaque secteur à l'émission de matières inhibitrices au niveau national	98
Figure 16: Participation du secteur transport aux pollutions.....	106
Figure 17: Participation du résidentiel-tertiaire aux pollutions	115
Figure 18: Participation du traitement des déchets aux pollutions	139

BIBLIOGRAPHIE

- (1) **ADEME.** *Faits et Figures. Énergie et Environnement. 1993. Données et références.* Paris: ADEME. 1993. Le Secteur transports en France, p. 74-83.
- (2) **ADEME.** *Débat national énergie & environnement 1994.* Mastère Management de l'Environnement INSA de Lyon.
- (3) **AGENCE DE L'EAU.** *Recherche et quantification des paramètres caractéristiques de l'équivalent-habitant. Étude bibliographique.* Étude inter-agences n°23. 1993. 41p.
- (4) **ALLARY A et al.** *La prévention de la pollution atmosphérique produite par l'incinération des ordures ménagères;* TSM, 1989, n° 9; p. 491-497.
- (5) **AUDOUX, CHANG, FONTELLE.** *Inventaire des émissions de polluants. CORINAIR FRANCE 1990.* Édition 06/94, CITEPA, 1994, 96 p.
- (6) **AYROLES P.** *Metaleurop démontre que la batterie est un produit propre.* L'argus de l'automobile, 22 Avril 1993, p. 12.
- (7) **BARROIN G.** *La réhabilitation des plans d'eau.* La recherche, 1991, Vol.22, N°238, p.1412-1422.
- (8) **BLOQUEL M.** *Bilan de la contribution à l'effet de serre des activités de consommation des habitants d'une ville.* Rapport de DEA. INSA de Lyon. 10 Septembre 1993. 76p.
- (9) **BOUCHEREAU J.M.** *Estimation des émissions atmosphériques de métaux lourds en France pour le chrome, le cuivre, le nickel, le plomb et le zinc.* CITEPA, 1992, 81 p.
- (10) **BOUSCAREN R.,** *Pourquoi réduire les émissions de Composés Organiques Volatils (COV) ?.* Pollution atmosphérique, 1989, n° Juillet-Septembre, p. 269-272.
- (11) **BOUSCAREN P.** *Inventaire des émissions de dioxines et furannes en France (Tentative d'estimation).* CITEPA. 1992. 43 p.
- (12) **CECAD. Collectif pour l'Étude du Cadmium.** *Le Cadmium en "question".* 1992, p. 49-52
- (13) **CECCALDI J.-L.** *Les pluies acides en question.* Trib. Cébeneau, 1986, n°511-512, p.27-42.
- (14) **CITEPA.** *Étude documentaire.* Resp. publication: CITEPA. N°110, 1993.
- (15) **Code Permanent Environnement et Nuisances;** Arrêté du 25 Janvier 1991 relatif aux installations d'incinération de résidus urbains; Feuillet 80 (15 février 1991); p. 1868-1872.
- (16) **DE REYDELLET A.** *Les émissions de cadmium dans l'atmosphère en France.* CITEPA. 1986. 110p.

- (17) **DE REYDELLET A.** *Les émissions de mercure dans l'atmosphère en France.* CITEPA. 1988.
- (18) **DE REYDELLET A.** *La déchloration des fumées d'incinérateurs d'ordures ménagères.* IFE Energirama. Paris: 1988, 266p.
- (19) **DE ZUBIAURRE L.** *La résistible avancée du scénario catastrophe;* Courrier International, 1995, N°230.
- (20) **DUPRILLOT V.,HERZ O.,OLIER J.P.** Le programme de lutte contre les émissions d'hydrocarbures dans l'atmosphère. *Pollution atmosphérique*, 1989,p.284-288.
- (21) **ELICHEGARAY C.& OLIER J.-Ph.** *Le transport et la diffusion atmosphérique des polluants.* T.S.M., 1989, n°6, p.355-361.
- (22) **MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT.**
La pollution industrielle des eaux - Bilan au 1er janvier 1992. 1993. 156 p.
- (23) **FRITSCH P. & DE SAINT BLANQUAT G.**
La pollution par les nitrates. La recherche. 1985, Vol. 16, N°160, p. 1106-1115.
- (24) **Groupe Technique de Coordination Inter-Agences sur les déchets Industriels.** *Bilan de l'élimination des déchets industriels spéciaux en centres collectifs.* Base 1992. 1994, 137 p.
- (25) **HEIJUNGS R.** (Ed.). *Environmental life cycle assesment of products - Guide - Octobre 1992.* Leiden MultyCopy, 1992, 96 p.
- (26) **HEINRICH D. & HERGT M.,** *Atlas de l'écologie,* Torino, Livre de poche, 1993. 284 p.
- (27) **INTERGOUVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC).** *Climate change 1992, the supplementary report to the IPCC Scientific Assessment.* HOUGHTON, J.T., B.A. and VARNEY S.K. (Eds) Cambridge (UK) : Cambridge University Press, 1992, 196p.
- (28) **LAIGRE J.F.** (Resp.réalisation). *Cartographie de la pollution industrielle. Principaux rejets en 1993..* Ministère de l'environnement, 1994, 237 p.
- (29) **LEYGONIE R.** *Les métaux lourds dans l'air: sources, émissions, mesure, effets.* Pollution atmosphérique, 1993, n° 139, p. 63-74.
- (30) **LINDEN H.** *Climate change and natural gas: a realistic assesment.* Energy world, 1995, n°230, p. 17-18.
- (31) **LONDON C. & NAVARRO A.** *Lamy Environnement: Les Déchets.* Paris : Lamy S.A, 1994.
- (32) **LORENT S.** *Étude des filières de gestion des déchets de l'automobile en cours de vie et en fin de vie pour la région Bretagne.* Rapport de DESS Qualité des services énergétiques. ADEME, Septembre 1994, 87p.
- (33) **MAYSTRE L.Y. et al.** *Déchets urbains. Nature et caractérisation.* Presses polytechniques et universitaires romandes. 1994.208 p.

- (34) **MÉGIE G.** *L'évolution de la couche d'ozone stratosphérique.* Réalité industrielle, 1990, novembre, p.54-57.
- (35) **MÉGIE G.** *Stratosphère et couche d'ozone.* Ed. Masson.Paris, 1992. 119 p.
- (36) **MEYBECK M.** *La pollution des fleuves.* La recherche, 1990, Vol. 21, N°221, p.608-617.
- (37) **MOREL B.** (Dir. Publication & Dir. IFEN) *L'environnement en France. Rapport sur l'état de l'environnement en France.* Édition 1994-95. DUNOD. 1994, 395p.
- (38) **NADEAU I.** *Des fleuves trop bien nourris.* La recherche, 1994, Vol. 25, N°269, p.1056-1057.
- (39) **PETIT M.(Dir.).** *État de l'environnement, édition 1991-1992.* Ministère de l'environnement, 1991, 308p.
- (40) **RAGUET M.** *Traitement des déchets industriels ,rejets dans le bassin Seine-Normandie.* Pollutec 1994, 6p.
- (41) **RAMADE F.** *Éléments d'écologie: écologie appliquée.* IVème édition. Paris : Mc Graw-Hill, 1989. 578 p.
- (42) **ROSS P (Pr.).***L'état de l'environnement. Éditions de l'OCDE.* Paris: 1991, 319p.
- (43) **ROUSSEAUX P.** *Évaluation comparative de l'impact environnemental global (ecieg) du cycle de vie des produits.* Thèse Doct.: Institut National des Sciences Appliquées de Lyon. Univ. Lyon I, 1993, 276p.
- (44) **SALENÇON M.J.** *Modélisation de l'eutrophisation des lacs et retenues.* Bulletin de la direction des études et recherches EDF. Série A. Nucléaire, hydraulique, Thermique ,1988, N°2, p.5-19.
- (45) **SCHALCHLI L.** *Zones d'ombre sur l'effet de serre: l'influence de la pollution d'origine humaine est difficile à quantifier.* Libération, 1995, N°4317, p.3.
- (46) **SCHALCHLI L.** *On a chassé le vortex.* Libération, 1995, n°4322.
- (47) **VERGÉ F.** *Pollution, les dangers de la ville.* Science et vie, 1994, n°918, p.37-47.
- (48) **VINÇONNEAU J.C.** *Lutte contre l'eutrophisation en France;* Bulletin du Conseil général du GREF, 1992, N°33, p. 43-53.
- (49) **LAURENT J.L.(Dir. Publication),** *L'assainissement des agglomérations: techniques d'épuration actuelles et évolutions.* Étude Inter-Agences N°27. Agences de l'eau et Ministère de l'Environnement, 1994, 176 p.
- (50) **LAMBERT S. (Dir. rédaction)** *Manuel environnement à l'usage des industriels.* AFNOR, Paris, 1994, 397 p.
- (51) **LE PETIT LAROUSSE 1996**
- (52) **AFNOR,** *Dictionnaire de l'environnement, Les termes normalisés,* AFNOR, 1994, 307 p.

ANNEXES

ANNEXE 1: Exemple de calcul de la contribution d'un secteur à une pollution.....	p 177
ANNEXE 2: L'incinération des OM et assimilées.....	p 179
ANNEXE 3: Le stockage des déchets ménagers.....	p 182
ANNEXE 4: Le traitement des DIS.....	p 184

ANNEXE 1: Exemple de calcul de la contribution d'un secteur à une pollution

⇒ De manière générale, le calcul de la contribution d'un secteur particulier à une pollution particulière se fait de la façon suivante:

On considère le secteur i , une pollution particulière p et un ensemble de polluants j participant à cette pollution.

C_{ip} est la contribution du secteur i à la pollution p .

M_{ij} est la masse annuelle de polluant j émise en France par le secteur i .

k_{jp} est le coefficient de pondération du polluant j . Il traduit le pouvoir de contribution de ce polluant à la pollution p . On a alors:

$$C_{ip}(\text{en}\%) = \frac{C_{ip}}{\sum_i C_{ip}} \times 100 = \frac{\sum_j (M_{ij} \times k_{jp})}{\sum_{ij} (M_{ij} \times k_{jp})} \times 100$$

$C_{ip}(\%)$, exprime la contribution du secteur i à la pollution p au niveau national.

⇒ Par exemple, on cherche à estimer la contribution du secteur "traitement des déchets" à l'effet de serre anthropogénique.

Les émissions anthropogéniques pour chaque secteur et par polluant sont données dans le tableau 1, ci-dessous. Les GWP (coefficient de pondération k_{jp} de cette pollution) associés à chaque polluant sont donnés dans le tableau 2, page suivante.

Tableau 1: Émissions annuelles nationales de gaz à effet de serre par secteur (1990)

SECTEUR i	M_{ij} , masse annuelle de polluant j émise en France par le secteur i (tonnes/an)			
	CO ₂	CH ₄	CFC	N ₂ O
Production d'énergie	58 700 000	317 300	-	1 700
Industrie	74 300 000	5 900	32 000	94 900
Résidentiel & Tertiaire	118 100 000	150 300	7 500	4 000
Traitement des déchets	13 200 000	739 500	10 000	1 300
Agriculture	7 400 000	1 611 200	-	60 800
Transport	101 300 000	22 900	373	4 200
$\sum_i M_{ij}$ (tonnes/an)	372 900 000	2 847 100	50 373	166 900

Sources: (5) (37)

Tableau 2 : Valeurs de GWP

Polluant <i>j</i>	k_{jp} , coefficient de pondération du polluant <i>j</i>
CO ₂	1
CH ₄	35
N ₂ O	260
CFC ¹⁷	6700

source: (27)

On multiplie alors chacune des émissions de polluants dues au secteur "traitement des déchets" par le coefficient de pondération du polluant considéré. On effectue la somme de l'ensemble de ces données. Puis, la même opération est répétée avec les émissions totales nationales. Ainsi:

	Traitement des déchets	Total des secteurs
	$C_{ip} = \sum_j (M_{ij} \times k_{jp})$	$\sum_i C_{ip} = \sum_{ij} (M_{ij} \times k_{jp})$
CO ₂	13 200 000 × 1	372 900 000 × 1
CH ₄	+ 739 500 × 35	+ 2 847 100 × 35
CFC	+ 10 000 × 6 700	+ 50 375 × 6 700
N ₂ O	+ 1 300 × 260	+ 166 900 × 260
	<hr/> = 106 420 500	<hr/> = 850 193 945

Un simple calcul de pourcentage nous donne alors la contribution du secteur "traitement des déchets" à l'effet de serre anthropogénique en France, soit:

$$(106\,420\,500 \times 100) / 850\,193\,945 = 12,5\%$$

¹⁷Le GWP des CFC utilisé est la moyenne des GWP des CFC11, 12, 13 et de HCFC 22.

ANNEXE 2: L'incinération des OM et assimilées

Nous avons choisi ici de présenter toutes les sources de données utilisées au cours de cette étude. Lorsque plusieurs valeurs d'émission sont disponibles pour un même polluant, il a fallu faire un choix quant à la valeur d'émission finale associée à ce polluant. Ces choix sont abordés à la fin de l'annexe.

1. Sources de données

Quatre sources distinctes de données ont été utilisées:

1. Les facteurs d'émissions trouvés dans les travaux scientifiques;
2. Les normes de rejet fixées par la législation française;
3. Les données brutes d'émission fournies par l'étude CORINAIR du CITEPA;
4. Les données d'autosurveillance des UIOM.

1.1. Facteurs d'émission

POLLUANTS	Facteurs d'émission (g/tonne incinérée)	Estimation des émissions nationales (kg/an)	Sources des facteurs
Cr	0,05	490	(9)
Cu	0,17	1 670	(9)
Ni	0,01	98	(9)
Pb	0,31	3 040	(9)
Zn	0,64	6 270	(9)
Cd	0,3 à 0,7	2 940 à 6 860	(16)
Hg	0,1 à 1	980 à 9 800	(17)
dioxines et furannes	24 à 160 µg I-TEQ	1,17 kg I-TEQ	(11)

Ces facteurs d'émissions ont généralement été calculés à partir de résultats d'analyses effectuées sur plusieurs sites français ou étrangers. Ces facteurs ont ensuite été appliqués à la quantité de déchets traitée en UIOM en 1990 soit environ 9,8 Mt (7,8 Mt d'OM et 2 Mt de DIB).

1.2. Normes de rejets

POLLUANTS	Normes de rejets en mg/Nm ³	Estimation des émissions nationales en tonnes/an
CO	100	5 880
Poussières	30 à 200	1 764 à 11 760
HCl	50 à 250	2 940 à 14 700
HF	2 à 4	117,5 à 235
SO ₂	300	17 640

Source: (15)

On considère que l'incinération d'une tonne d'OM correspond à l'émission de 6 000 Nm³ de gaz de combustion à 7% de CO₂. Cette hypothèse est largement employée dans les publications (4). On a ainsi accès aux facteurs d'émission associés à chaque polluant en masse par tonne d'OM incinérées. Comme précédemment, ces facteurs ont ensuite été appliqués à la quantité de déchets traités par incinération.

On remarque que, d'une part, les calculs ont été effectués en considérant que toutes les installations d'incinérations françaises sont soumises à ces normes (ce qui n'est pas le cas pour les installations les plus anciennes). D'autre part, il n'est pas certain que les installations classées sont bien en conformité avec ces normes. De ce fait, une approche au cas par cas serait nécessaire pour avoir une bonne appréciation des rejets.

1.3. Base de données CORINAIR du CITEPA

Cette base donne une estimation nationale des rejets atmosphériques du secteur Incinération des déchets ménagers. Les émissions de N₂O et de NH₃ sont négligeables.

POLLUANTS	SO ₂	NO _x	COVNM	CH ₄	CO	CO ₂
Émissions nationales (tonnes/an)	14 312	19 512	329	6 301	5 643	5 991 000

Source: (5)

1.4. Données d'autosurveillance

Une étude du Ministère de l'Environnement (28) nous permet également d'avoir des valeurs d'émission pour quatre métaux et pour le chlore. Ce sont, cette fois-ci, des données d'autosurveillance fournies par les UIOM pour l'année 1993.

POLLUANTS	Émissions atmosphériques en tonnes/an
Pb	27,7
Zn	18,7
Cd	2,9
Hg	2,9
Cl	26 420

Source: (28)

Ces données ont été collectées pour des seuils en flux fixés pour chaque polluant. Ainsi, les UIOM dont les flux étaient inférieurs aux seuils n'ont pas été prises en compte. Ces données ne sont donc pas représentatives des émissions de l'ensemble des UIOM en France mais permettent de comparer les estimations faites à partir des facteurs d'émission (pour Cd, Pb, Zn et Hg) ou des normes de rejets (pour Cl). Ainsi, pour le cadmium et le mercure, les ordres de grandeur sont semblables. Quant aux émissions de plomb et de zinc, elles sont largement sous estimées avec l'utilisation des facteurs d'émission. En effet, les valeurs d'auto-surveillance, bien que non représentatives de l'ensemble des UIOM en France, sont bien supérieures (×4 pour Zn, ×13 pour Hg). Il en est de même pour le chlore dont la valeur d'auto-surveillance est deux fois plus importante que la plus grande des valeurs obtenues à partir des normes de rejets.

2. Choix des valeurs d'émissions

Lorsque plusieurs valeurs sont disponibles, un choix est à faire.

⇒ Pour les émissions de SO₂ et CO, les données du CITEPA et les calculs à partir des normes de rejet concordent bien. Nous avons choisi d'utiliser les données du CITEPA calculées de façon plus approfondie.

⇒ Pour le zinc et le plomb, nous avons choisi de considérer les données d'autosurveillance, "moins fausses" que les autres. Pour les autres métaux, nous avons utilisé les données calculées avec les facteurs d'émission, ou des moyennes lorsque nécessaire.

⇒ Pour l'acide chlorydrique, trois estimations sont disponibles:

- 2 940 à 14 700 tonnes par an d'après les normes de rejet (1990),
- 26 420 tonnes par an (1993) pour les UIOM dont le flux de chlore était supérieur ou égal à 700 kg/j. (28).
- 35 000 tonnes pour 1990 estimé en 1988 par (18).

La fourchette de valeurs obtenue est très importante. On remarque tout de même que malgré la non exhaustivité de la source (28), sa valeur: 26 420 tonnes par an est bien supérieure aux valeurs obtenues par calcul à partir des normes de rejets. On choisit donc ici de conserver l'estimation de 35 000 tonnes par an (18) qui semble être la plus proche de la réalité.

ANNEXE 3: Le stockage des déchets ménagers

Plusieurs sources de données ont été utilisées:

- les données d'estimation d'émission fournies par l'étude CORINAIR du CITEPA,
- les facteurs d'émission trouvés dans les travaux scientifiques,
- les estimations en matière de CFC.

• *Étude CORINAIR du CITEPA*

POLLUANTS	COVNM	CH ₄	CO ₂
Emissions nationales (tonnes/an)	4 751	699 100	2 976
% du total anthropique en France	0,2	24,5	0,8

Source: (5)

D'après les estimations faites par cette étude, les émissions de: SO₂, NO_x, CO, N₂O, NH₃ sont négligeables pour ce mode de gestion des déchets.

Ces estimations prennent en compte:

- les centres de stockage compactés,
- les centres de stockage avec récupération de biogaz,
- les centres de stockage compactés avec récupération de biogaz,
- les "autres décharges".

• *Facteurs d'émission*

Les facteurs d'émission retenus dans les travaux scientifiques concernent le CH₄. Ce gaz étant émis pendant plusieurs années après le stockage, il a été choisi un facteur faisant un compromis entre la quantité totale de CH₄ relarguée par une tonne d'OM et la durée du relargage (8); ceci permettant de se rapprocher du taux annuel d'émission.

L'estimation qui suit est faite en considérant uniquement le tonnage d'OM car il n'est pas possible d'appliquer les facteurs d'émission donnés ci-dessus aux DIB. En effet, la part de déchets fermentescibles dans les DIB est beaucoup plus faible que dans les OM.

Les résultats, après utilisation des facteurs d'émission, sont donnés dans le tableau suivant:

Types de centres destockage	Facteurs d'émission de CH ₄ correspondant	Estimations des émissions annuelles de CH ₄ (tonnes/an)
Centres de stockage sans récupération de biogaz (78%)	0,09	720 000
Centres de stockage avec récupération de biogaz (22%)	0,067	150 000
TOTAL		870 000

La valeur de CH₄ ainsi obtenue est du même ordre de grandeur que celle proposée dans l'étude CORINAIR du CITEPA. Nous avons choisi d'utiliser pour nos calculs les données du CITEPA calculées de façon plus approfondie.

• *Estimations en matière de CFC*

Les estimations d'émission de CFC en France, disponibles actuellement, sont peu nombreuses et à utiliser avec beaucoup de précaution.

⇒ Estimation de l'Association Française du Froid concernant les émissions de CFC par les encombrants mis en centre de stockage (1993):

2 500 tonnes de CFC/an
pour une émission globale en France estimée à 5 000 tonnes par an (hors industrie).

Source: (8)

Sont pris en compte dans cette évaluation, les CFC émis par les unités frigorifiques (mousses et charge CFC) et les aérosols pharmaceutiques mis en décharge.

⇒ Estimation de l'Agence pour la Qualité de l'Air (1993):

10 000 tonnes de CFC/an émis par les décharges,
pour une émission globale en France estimée à 50 000 tonnes par an.

Source: (37)

Ces chiffres nous montre bien la contradiction qu'il existe entre les divers estimations d'émission de CFC en France. Plutôt que de choisir une des estimations, nous préférons présenter dans le document, la fourchette des données recueillies et ainsi en déduire une moyenne. La prudence est recommandée quant à l'emploi de ces données.

ANNEXE 4: Le traitement des DIS

De façon générale, la composition des déchets industriels spéciaux est souvent fort variable, ce qui conduit à des fluctuations importantes dans les émissions atmosphériques ou les rejets aqueux de polluants. Il est donc difficile de quantifier ces rejets au niveau national. En particulier, l'utilisation de facteurs d'émission est délicate, les données suivantes sont donc à considérer avec prudence.

1. Rejets atmosphériques

Nous ne donnons ici que les données de rejets issus de l'incinération, qui semblent être prépondérants par rapport aux émissions des autres filières de traitement des DIS.

Deux sources de données sont utilisées:

- la base CORINAIR du CITEPA,
- les facteurs d'émission.

1.1 Base de données CORINAIR du CITEPA

POLLUANTS	SO ₂	NO _x	COVNM	CH ₄	CO	CO ₂
Emissions nationales en tonnes/an	4 854	943	31	64	3 372	225 000
% émissions nationales anthropiques	0,4	0,06	0,001	0,002	0,03	0,06

Source: (5)

Ces estimations, données par la base de données CORINAIR du CITEPA, concernent les filières d'incinération de DIS mais également l'incinération des boues d'épuration des eaux et l'incinération par torchère en raffinerie. Les émissions de NH₃ sont négligeables. On note que la participation de ce secteur aux émissions nationales anthropiques est dérisoire.

1.2 Facteurs d'émission

POLLUANTS	Facteurs d'émission (g/tonne incinérée)	Estimations des émissions nationales	Sources des facteurs
Cr	0,44	0,75 tonnes/an	(9)
Ni	0,47	0,779 tonnes/an	(9)
Pb	6,44	10,95 tonnes/an	(9)
Zn	8,85	15 tonnes/an	(9)
Cd	0,00017 à 0,00068	0,28 à 1,16 kg/an	(16)
Hg	3,50	5,95 tonnes/an	(17)
Dioxines et furannes	30 µg I-TEQ/t	51 g I-TEQ/an	(11)

Sources: (9) (11) (16) (17)

Les estimations sont à utiliser avec beaucoup de précaution. D'une part, les facteurs d'émission n'ont généralement été calculés qu'à partir de peu de résultats d'analyse (résultats d'ailleurs plutôt anciens: 10 ans voire plus) et sont donc peu représentatifs et peu fiables. D'autre part, l'estimation du tonnage de DIS concerné par cette filière est délicate. En effet, nous avons estimé la quantité de DIS traités par voie thermique (hors cimenterie) en 1990 à environ 1,7 Mt (0,7 Mt en externe et 1 Mt en interne).

On a trouvé deux fourchettes de facteurs d'émission pour le cadmium dans une même étude (16). Nous avons donc choisi la fourchette qui nous semblait la plus justifiée.

2. Rejets aqueux

Nous avons eu accès à deux sources distinctes:

- les études du Ministère de l'Environnement concernant la pollution industrielle des eaux (1992)
- les données recueillies auprès des Agences de l'Eau concernant les centres collectifs rattachés à leur bassin (1993-95).

2.1 Données du Ministère de l'Environnement

Le tableau suivant est une estimation de la pollution nette¹⁸ rejetée par le secteur traitement des déchets industriels:

MES (tonnes/an)	MO (tonnes/an)	Sels (mho/cm.m ³)	Toxiques (10 ⁶ équitox/an)	Azote (tonnes/an)	Phosphore (kg/an)
96	250	3,20	0,4	0,4	0

Tableau 1

Source: (22)

Ces chiffres sont calculés sur la base des redevances payées par chaque industrie aux Agences de l'Eau.

Limites à ces données:

- pour 90% des industries, soit 50% des flux, l'évaluation de la redevance est forfaitaire et non mesurée.
- l'exploitation des données par le Ministère a été effectuée en utilisant les informations reçues en l'état. Il n'a pas été fait d'investigation supplémentaire.

2.2 Données recueillies auprès de chaque Agence de l'Eau

Dans les données chiffrées qui suivent, ne sont considérés que les rejets engendrés par les centres collectifs. Les données sur les rejets engendrés par les traitements en interne sont difficilement exploitables du fait de leur lien avec l'activité propre de l'industrie. Il en est de même pour l'incinération en cimenterie.

La plupart des centres collectifs de traitement des déchets ont sur un même site incinérateur et plate-forme de traitement physico-chimique. Les chiffres de rejets aqueux collectés sont donnés par site et il n'est donc pas possible de dissocier les deux filières. En outre, les sites ne faisant que de l'incinération ou que du traitement physico-chimique ne présentent pas de particularités quant à leur émission polluante.

Les données collectées sont partielles: elles concernent 14 centres collectifs soit la moitié du tonnage de DIS traité en externe en France (hors cimenterie). Nous avons fait le choix, pour chaque paramètre significatif, de calculer les valeurs minima et maxima caractérisant la masse polluante émise par tonne de déchets traitée. Ces valeurs ont ensuite été appliquées au tonnage total traité en centre collectif. Ceci nous permet ensuite d'estimer la charge polluante moyenne. Le tableau page suivante donne les valeurs obtenues.

¹⁸Pollution nette: pollution rejetée au milieu naturel (avec ou sans traitement préalable) pour les industries isolées, ou rejetée au réseau d'assainissement public (avec ou sans prétraitement) pour les industries raccordées.

Paramètres	Matières En Suspension (tonnes/an)	Métaux (10 ⁶ Métox/an)	Matières Inhibitrices (10 ⁶ équitox/an)	Matières Azotés (tonnes/an)	Matières Oxydables (tonnes/an)
Maxima	1 257	559	520	369	12 284
Minima	3	2	3	45	427
Moyennes	630	280,5	261	207	6 355

Tableau 2

2.3 Remarques

⇒ Les données proposées par le Ministère de l'Environnement semblent sous-estimées. En effet, bien que les données obtenues auprès des Agence de l'Eau soient partielles, elles sont déjà largement supérieure aux chiffres annoncés par le Ministère.

⇒ Les chiffres du tableau 2 sont obtenus grâce à une extrapolation des données obtenues auprès des Agences de l'Eau. Cette méthode est critiquable. Cependant, les chiffres annoncés n'ont pas la vocation de représenter la charge polluante exacte engendrée par le traitement des DIS. Il s'agit plutôt de donner une première idée, qui pourra être approfondie par la suite.

Dans le rapport, nous utilisons les valeurs moyennes obtenues dans le tableau 2. Nous ne conservons du tableau 1 que la valeur du paramètre "sels" pour lequel nous n'avons pas d'autre source.