

Etude des polluants atmosphériques émis dans deux centres de stockage des ordures ménagères

*Caractérisation et mesure des niveaux d'exposition
Mise au point d'outils de suivi en vue de l'évaluation des risques sanitaires*



**ÉTUDE DES POLLUANTS ATMOSPHERIQUES EMIS DANS DEUX
CENTRES DE STOCKAGE DES ORDURES MENAGERES :
CARACTERISATION ET MESURE DES NIVEAUX D'EXPOSITION
MISE AU POINT D'OUTILS DE SUIVI EN VUE DE
L'EVALUATION DES RISQUES SANITAIRES**

RAPPORT FINAL

septembre 2001

M. HOURS - Réseau Santé Déchets
Ph. BERNY - Ecole Nationale Vétérinaire 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 collégalement 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, Etude des polluants atmosphériques émis dans deux centres de stockage des ordures ménagères : Caractérisation et mesure des niveaux d'exposition ; Mise au point d'outils de suivi en vue de l'évaluation des risques sanitaires, 2001, 372 p, n°99-0654/3A.

- ✓ Ces travaux ont reçu le soutien de l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie)
www.ademe.fr

Equipes de Recherche coordonnées au sein du Réseau Santé – Déchets

Martine HOURS
Lucie ANZIVINO-VIRICEL
Mary-Pierre HERRSCHER

Unité Mixte de Recherche Epidémiologique Transport Travail Environnement
Université Claude Bernard
Institut de Médecine du Travail
8, avenue Rockefeller
69373 LYON Cedex 08

Yves PERRODIN
Bernard SARRAZIN

POLDEN
C.E.I. Insavalor
27, Bd du 11 Novembre
69603 VILLEURBANNE Cedex

Anne MAITRE
Muriel STOKLOV
Sylvie PARAT.
Emmanuelle HUANT-GLOUX

I.U.M.T.E Faculté de Médecine
Laboratoire de Médecine du Travail et de Toxicologie
Université Joseph Fourier
Domaine de la Merci
38700 LA TRONCHE

Philippe BERNY
Mikaëline BILLERET
Gérard KECK

Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon
Unité de Toxicologie et de Métabolismes comparés des Xénobiotiques
B.P. 83
69280 MARCY L'ETOILE

Juliette ASTA

Centre de Biologie Alpine
Université Joseph Fourier
B.P. 53
38041 GRENOBLE Cedex 9

TABLE DES MATIERES

| | |
|---|-----------|
| I. ABREVIATIONS ET ACRONYMES UTILISES | 16 |
| II. GLOSSAIRE..... | 18 |
| III. INTRODUCTION | 21 |
| A. SITUATION DU PROBLEME | 21 |
| B. OBJECTIFS DE L'ETUDE | 25 |
| C. DEMARCHE SUIVIE..... | 25 |
| D. ORGANISATION DE L'ETUDE | 26 |
| E. ORGANISATION DES EQUIPES..... | 27 |
| IV. MATERIEL ET METHODES..... | 29 |
| A. CHOIX ET CARACTERISTIQUES DES SITES | 29 |
| 1. PRESENTATION GENERALE DES ZONES ETUDIEES..... | 33 |
| B. METHODOLOGIE DES ETUDES DE METROLOGIE DES COMPOSES CHIMIQUES ET DES MICROORGANISMES DANS L'AIR..... | 35 |
| 1. MESURES A LA SOURCE : ETAPE 1 | 35 |
| 1.1. Présentation des campagnes de prélèvements | 36 |
| 1.2. Analyse des composés chimiques dans l'air et les sols | 42 |
| 1.3. Microorganismes aéroportés recherchés | 42 |
| 2. MESURES DANS L'AMBIANCE DU SITE ET AUX POSTES DE TRAVAIL : ETAPE 2..... | 44 |
| 2.1. Sélection des paramètres | 44 |
| 2.2. Présentation des postes de travail des CET étudiés..... | 47 |
| 2.3. Choix des postes de travail d'entreprises témoins..... | 49 |
| 2.4. Les campagnes de prélèvement pour les composés chimiques | 50 |
| 2.5. Planning et conditions météorologiques..... | 53 |
| 2.6. Analyse des composés chimiques | 56 |
| 2.7. Analyse des résultats. | 57 |
| 2.8. Les microorganismes aéroportés | 57 |
| 3. MESURES DANS L'ENVIRONNEMENT EN AMONT ET A PROXIMITE DES RIVERAINS EN AVAL DES SITES : ETAPE 3 | 58 |

| | |
|---|------------------|
| 3.1. Stratégie de prélèvements | 59 |
| 3.2. Prélèvements définitifs : | 60 |
| C. SURVEILLANCE BIOLOGIQUE DES SALARIES | 61 |
| 1. PRELEVEMENTS REALISES..... | 61 |
| 2. ANALYSES EFFECTUEES | 61 |
| 3. ANALYSE DES DONNEES | 62 |
| D. ETUDE DES REPERCUSSIONS SUR LA SANTE DE L'HOMME | 63 |
| 1. DEFINITION DES DEUX POPULATIONS ETUDIEES | 63 |
| 1.1. Population exposée : | 63 |
| 1.2. Population non exposée : | 63 |
| 2. DONNEES RECUEILLIES..... | 63 |
| 3. NOMBRE DE SALARIES | 64 |
| 4. ANALYSE DES DONNEES | 64 |
| E. ETUDE DES BIOINDICATEURS VEGETAUX ET ANIMAUX..... | 66 |
| 1. LES LICHENS..... | 66 |
| 1.1. Première étape : étude sur le site 3 : | 66 |
| 1.2. Deuxième étape : mise en place de transplants dans les sites 1 et 2..... | 69 |
| 1.3. Troisième étape : suivi des transplants et durée d'expérimentation | 71 |
| 1.4. Quatrième étape : analyses des transplants | 72 |
| 2. LES BIOINDICATEURS CHEZ L'ANIMAL..... | 73 |
| 2.1. Exposition des animaux | 73 |
| 2.2. Analyses réalisées | 74 |
| 2.3. Etudes statistiques..... | 79 |
| <u>V. RESULTATS.....</u> | <u>80</u> |
| A. METROLOGIE CHIMIQUE AERIENNE SUR SITE ET DANS L'ENVIRONNEMENT DES RIVERAINS ... | 80 |
| 1. ORGANISATION DE LA PRESENTATION DES RESULTATS | 80 |
| 2. PRESENTATION GRAPHIQUE DES RESULTATS OBTENUS POUR QUELQUES POLLUANTS CARACTERISTIQUES..... | 81 |
| 2.1. Choix des polluants représentés | 81 |
| 2.2. Choix du mode de représentation | 82 |
| 2.3. Représentations graphiques | 84 |
| B. METROLOGIE MICROBIOLOGIQUE AERIENNE SUR SITE ET DANS L'ENVIRONNEMENT DES RIVERAINS..... | 94 |
| 1. A L' EMISSION..... | 94 |
| 1.1. Site 1 | 94 |
| 1.2. Site 2..... | 95 |

| | |
|---|-------------------|
| 1.3. Conclusions..... | 96 |
| 2. DANS L'AMBIANCE DES SITES | 99 |
| 2.1. Points Témoins..... | 99 |
| 2.2. Alvéole | 99 |
| 2.3. Réception | 100 |
| 2.4. Lixiviats | 100 |
| 2.5. Biogaz | 101 |
| 3. DANS L'ENVIRONNEMENT EN AMONT ET EN AVAL VERS LES RIVERAINS | 105 |
| 3.1. Site 1 | 105 |
| 3.2. Site 2 | 105 |
| C. L'ETUDE DES SALARIES..... | 109 |
| 1. CARACTERISATIONS DES EXPOSITIONS AUX POSTES DE TRAVAIL | 109 |
| 1.1. Les particules totales..... | 109 |
| 1.2. Les particules alvéolaires..... | 110 |
| 1.3. La répartition granulométrique..... | 110 |
| 1.4. Les métaux..... | 113 |
| 1.5. Les HAP..... | 118 |
| 1.6. Les COV..... | 122 |
| 1.7. Les aldéhydes..... | 127 |
| 1.8. Surveillance biologique des salariés | 131 |
| 2. L'ETUDE SUR LA SANTE DES SALARIES | 134 |
| 2.1. Signes fonctionnels..... | 136 |
| 2.2. Signes cliniques..... | 138 |
| 2.3. Signes paracliniques..... | 139 |
| D. L'ETUDE SUR LES INDICATEURS VEGETAUX ET ANIMAUX..... | 145 |
| 1. LES LICHENS..... | 145 |
| 1.1. Mode d'interprétation des résultats : comparaison avec les témoins | 145 |
| 1.2. Résultats obtenus sur le site 3..... | 147 |
| 1.3. Résultats obtenus dans les sites 1 et 2 | 150 |
| 2. LES RATS EN TANT QUE BIOINDICATEURS..... | 168 |
| 2.1. Etude des constituants du sol | 168 |
| 2.2. Dosages des polluants et paramètres biochimiques | 168 |
| 2.3. Test de génotoxicité..... | 176 |
| 2.4. Analyses histologiques..... | 178 |
| <u>VI. DISCUSSION</u> | <u>180</u> |

| | |
|---|------------|
| A. DISCUSSION DES RESULTATS OBTENUS AU COURS DES CAMPAGNES DE METROLOGIE SUR LE SITE ET DANS L'ENVIRONNEMENT DES RIVERAINS | 180 |
| 1. MESURES DES COMPOSES CHIMIQUES | 180 |
| 1.2. Les particules..... | 182 |
| 1.3. Métaux particuliers..... | 184 |
| 1.4. HAP particuliers..... | 185 |
| 1.5. Synthèse des observations pour les composés chimiques | 185 |
| 2. MESURE DES MICROORGANISMES. | 186 |
| 2.1. A l'émission | 186 |
| 2.2. Dans l'environnement des riverains | 187 |
| 2.3. Synthèse de la métrologie sur les deux sites : similitudes et différences ; comparaison bibliographique..... | 188 |
| B. DISCUSSION DES RESULTATS OBTENUS AU COURS DE L'ETUDE CHEZ LES SALARIES..... | 192 |
| 1. METROLOGIE DES COMPOSES CHIMIQUES | 192 |
| 1.1. Les hydrocarbures aromatiques monocycliques (HAM° | 192 |
| 1.2. Composés organohalogénés | 193 |
| 1.3. Les aldéhydes et alcools..... | 193 |
| 1.4. Les particules..... | 194 |
| 1.5. Les métaux particuliers | 195 |
| 1.6. les HAP particuliers | 197 |
| 1.7. Synthèse des niveaux d'exposition atmosphérique toxicologique pour les salariés. ... | 198 |
| 2. RESULTATS SUR LES INDICATEURS BIOLOGIQUES D'EXPOSITION. | 199 |
| 3. METROLOGIE DES MICROORGANISMES..... | 200 |
| 3.1. Données de référence..... | 200 |
| 3.2. Les microorganismes au niveau des salariés..... | 202 |
| 3.3. Les endotoxines. | 204 |
| 3.4. Synthèse des niveaux d'exposition atmosphérique microbiologique..... | 204 |
| 4. ETUDE DES REPERCUSSIONS SUR LA SANTE..... | 206 |
| 4.1. Troubles respiratoires , muqueux et cutanés..... | 206 |
| 4.2. Troubles digestifs | 208 |
| 4.3. Troubles neurologiques..... | 208 |
| 4.4. Troubles lors de tâches particulières | 209 |
| 5. SYNTHÈSE DE L'ETUDE SUR LA SANTE DES SALARIES | 210 |
| C. DISCUSSION DES RESULTATS OBTENUS LORS DE L'ETUDE DES BIOINDICATEURS VEGETAUX ET CHEZ L'ANIMAL | 211 |
| 1. LES LICHENS..... | 211 |
| 2. LES RATS | 213 |
| D. DISCUSSION SUR LA METHODOLOGIE EMPLOYEE..... | 219 |

| | |
|---|------------|
| 1. METROLOGIE CHIMIQUE..... | 219 |
| 1.1. Les mesures des polluants atmosphériques chimiques | 219 |
| 2. MESURES MICROBIOLOGIQUES | 223 |
| 3. ETUDE DE L'IMPACT SANITAIRE CHEZ L'HOMME | 224 |
| 3.1. Puissance de l'étude..... | 224 |
| 3.2. Choix d'une méthodologie épidémiologique transversale | 224 |
| 3.3. Représentativité des salariés | 225 |
| 3.4. Population témoin | 226 |
| 3.5. Choix des examens réalisés..... | 226 |
| 3.6. Mode de recueil des informations..... | 227 |
| 4. ETUDES DES BIOINDICATEURS VEGETAUX ET ANIMAUX..... | 228 |
| 4.1. Apport du suivi des lichens..... | 228 |
| 4.2. Apport de l'expérimentation animale..... | 230 |
| 4.3. Apport des bioindicateurs en général | 232 |
| <u>VII. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES.....</u> | 235 |
| <u>VIII. VALIDATION DE L'ETUDE SUR D'AUTRES SITES ET PROPOSITION DE SUIVI DES CENTRES DE STOCKAGE DE CLASSE 2.....</u> | 241 |
| A. METHODOLOGIE PROPOSEE POUR UN SUIVI CHIMIQUE ET MICROBIOLOGIQUE DE L'AIR..... | 243 |
| 1. STRATEGIE GENERALE DE PRELEVEMENT | 243 |
| 2. DOSAGE DANS L'AIR AMBIANT DU SITE..... | 243 |
| 2.1. Composés chimiques | 244 |
| 2.2. Microorganismes | 244 |
| 3. SELECTION DES PARAMETRES A DOSER DANS L'ENVIRONNEMENT PROCHE DU SITE | 245 |
| 4. DETERMINATION DES POINTS ET DES PERIODES DE MESURES DANS L'ENVIRONNEMENT PROCHE DU SITE | 245 |
| B. METHODOLOGIE PROPOSEE POUR PARFAIRE L'EXPERTISE DES SITES DE STOCKAGE A L'AIDE DES LICHENS..... | 247 |
| 1. CHOIX DES ESPECES A UTILISER POUR ANALYSES | 247 |
| 2. CHOIX DE LA METHODE A SUIVRE..... | 247 |
| 3. STATIONS TEMOINS..... | 248 |
| 4. DUREE ET PERIODE DE TRANSPLANTATION..... | 248 |
| 5. STATIONS D'IMPLANTATION | 248 |
| 6. CHOIX DES ELEMENTS A ANALYSER..... | 248 |

| | |
|---|-----------------------|
| C. METHODOLOGIE PROPOSEE POUR COMPLETER NOTRE CONNAISSANCE DES IMPACTS | |
| NOTAMMENT RESPIRATOIRES SUR LES RATS DES DECHARGES D'ORDURES MENAGERES | 249 |
| 1. CHOIX DES SOLS A UTILISER POUR LES EXPOSITIONS : | 249 |
| 2. CHOIX DE LA METHODE A SUIVRE : | 249 |
| 3. DUREE DE L'EXPOSITION | 249 |
| 4. CHOIX DES ELEMENTS A ANALYSER: | 250 |
| D. SURVEILLANCE PROPOSEE POUR LES SALARIES | 251 |
| 1. OBJECTIFS | 251 |
| 2. STRATEGIE GENERALE | 251 |
| 2.1. Caractéristiques d'un suivi épidémiologique des salariés | 251 |
| 2.2. La surveillance des expositions et des situations « critiques » | 252 |
| 3. LE SUIVI MEDICAL DES SALARIES | 254 |
| 3.1. La visite médicale d'embauche | 254 |
| 3.2. Le suivi médical systématique | 256 |
| 3.3. Une exploration fonctionnelle respiratoire tous les deux ans | 256 |
| 4. PREVENTION TECHNIQUE PROPOSEE | 257 |
| 4.1. Prévention collective | 257 |
| 4.2. Prévention individuelle. | 257 |
| <u>IX. BIBLIOGRAPHIE</u> | <u>259</u> |
| <u>X. ANNEXES METHODOLOGIQUES</u> | <u>X-272</u> |
| <u>XI. ANNEXES DE RESULTATS</u> | <u>XI-312</u> |
| <u>XII. ANNEXE COMPLEMENTAIRE</u> | <u>XII-370</u> |

TABLE DES TABLEAUX

| | |
|---|-----|
| TABLEAU 1 : LES DEUX SITES D'ETUDE : CARACTERISTIQUES PRINCIPALES | 30 |
| TABLEAU 2 : LES POINTS DE PRELEVEMENTS | 34 |
| TABLEAU 3 : CONDITIONS METEOROLOGIQUES RELEVÉES LORS DES CAMPAGNES DE MESURES A LA SOURCE..... | 36 |
| TABLEAU 4 : INTITULES DES POINTS DE PRELEVEMENTS A LA SOURCE SITE 1 | 37 |
| TABLEAU 5 : LIEUX ET MODES DE PRELEVEMENTS A LA SOURCE SITE 1..... | 37 |
| TABLEAU 6 :CARACTERISTIQUES DES PRELEVEMENTS DE SOLS DU SITE 1 | 38 |
| TABLEAU 7 : INTITULES DES POINTS DE PRELEVEMENTS A LA SOURCE SITE 2 | 39 |
| TABLEAU 8 : LIEUX ET MODES DE PRELEVEMENTS A LA SOURCE SITE 2. | 40 |
| TABLEAU 9 : CARACTERISTIQUES DES ECHANTILLONS DE SOLS POUR LE SITE 2..... | 41 |
| TABLEAU 10 : JUSTIFICATION DE LA SELECTION DES FAMILLES DE POLLUANTS POUR LA CAMPAGNE D'ANALYSES "AMBIANCE ET POSTES DE TRAVAIL " | 45 |
| TABLEAU 11 :CARACTERISTIQUES DES POSTES DE TRAVAIL DES 2 SITES ETUDIES | 49 |
| TABLEAU 12 : CARACTERISTIQUES DES POSTES DE TRAVAIL DES DEUX SITES TEMOINS..... | 50 |
| TABLEAU 13 : PRELEVEMENTS DE COMPOSES CHIMIQUES REALISES AUX POSTES DE TRAVAIL : SALARIES EXPOSES | 51 |
| TABLEAU 14: PRELEVEMENTS D'AMBIANCE COMPLEMENTAIRES | 53 |
| TABLEAU 15 : CONDITIONS METEOROLOGIQUES LORS DES PRELEVEMENTS ATMOSPHERIQUES TOXICOLOGIQUE ET MICROBIOLOGIQUE SUR LE SITE 1..... | 54 |
| TABLEAU 16 : CONDITIONS METEOROLOGIQUES LORS DES PRELEVEMENTS ATMOSPHERIQUES TOXICOLOGIQUE ET MICROBIOLOGIQUE SUR LE SITE 2..... | 54 |
| TABLEAU 17: CONDITIONS METEOROLOGIQUES RELEVÉES LORS DES CAMPAGNES DE MESURES D'AMBIANCE GENERALE COMPLEMENTAIRES | 55 |
| TABLEAU 18: CONDITIONS METEOROLOGIQUES RELEVÉES LORS DES CAMPAGNE DE MESURES D'AMBIANCE TEMOIN SUR LES DEUX SITES..... | 55 |
| TABLEAU 19 : ANALYSES DES METAUX DE 2 LOTS DE LICHENS PRELEVES DANS UNE REGION X (MG/KG/MS)..... | 73 |
| TABLEAU 20 : CARACTERISTIQUES DES SOLS* | 75 |
| TABLEAU 21: COMPARAISON DES RESULTATS DES PRELEVEMENTS ATMOSPHERIQUES DES METAUX DES CONDUCTEURS DE L'ALVEOLE ET DES CONDUCTEURS BTP DU SITE 2. | 114 |
| TABLEAU 22: CARACTERISTIQUES GENERALES DES DEUX GROUPES ETUDIES ERREUR ! SIGNET NON DEFINI. | |
| TABLEAU 23 : REPARTITION DES SALARIES DES CET QUI ONT ACCEPTE DE PARTICIPER A L'ETUDE EN FONCTION DES POSTES DE TRAVAIL..... | 135 |

| | |
|--|-----|
| TABLEAU 24: CALCUL DE L'ODDS RATIO DE PREVALENCE DE DIFFERENTS SYMPTOMES EN FONCTION DU STATUT DES SALARIES SUIVANT UNE PROCEDURE DE REGRESSION LOGISTIQUE. | 137 |
| TABLEAU 25: CARACTERISTIQUES DU BILAN HEPATIQUE DES SALARIES DES DEUX GROUPES | 140 |
| TABLEAU 26 : CARACTERISTIQUES DE LA NUMERATION ET DE LA FORMULE SANGUINE DES SALARIES DES CET ET DU GROUPE TEMOINS..... | 141 |
| TABLEAU 27 : PLOMBEMIE ET PROTOPORPHYRINE-ZINC DES SALARIES DES DIFFERENTS GROUPES PROFESSIONNELS, SUIVANT LES SITES | 142 |
| TABLEAU 28 : RESULTATS DES TESTS PSYCHOMOTEURS DANS LES DEUX GROUPES DE SALARIES | 144 |
| TABLEAU 29 : TENEURS EN ELEMENTS DES TRANSPLANTS (TPLTS TR, I ET S)..... | 147 |
| TABLEAU 30 : - SITE 1 : TENEURS EN ELEMENTS TRANSPLANTS LICHENIQUES MIS EN PLACE DURANT 6 MOIS EN 99 (N T EN %, LE RESTE EN MG/KG)..... | 151 |
| TABLEAU 31 : SITE 1 - TENEURS EN ELEMENTS DES TRANSPLANTS LICHENIQUES MIS EN PLACE DURANT 6 MOIS EN 2000 (MG/KG)..... | 154 |
| TABLEAU 32 : SITE 1 - TENEURS EN METAUX DES TRANSPLANTS LICHENIQUES MIS EN PLACE DURANT UN AN (MG/KG) | 156 |
| TABLEAU 33 - SITE 1 : TENEURS EN METAUX DES LICHENS PRELEVES IN SITU (MG/KG) | 158 |
| TABLEAU 34 : SITE 2 - TENEURS EN METAUX DES TRANSPLANTS LICHENIQUES MIS EN PLACE DURANT 6 MOIS EN 2000 (MG/KG)..... | 160 |
| TABLEAU 35 : SITE 2- TENEURS EN METAUX DES TRANSPLANTS LICHENIQUES MIS EN PLACE DURANT UN AN (MG/KG) | 162 |
| TABLEAU 36- SITE 2 : TENEURS EN METAUX DES LICHENS PRELEVES IN SITU (MG/KG)..... | 164 |
| TABLEAU 37- RAPPORT D'ACCUMULATION ENTRE LES DIFFERENTES SERIES DE LICHENS ANALYSES (TRANSPLANTS LICHENIQUES ET LICHENS IN SITU)..... | 167 |
| TABLEAU 38: CARACTERISTIQUES DES CONSTITUANTS DES SOLS DES DEUX SITES | 168 |
| TABLEAU 39 : CONCENTRATIONS HEPATIQUES ET PULMONAIRES EN POLLUANTS ORGANIQUES (NG/G POIDS FRAIS) CHEZ LES ANIMAUX EXPOSES AUX SOLS DU SITE 1..... | 169 |
| TABLEAU 40: CONCENTRATIONS HEPATIQUES ET PULMONAIRES EN POLLUANTS ORGANIQUES (NG/G POIDS FRAIS) CHEZ LES ANIMAUX EXPOSES AUX SOLS DU SITE 2..... | 171 |
| TABLEAU 41: ACTIVITES ALKYRESORUFINE-O-DESALKYLASES HEPATIQUES ET PULMONAIRES (PMOL/MIN/MG DE PROTEINES) DES ANIMAUX EXPOSES AUX SOLS DES DEUX SITES | 173 |
| TABLEAU 42: CONCENTRATIONS MOYENNES DES POLLUANTS METALLIQUES DANS LES REINS DES ANIMAUX EXPOSES ET DES TEMOINS (MATIERE SECHE) | 175 |
| TABLEAU 43 : POURCENTAGES MOYENS DE NOYAUX LESES DE LYMPHOCYTES DES RATS EXPOSES AU-DESSUS DU SOL S2 (%)..... | 178 |
| TABLEAU 44: LESIONS OBSERVEES SUR LES POUMONS ET LES TRACHEES DES RATS EXPOSES SUR LES SOLS DES DEUX SITES | 178 |

| | |
|--|-----|
| TABLEAU 45 : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE DE QUELQUES RESULTATS OBTENUS DANS D'AUTRES ETUDES (AMBIANCES DES SITES)..... | 191 |
| TABLEAU 46: PROPOSITIONS DE VALEURS GUIDES DE MICROORGANISMES AEROPORTES ET D'ENDOTOXINES DANS DIFFERENTES ETUDES DE LA LITTERATURE..... | 201 |
| TABLEAU 47 : ÉTAPES PRECONISEES POUR LE DOSAGE DES POLLUANTS DANS L'AIR EXTERIEUR DU SITE AUX MOMENTS LES PLUS DEFAVORABLES..... | 246 |

TABLE DES FIGURES

| | |
|---|-----|
| FIGURE 1 : PLAN DU SITE 1 AVEC POINTS DE PRELEVEMENTS GAZ ET SOLS | 31 |
| FIGURE 2 : PLAN DU SITE 2 AVEC POINTS DE PRELEVEMENTS GAZ ET SOLS | 32 |
| FIGURE 3 : LE BENZENE- SITE 1..... | 84 |
| FIGURE 4 : LE BENZENE –SITE 2..... | 84 |
| FIGURE 5 : LE TRICHLOROETHYLENE – SITE 1 | 85 |
| FIGURE 6 : LE TRICHLOROETHYLENE – SITE 2 | 85 |
| FIGURE 7 : LE TETRACHLOROETHYLENE – SITE 1 | 86 |
| FIGURE 8 : LE TETRACHLOROETHYLENE – SITE 2 | 86 |
| FIGURE 9 LE FORMALDEHYDE- SITE 1 | 87 |
| FIGURE 10 : LE FORMALDEHYDE – SITE 2 | 87 |
| FIGURE 11 : L'ACETONE-SITE 1 | 88 |
| FIGURE 12 : L'ACETONE – SITE 2..... | 88 |
| FIGURE 13 : LES POUSSIERES TOTALES – SITE 1 | 89 |
| FIGURE 14 : LES POUSSIERES TOTALES – SITE 2 | 89 |
| FIGURE 15 : MANGANESE PARTICULAIRE – SITE 1 | 90 |
| FIGURE 16 : MANGANESE PARTICULAIRE – SITE 2 | 90 |
| FIGURE 17 :FLUORANTHENE PARTICULAIRE : SITE 1..... | 91 |
| FIGURE 18 : FLUORANTHENE PARTICULAIRE – SITE 2..... | 91 |
| FIGURE 19 : LIMONENE – SITE 1..... | 92 |
| FIGURE 20 : LIMONENE – SITE 2..... | 92 |
| FIGURE 21 : 1-1 BIPHENYL – SITE 1..... | 93 |
| FIGURE 22 : 1-1 BIPHENYL - SITE 2 | 93 |
| FIGURE 23 CONCENTRATIONS BACTERIENNES AU NIVEAU DES SOURCES SUR LE SITE 1. | 97 |
| FIGURE 24 : CONCENTRATIONS BACTERIENNES AU NIVEAU DES SOURCES SUR LE SITE 2 | 97 |
| FIGURE 25 : CONCENTRATIONS FONGIQUES AU NIVEAU DES SOURCES SUR LE SITE 1. | 98 |
| FIGURE 26 : CONCENTRATIONS FONGIQUES AU NIVEAU DES SOURCES SUR LE SITE 2. | 98 |
| FIGURE 27 : CONCENTRATIONS BACTERIENNES D'AMBIANCE SUR LE SITE 1. | 102 |
| FIGURE 28 : CONCENTRATIONS BACTERIENNES D'AMBIANCE SUR LE SITE 2. | 102 |

| | |
|---|-----|
| FIGURE 29 : CONCENTRATION FONGIQUE D'AMBIANCE SUR LE SITE 1. | 103 |
| FIGURE 30: CONCENTRATION FONGIQUE D'AMBIANCE SUR LE SITE 2. | 103 |
| FIGURE 31: CONCENTRATIONS D'ENDOTOXINES SUR LES SITES 1 ET 2. | 104 |
| FIGURE 32: CONCENTRATIONS BACTERIENNES DANS L'ENVIRONNEMENT DES RIVERAINS - SITE 1 | 107 |
| FIGURE 33: CONCENTRATIONS FONGIQUES DANS L'ENVIRONNEMENT DES RIVERAINS –SITE 1. | 107 |
| FIGURE 34 : CONCENTRATIONS BACTERIENNES DANS L'ENVIRONNEMENT DES RIVERAINS - SITE 2 | 108 |
| FIGURE 35: CONCENTRATIONS FONGIQUES DANS L'ENVIRONNEMENT DES RIVERAINS - SITE 2 | 108 |
| FIGURE 36 : CONCENTRATIONS EN PARTICULES TOTALES SUR LE SITE 1. | 111 |
| FIGURE 37 CONCENTRATIONS EN PARTICULES TOTALES SUR LE SITE 2. | 111 |
| FIGURE 38: CONCENTRATIONS EN PARTICULES TOTALES SUR LES DEUX SITES TEMOINS. | 112 |
| FIGURE 39 : CONCENTRATIONS EN PLOMB ET EN MANGANESE SUR LE SITE 1..... | 115 |
| FIGURE 40: CONCENTRATIONS EN PLOMB ET EN MANGANESE SUR LE SITE 2..... | 115 |
| FIGURE 41: REPARTITION DES EXPOSITIONS AUX METAUX – SITE 1 | 116 |
| FIGURE 42: REPARTITION DES EXPOSITIONS AUX METAUX – SITE 2 | 116 |
| FIGURE 43 : CONCENTRATIONS EN PLOMB ET EN MANGANESE SUR LES DEUX SITES TEMOINS. . | 117 |
| FIGURE 44 : SITES TEMOINS : REPARTITION DES EXPOSITIONS AUX METAUX | 117 |
| FIGURE 45 :CONCENTRATIONS EN HAP ET B(A)P - SITE 1..... | 119 |
| FIGURE 46: CONCENTRATIONS EN HAP ET B(A)P - SITE 2..... | 119 |
| FIGURE 47: REPARTITION DES HAP SUR LE SITE 1. | 120 |
| FIGURE 48 : REPARTITION DES HAP SUR LE SITE 2. | 120 |
| FIGURE 49 : CONCENTRATIONS EN HAP ET B(A)P SUR LES 2 SITES TEMOINS | 121 |
| FIGURE 50: REPARTITION DES HAP SUR LES DEUX SITES TEMOINS. | 121 |
| FIGURE 51: CONCENTRATIONS EN COV - SITE 1 | 124 |
| FIGURE 52 : CONCENTRATIONS EN COV - SITE 2. | 124 |
| FIGURE 53: REPARTITION DES COV -SITE 1. | 125 |
| FIGURE 54 : REPARTITION DES COV -SITE 2. | 125 |
| FIGURE 55: CONCENTRATIONS EN COV SUR LES 2 SITES TEMOINS..... | 126 |
| FIGURE 56: REPARTITION DES COV SUR LES 2 SITES TEMOINS..... | 126 |
| FIGURE 57: CONCENTRATIONS EN ALDEHYDES SUR LE SITE 1. | 128 |
| FIGURE 58: CONCENTRATIONS EN ALDEHYDES SUR LE SITE 2. | 128 |
| FIGURE 59 : REPARTITION DES ALDEHYDES SUR LE SITE 1. | 129 |
| FIGURE 60: REPARTITION DES ALDEHYDES SUR LE SITE 2. | 129 |
| FIGURE 61 : CONCENTRATION EN ALDEHYDES SUR LES DEUX SITES TEMOINS..... | 130 |
| FIGURE 62 : REPARTITION DES ALDEHYDES SUR LES DEUX SITES TEMOINS..... | 130 |
| FIGURE 63: CONCENTRATIONS DE CADMIUM, CHROME, MERCURE DANS LES URINES DE DEBUT ET FIN DE POSTE. | 131 |

| | |
|---|-----|
| FIGURE 64 : CONCENTRATIONS D'ARSENIC, MANGANESE, NICKEL DANS LES URINES DE DEBUT ET FIN DE POSTE. | 132 |
| FIGURE 65 : CONCENTRATIONS D'HYDROXYPYRENE DANS LES URINES DE DEBUT ET FIN DE POSTE | 133 |
| FIGURE 66 :-SITE 3 : TENEURS EN AS, CD, CR T, CU, NI ET SB DES LICHENS IN SITU ANALYSES | 148 |
| FIGURE 67- SITE 3 : TENEURS EN MN, PB ET ZN DES LICHENS IN SITU ANALYSES | 149 |
| FIGURE 68- SITE 1 : TENEURS EN AS, CD, CR T, HG, NI ET SB DES TRANSPLANTS LICHENIQUES MIS EN PLACE DURANT 6 MOIS EN 99..... | 152 |
| FIGURE 69- SITE 1 : TENEURS EN CU, MN, PB ET ZN DES TRANSPLANTS LICHENIQUES MIS EN PLACE DURANT 6 MOIS EN 99..... | 152 |
| FIGURE 70- SITE 1 : TENEURS EN CD, CR T, CU, NI ET PB DES TRANSPLANTS LICHENIQUES MIS EN PLACE DURANT 6 MOIS EN 2000..... | 154 |
| FIGURE 71- SITE 1 : TENEURS EN MN ET ZN DES TRANSPLANTS LICHENIQUES MIS EN PLACE DURANT 6 MOIS EN 2000 | 155 |
| FIGURE 72 - SITE 1 : TENEURS EN CD, CR T, CU, NI ET PB DES TRANSPLANTS LICHENIQUES MIS EN PLACE DURANT UN AN..... | 157 |
| FIGURE 73- SITE 1 : TENEURS EN MN ET ZN DES TRANSPLANTS LICHENIQUES MIS EN PLACE DURANT UN AN) | 157 |
| FIGURE 74 - SITE 1 : TENEURS EN CD, CR T, CU, NI ET PB DES LICHENS PRELEVES IN SITU..... | 159 |
| FIGURE 75 - SITE 1 : TENEURS EN MN ET ZN DES LICHENS PRELEVES IN SITU..... | 159 |
| FIGURE 76- SITE 2 : TENEURS EN CD, CR T, CU, NI ET PB DES TRANSPLANTS LICHENIQUES MIS EN PLACE DURANT 6 MOIS EN 2000..... | 161 |
| FIGURE 77 - SITE 2 : TENEURS EN MN ET ZN DES TRANSPLANTS LICHENIQUES MIS EN PLACE DURANT 6 MOIS EN 2000 | 161 |
| FIGURE 78 - SITE 2 : TENEURS EN CD, CR T, CU, NI ET PB DES TRANSPLANTS LICHENIQUES MIS EN PLACE DURANT UN AN..... | 163 |
| FIGURE 79 - SITE 2 : TENEURS EN MN ET ZN DES TRANSPLANTS LICHENIQUES MIS EN PLACE DURANT UN AN | 163 |
| FIGURE 80 - SITE 2 : TENEURS EN CD, CR T, CU, NI ET PB DES LICHENS PRELEVES IN SITU..... | 165 |
| FIGURE 81- SITE 2 : TENEURS EN MN ET ZN DES LICHENS PRELEVES IN SITU..... | 165 |
| FIGURE 82 : ÉTUDE DE L'EFFET CLASTOGENE DES POLLUANTS DES SOLS | 176 |
| FIGURE 83 : ÉVOLUTION DE LA FORME DES NOYAUX | 177 |

RESUME

Les risques pour la santé associés à l'élimination des ordures ménagères en décharge contrôlée sont encore peu connus. Devant les données très parcellaires dont on dispose, une approche pluridisciplinaire établie en plusieurs étapes a été conçue par le RSD et appliquée à deux sites :

- métrologie chimique et microbiologique des sources d'émission ;
- métrologie des polluants sélectionnés et des microorganismes aux postes de travail et en ambiance , ainsi qu'en périphérie immédiate et à proximité des premières habitations ;
- mesure de ces mêmes polluants dans les lichens présents sur les sites ou mis en place (transplants) ;
- étude expérimentale en laboratoire sur des rats au contact de sols prélevés sur les sites ;
- étude des paramètres de santé et de l'existence ou non de troubles chez les salariés des sites comparés à des salariés non exposés issus d'autres activités.

Les concentrations mesurées dans les effluents aériens sont dans l'ensemble faibles, à l'exception des poussières totales, du manganèse et des microorganismes. Les composés organiques volatiles (COV) sont présents sur l'alvéole en exploitation, liés en particulier au trafic des engins diesel. Les niveaux de HAP particuliers (4.10^{-6} – 55.10^{-6} mg/m³) sont de l'ordre de ceux qui sont observés en milieu urbain. Des niveaux très élevés en poussières totales (mais faibles pour les poussières alvéolaires) ont été mesurés (<0,2 – 1,96 mg/m³). Le manganèse est le métal le plus représenté ($0,063.10^{-3}$ – 236.10^{-3} mg/m³), il est retrouvé également dans les lichens. Les concentrations en microorganismes sont élevées (jusqu'à 7.10^5 CFU) soit 100 à 1000 fois ce que l'on retrouve en environnement classique. La flore est caractéristique des milieux de traitement du déchet avec un aspect monomorphe (bactéries Gram- 250.10^3 CFU ; champignons - 0,2 – 4.10^4 CFU - de type *Aspergillus* ou *Penicillium*).

Une symptomatologie fonctionnelle témoignant d'une atteinte irritative ou immunoallergique des voies respiratoires et du revêtement cutanéomuqueux est observée chez les salariés des sites étudiés, sans qu'il n'y ait perturbation de la fonction respiratoire. Aucun trouble clinique n'est mis en évidence. Les études menées sur les rats de laboratoire ont montré l'existence de foyers inflammatoires des tissus pulmonaires (chez les bêtes autopsiées) et d'une réponse en terme d'induction enzymatique (CYP1A et CYP2B) surtout respiratoire et hépatique. Le test génotoxique des comètes indique une atteinte transitoire et compatible avec l'inhalation de COV.

Cette étude, même si elle ne représente qu'un instantané de la situation des deux sites étudiés, apporte les premiers éléments de connaissance sur les effluents aériens de décharges d'ordures ménagères, et leurs possibles effets sur la santé. Elle ouvre sur des questions qu'il faudrait pouvoir approfondir, en particulier sur l'impact sanitaire des microorganismes.

SUMMARY

Health risks related with domestic garbage elimination in municipal dumps are largely unknown. In the aim of obtaining more data, a multidisciplinary approach has been developed by the RSD and applied to two sites:

- chemical and microbiological metrology of sources;*
- metrology of selected pollutants and microorganism analysis in the ambient air at several places of work, as well as in immediate periphery and close to the first dwellings;*
- measure of these pollutants in lichens ;*
- experimental survey in laboratory of rats living on dump soils;*
- survey of health parameters in workers of the sites compared to non exposed men employed in other commercial or industrial activities.*

*In fact , concentrations of pollutants are low, with the exception of total dusts, manganese and microorganisms. The volatile organic compounds (VOC) are present on the alveolar in exploitation, because of the traffic of diesel trucks. The same observation is done for PAH, which are closed to the urban environment levels. High total dusts levels have been measured (but the levels of alveolar dusts were low). Manganese is the more representative metal, which is also recovered in lichens. Concentrations of microorganisms are high (100 at 1000 times what one recovers in classic environment), with the presence of pollution picks, and characteristic monomorphic bacteria and fungi (*Aspergillus* and *penicillium*).*

Respiratory symptoms and cutaneous irritation are more often observed among waste dumps workers than among non exposed workers, but no perturbation of the lung function was detected among them. Studies led on laboratory rats showed the existence of inflammation of the pulmonary tissues. Enzymatic induction (CYP1A and CYP2B) in respiratory and hepatic cells was observed. Observations of comets indicate a transient aggression which was compatible with inhalation of COV.

This study brings several elements of knowledge on the ambient air pollution in domestic garbage dumps, and their possible effects on health. It would be necessary to continue the investigations particularly on the sanitary effect of the microbiological pollution.

I. ABREVIATIONS ET ACRONYMES UTILISES

ACGIH : American Conference of Governmental Industrial Hygienist.
ADEME : Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie
AFNOR : Agence Française de Normalisation
ASTM : American Society for Testing and Materials.
BTP : Bâtiment et Travaux Publics
BTX : Benzène, Toluène, Xylène
CET : Centre d'enfouissement technique
CFU : Colony Forming Unit (en Français : unités formant colonies par m³)
COV : Composés Organiques Volatils
DECOS : Dutch Expert Committee on Occupational Standards of the National Health Council.
EFR : Exploration Fonctionnelle Respiratoire
EPA : Environmental Protection Agency (USA)
□GT : Gamma Glutyl-Transférèse (enzyme hépatique)
GC / FID : Chromatographie gazeuse couplée un détecteur à ionisation de flamme
GC / MS : Chromatographie gazeuse couplée à une spectrométrie de masse
HAM : Hydrocarbure Aromatique Monocyclique
HAP : Hydrocarbure Aromatique Polycyclique
HGC : Chromatographie gazeuse
HPLC : chromatographie liquide à haute performance
HTA : Hypertension artérielle
ICP : Plasma à Couplage Inductif
NIOSH : National Institute for Occupational and Safety Hazards (USA)
OEL : Occupational Exposure Limit.
OM : Ordures ménagères
OMS : ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTE
OR : Odds - ratio
ORP : Odds-rayo de prévalence
PCB : Polychlorobenzènes
PPZ : Proto-Porphyrine Zinc
RR : Risque Relatif
SGOT : Alanine Transférèse : enzyme Hépatique (encore appelée : ALAT)
SGPT : Aspartate Transférèse : enzyme hépatique (encore appelé ASAT)
STEP : Station d'épuration des eaux

VLE : Valeur Limite d'Exposition (rapportée sur une durée de 15 Minutes)

VME : Valeur Moyenne d'Exposition (rapportée sur la durée d'un poste de travail de 8h)

II. GLOSSAIRE

ACTINOMYCETES : ce sont des bactéries filamenteuses. Elles ont des propriétés fortement antigéniques, et sont impliqués dans de nombreux symptômes présents dans le monde de l'agroalimentaire.

ATELECTASIE : affaissement d'un territoire pulmonaire qui est privé d'air par l'obstruction de la bronche qui normalement le ventile.

GRAM : Il s'agit d'une coloration réalisée en microscopie optique pour mettre en évidence certaines bactéries.

BACTERIES GRAM (-) : bactéries qui ne prennent pas la coloration Gram. La plupart de ces bactéries sont des bactéries largement présentes dans le tube digestif des hommes et des animaux et dans l'environnement ; cependant certaines d'entre elles, comme le *Pseudomonas Aeruginosa*, les *Salmonelles*, *Escherichia Coli* peuvent être pathogènes pour l'homme.

BACTERIES GRAM (+) : bactéries prenant la coloration Gram. Parmi ces bactéries, on retrouve un certain nombre de bactéries pathogènes, comme les Coccis (staphylocoques, streptocoques...).

CHAMPIGNONS : sont des agents microbiologiques présents de façon ubiquitaire ; en principe, dans l'environnement, on observe une flore fongique variée. Le milieu des déchets offre un terrain de culture particulièrement favorable à deux types particuliers de champignons : les *Penicillium* et les *Aspergillus*, qui sont deux genres particulièrement allergisants. Par ailleurs, certaines espèces (notamment *d'Aspergillus*) produisent des mycotoxines.

CLASTOGENE : se dit d'une molécule qui a pour effet de casser l'ADN. Les cassures peuvent avoir lieu sur un seul brin de la double hélice d'ADN (cassures mono brin) et/ou sur les deux brins d'ADN (cassures double brin).

CORTICOLE : qui pousse sur écorce

ENDOTOXINES : les bactéries gram (-) ont la particularité de libérer des constituants lipopolysaccharidiques de leurs membranes quand elles se lysent. Ces constituants agissent comme des toxines responsables d'altérations de la santé en cas d'inhalation massive. Elles ont un faible potentiel antigénique.

EPIPHYTE : se dit d'un végétal qui vit fixé sur des plantes mais sans les parasiter.

ETUDE TRANSVERSALE : étude épidémiologique qui évalue l'exposition et la pathologie au même moment. Elle se déroule sur un temps bref et prend en compte les salariés présents sur le site à ce moment là. Elle est fortement entachée du biais de sélection de "travailleurs en bonne santé". Cependant, elle est de réalisation facile et peu coûteuse. Elle est conseillée pour évaluer les relations exposition - maladie de latence courte.

ETUDE LONGITUDINALE : étude épidémiologique suivant les sujets à intervalle plus ou moins régulier dans le temps. Les personnes qui quittent leur travail restent intégrées dans l'étude. Ces études sont beaucoup moins concernées par le biais de sélection de "travailleurs en bonne santé".

EPIPHYTE : se dit d'un végétal qui vit fixé sur des plantes mais sans les parasites

FOLIACÉ : qui a la forme d'une feuille

FRUTICULEUX : qui a l'aspect d'un arbrisseau; désigne ici un thalle ramifié

INDICATEUR : il s'agit d'un composé présent parmi les composés émis par une activité industrielle, mais qui ne sont pas spécifiques de celle-ci. Toutefois, du fait de leur caractère toxique, leur suivi métrologique permet de surveiller les émissions potentiellement dangereuses de l'activité.

MYCOTOXINES : substances produites dans certaines conditions par certaines souches de champignons (notamment *Aspergillus flavus*). Elles ont un fort potentiel antigénique.

NITROPHILE : qui pousse sur milieu riche en substances azotées (ammoniac ou nitrates)

POUSSIERES ALVEOLAIRES : il s'agit des poussières dont le diamètre est situé entre 0,5 et 5 μ . Ces poussières, du fait de leur faible diamètre, ont la possibilité de descendre loin dans l'arbre broncho-pulmonaire, et vont être à l'origine des pathologies respiratoires chroniques. De plus, si elles sont chargées de composés chimiques toxiques, elles vont

véhiculer ces agents toxiques jusqu'au niveau des alvéoles, permettant ainsi à ces composés de pénétrer dans l'organisme.

POUSSIERES TOTALES : On entend par ce terme les poussières dont le diamètre aérodynamique est compris entre 0,5 μ et 20 μ . Elles sont composées :

des poussières qui ne peuvent dépasser les voies aériennes supérieures (5-20 μ) du fait d'un diamètre important. Elles vont être à l'origine de phénomènes d'irritation des muqueuses des voies respiratoires.

des poussières alvéolaires (<5 μ) qui vont aller jusqu'au bronchioles et alvéoles.

RISQUE RELATIF : il s'agit du rapport de la probabilité d'être malade quand on est exposé sur celle d'être malade quand on n'est pas exposé. Il mesure la force de la relation causale entre un facteur de risque d'une maladie et cette maladie.

ODDS -RATIO : il s'agit d'une approximation du risque relatif utilisé dans les études de type cas - témoin.

ODDS - RATIO DE PREVALENCE : il s'agit d'un calcul d'odds - ratio réalisé dans les études de type transversal. Il permet de tester l'existence d'une relation entre un facteur et un trouble de santé mais il ne permet pas de dire qu'il y a une relation de cause à effet.

TAXONOMIE : taxinomie : sciences des lois de la classification

THALLE : désigne l'appareil végétatif des algues, des champignons et des lichens

TRACEUR : il s'agit d'un composé émis de façon spécifique par une activité. Son suivi métrologique reflète le fonctionnement de l'activité.

III.INTRODUCTION

Les risques éventuels pour la santé associés à l'activité de gestion ou de traitement des déchets sont peu connus, en particulier dans le cadre des centres de stockage d'ordures ménagères (OM). En effet, ils sont assez difficilement détectables dans les populations générales pour diverses raisons : concentrations en polluants chimiques dans les milieux environnants (air, eau, sols) très variables, mélange complexe de polluants potentiels, présence de nombreux produits à l'état de traces, manque de spécificité des pathologies pouvant résulter de telles expositions.

A. Situation du problème

La composition des émissions gazeuses des décharges municipales varie notamment selon la nature et le volume des déchets stockés, l'âge de la décharge et son mode d'exploitation. Les émissions gazeuses ont une composition variable d'un site à l'autre mais elles contiennent principalement du méthane, du dioxyde de carbone et de l'azote. Ceux-ci sont le plus souvent accompagnés par de nombreux composés volatils à l'état de traces (Ignatidis, 1996) dont certains sont toxiques à de faibles concentrations. Parmi les composés organiques volatils, le dichloréthane, le trichloréthylène, le benzène, le dichlorobenzène, le toluène et le chlorure de vinyle sont couramment détectés (Brosseau et Heitz, 1993). Feldmann et Hirner (1995) ont montré également la présence en quantités significatives d'espèces métalliques volatiles (Hg, As, Sb, Cd, Bi) dans les émanations atmosphériques de ces décharges. D'autres observations réalisées sur la décharge de King Country Washington, après modélisation de la qualité de l'air indiquaient, en revanche, que les concentrations moyennes sur 24 heures au point d'impact le plus proche hors de la décharge, se situaient en deçà des valeurs acceptables (Savage et Sharpe -1987) . En ce qui concerne les salariés des centres de stockage d'OM, très peu d'éléments bibliographiques sur les expositions aux postes de travail sont disponibles. Une étude canadienne portant sur la mesure de la silice libre (sous forme de quartz) au poste de travail , réalisée sur plusieurs sites de stockage mixte (OM + déchets chimiques), a montré que 6 prélèvements sur 9 excédaient le seuil de concentration préconisé par le NIOSH (0,05 mg/m³), en particulier, dans les cabines des opérateurs équipées d'air conditionné filtré (Mozzon, 1987). Les métaux n'étaient pas mesurés en excès.

Le risque microbien est également à prendre en considération, particulièrement pour les personnes exposées professionnellement. En effet, de nombreux microorganismes sont

potentiellement présents dans les déchets ménagers, qui sont de bons milieux de culture. Ils peuvent contenir un nombre de germes viables allant de 4.10^6 à $6,8.10^8$ CFU par gramme de déchets (Collins et Kennedy, 1992 ; Palmisano et Barlaz, 1996). Ces microorganismes sont souvent représentés par des bacilles Gram négatif, très répandus dans l'environnement. Ils peuvent aussi provenir d'une contamination fécale (couches-culottes, déchets d'animaux domestiques...), car ils sont présents dans le tube digestif des mammifères (Pahren, 1987). Ces bactéries libèrent, quand elles se lysent, des endotoxines connues pour être responsables d'effets inflammatoires, hémodynamiques et immunologiques, leur principale cible étant le macrophage pulmonaire (Deschamps *et al*, 1994 ; Rylander *et al*, 1989 ; 1997). Des bactéries Gram positif sont également susceptibles d'être retrouvées, ainsi que des actinomycètes, des levures et des champignons capables de sécréter des mycotoxines, et appartenant pour la plupart aux genres *Aspergillus* et *Penicillium*, deux espèces banales allergisantes (Pinel *et al*, 1997). Une mesure de l'aéro contamination dans un centre d'incinération des ordures ménagères a ainsi montré la présence d'un nombre très élevé de bacilles Gram négatif et d'une flore fongique représentée quasiment exclusivement par des *Penicillium* et des *Aspergillus* (Parat *et al*, 1998).

En ce qui concerne les risques sanitaires, Poulsen *et al*. (1995) ont observé, chez des éboueurs et des ouvriers chargés des déchets biodégradables, une fréquence plus importante de symptômes respiratoires (bronchites chroniques, symptomatologie grippale) et de symptômes généraux (écoulement nasal, toux, fièvre, migraines...) qu'ils attribuent à une exposition massive aux microorganismes présents dans les déchets.

Dernièrement, Gelberg (1997) a comparé la prévalence de symptômes aigus présentés par 238 employés d'une des plus grandes décharges municipales du monde (Fresh Kills à New York) à 262 autres employés municipaux. Les résultats montrent une prévalence plus élevée de symptômes dermatologiques, neurologiques, respiratoires, de problèmes d'audition et de maux de gorge. Toutefois, l'absence de mesure de l'exposition, et un intitulé des postes de travail peu explicite, ne permettent pas une bonne caractérisation du risque pour les salariés.

Quelques études épidémiologiques se sont efforcées de rechercher l'influence possible sur la reproduction humaine de la pollution de l'environnement, en particulier pour les personnes vivant à proximité des décharges d'ordures ménagères. Ces études ont l'inconvénient de porter sur des décharges qui ne sont pas uniquement destinées aux ordures ménagères. Comme de nombreux sites nord-américains, elles ont reçu des quantités substantielles de produits toxiques. Hertzman *et al* (1987) et Goldberg *et al* (1995) ont observé une augmentation significative du taux de faibles poids de naissance dans la zone la plus proche du site, mais ils n'ont pu conclure à une liaison entre l'exposition des mères aux biogaz et les

faibles poids de naissance, car de nombreux autres facteurs de risque (consommation de tabac, prise de poids excessive, catégorie socioprofessionnelle, pathologies prédisposantes...) n'ont pu être pris en compte, et aucune mesure réelle de l'exposition n'a été faite. Une autre étude, d'une puissance statistique très élevée, a été menée au Québec, sur l'incidence des cancers parmi les personnes vivant près d'une décharge mixte (Goldberg *et al*, 1995). Les résultats montrent des excès significatifs de certains cancers (foie, estomac) chez les hommes, dans les zones situées sous les vents dominants. La définition de l'exposition s'est faite également à partir de la distance par rapport à la décharge, et certains autres facteurs de risque (tabac, alcool) n'ont pu être pris en considération. Il reste donc difficile de conclure, à travers les études épidémiologiques menées jusqu'à ce jour, à l'existence de risques pour la santé des populations avoisinantes des sites de stockage des déchets, notamment du fait d'une connaissance insuffisante des retombées environnementales de leurs émissions.

Il y a quelques années, Enterline *et al* (1987) avait proposé d'utiliser les résultats d'études professionnelles pour quantifier les effets sur la santé des pollutions faibles de l'environnement général, par application de modèle linéaire à partir des niveaux d'exposition mesurés sur les lieux de travail. Les travailleurs des sites de traitement étant exposés directement aux produits issus des déchets sont susceptibles de développer plus précocement qu'une population générale des troubles pathologiques. Ils représentent donc une population particulièrement intéressante à suivre, bien qu'exposée uniquement pendant les heures de travail. Ces salariés constituent ainsi une éventuelle population sentinelle pour la surveillance des habitants vivant au voisinage de l'usine. De plus, les populations de travailleurs sont bien connues et bénéficient d'une surveillance médicale régulière.

Cependant, pour pouvoir utiliser les résultats de telles études, le protocole de surveillance doit associer au recueil systématique des informations cliniques, une métrologie atmosphérique au poste de travail complétée par un suivi biologique des niveaux d'exposition. L'analyse doit permettre de comparer les troubles de santé dans divers groupes dont les expositions sont bien caractérisées.

Le monitoring biologique est particulièrement intéressant car il permet d'apprécier l'exposition des sujets en intégrant toutes les voies d'absorption du toxique, les facteurs individuels des sujets et aussi le facteur temps. Les biomarqueurs d'exposition évaluent la fraction de xénobiotiques absorbée, c'est-à-dire la quantité de produit qui a effectivement traversé les barrières physiologiques pour entrer dans l'organisme. Ils reflètent donc la biodisponibilité des polluants et sont influencés par le mode d'exposition, les caractéristiques du polluant mais aussi les caractéristiques physiologiques. Toutefois, seuls les composés métalliques (plomb, mercure, cadmium...) et quelques métabolites de composés organiques

(par exemple l'hydroxypyrene, traceur de l'exposition aux HAP) peuvent être dosés dans le sang ou les urines.

Enfin, plusieurs substances potentiellement présentes dans les déchets peuvent entraîner une neurotoxicité lors d'exposition chronique, se traduisant par des plaintes subjectives : céphalées, insomnies, troubles de l'humeur, désintéressement, impuissance... Ces symptômes, d'allure banale, traduisent souvent une détérioration intellectuelle portant sur l'essentiel des fonctions cognitives. Lorsque l'exposition est chronique et que les niveaux sont peu élevés, les perturbations intellectuelles sont mineures, parfois infra-cliniques, et seule l'administration de tests psychomoteurs sensibles peut les mettre en évidence (Dally et Garnier, 1994). Ce type de suivi doit être dès lors intégré à toute étude au cours de laquelle on suspecte une exposition à des niveaux faibles de polluants minéraux ou organiques.

La recherche d'autres biomarqueurs peut être intéressante pour la démarche de caractérisation du risque. Par exemple, l'utilisation d'animaux sentinelles est une approche récente qui contribue à la connaissance car elle permet d'intégrer les données d'exposition et d'effets (métabolisme, toxicité...). Elle fournit alors un modèle utilisable pour mieux cerner les risques sanitaires pour la population générale vivant à proximité de milieux complexes comme les décharges. Les rongeurs ont déjà été employés pour le suivi de décharges industrielles, soit en les capturant sur le site (Shaw-Allen et McBee, 1993), soit en les introduisant sur du sol contaminé (Fouchécourt *et al*, 1998). Cependant, aucun exemple de suivi de décharges d'ordures ménagères n'a été publié à ce jour.

D'autres organismes vivants peuvent également être utilisés pour une meilleure connaissance de ces milieux complexes et hétérogènes que sont les sites de stockage des ordures ménagères. Il s'agit des végétaux et, en particulier, des lichens qui sont bien connus dans la détection de la pollution atmosphérique (Van Haluwyn et Lerond 1993). En effet, en raison de leur structure qui les rend très tributaires de l'atmosphère, de leur croissance lente, de leur longévité, de leur fonction photosynthétique continue et de leur pouvoir d'accumulation, les lichens constituent un matériel de choix en tant que bioindicateurs et bioaccumulateurs des pollutions présentes. Depuis plus d'une vingtaine d'années, des travaux portant sur l'utilisation des lichens dans la détection de différents types de polluants sont réalisés en France. Citons par exemple l'estimation de la qualité globale de l'air dans la région Nord-Pas de Calais (Van Haluwyn *et al*, 1986), à Grenoble (Gombert, 1999), à Lyon (Khalil, 2000), la détection du fluor (Belandria *et al*, 1991), des métaux lourds, de la pollution diffuse (Legrand et Asta, 1995)...

Enfin des études ont été réalisées pour apprécier l'impact du traitement des déchets par incinération sur les lichens et ont permis d'obtenir des résultats tout à fait originaux (concentrations en Plomb et en Cadmium dans les échantillons soumis aux fumées

significativement supérieures à celles des échantillons témoins) (Gombert et Asta, 1998). Mais il n'existe encore aucune référence bibliographique concernant l'impact d'un site de stockage des ordures ménagères sur les lichens.

B. Objectifs de l'étude

Devant les données très parcellaires dont on dispose sur le risque associé au stockage de déchets ménagers, une approche pluridisciplinaire a été conçue par le RSD. Ses objectifs sont les suivants :

1 - acquérir des données quantifiées :

- de métrologie,
- d'impact environnemental,
- et d'impact sanitaire sur les salariés;

2 - rapprocher les données obtenues par les différentes approches mises en œuvre pour en déduire si possible un modèle de suivi et de surveillance cohérent des sites de stockage des déchets ;

3 - proposer une méthodologie de suivi permettant de cibler au mieux les paramètres les plus pertinents pour une caractérisation du risque sanitaire associé à la filière décharge.

C. Démarche suivie

Pour répondre à ces objectifs, nous avons mis en place une approche en plusieurs étapes :

a) métrologie chimique et microbiologique des sources d'émission : le but de cette étape est de caractériser le plus largement possible et de quantifier les polluants présents dans les émissions aériennes d'une décharge et dans les sols superficiels prélevés en différents points des deux sites sélectionnés ; ces sols sont le siège de transfert des émissions gazeuses des déchets et serviront de litière aux rats pour l'étude expérimentale.

A la suite de cette étape, une sélection des polluants présents dans les sources est réalisée par le groupe sur la base de leur importance en terme quantitatif et/ou de leur intérêt du point de vue toxicologique ou comme indicateur spécifique des décharges.

b) métrologie des polluants sélectionnés et des microorganismes

- aux postes de travail et en ambiance de travail, permettant notamment de caractériser les polluants présents dans l'air respiré par les salariés
- dans l'atmosphère en périphérie immédiate et au niveau des premières habitations situées, pour caractériser la pollution aérienne éventuelle provenant de la décharge.

c) mesure de ces mêmes polluants dans les lichens (présents ou mis en place sur les sites) afin d'en étudier les teneurs.

d) étude expérimentale sur des rats respirant les polluants relargués au laboratoire par les sols prélevés à la superficie des sites afin de caractériser les impacts toxiques éventuels de ce mélange complexe de polluants.

e) étude destinée à comparer des paramètres de santé et l'existence ou non de troubles entre la population des salariés de ces sites et une population témoin non exposée, constituée par des salariés d'autres activités industrielles ou commerciales . Cette dernière étude ne peut pas avoir l'ambition de révéler des impacts très discrets sur la santé des salariés, compte-tenu du faible effectif qui a finalement pu participer à l'étude ; cependant, elle a pour objectif de tester une méthodologie de surveillance épidémiologique des salariés de l'activité.

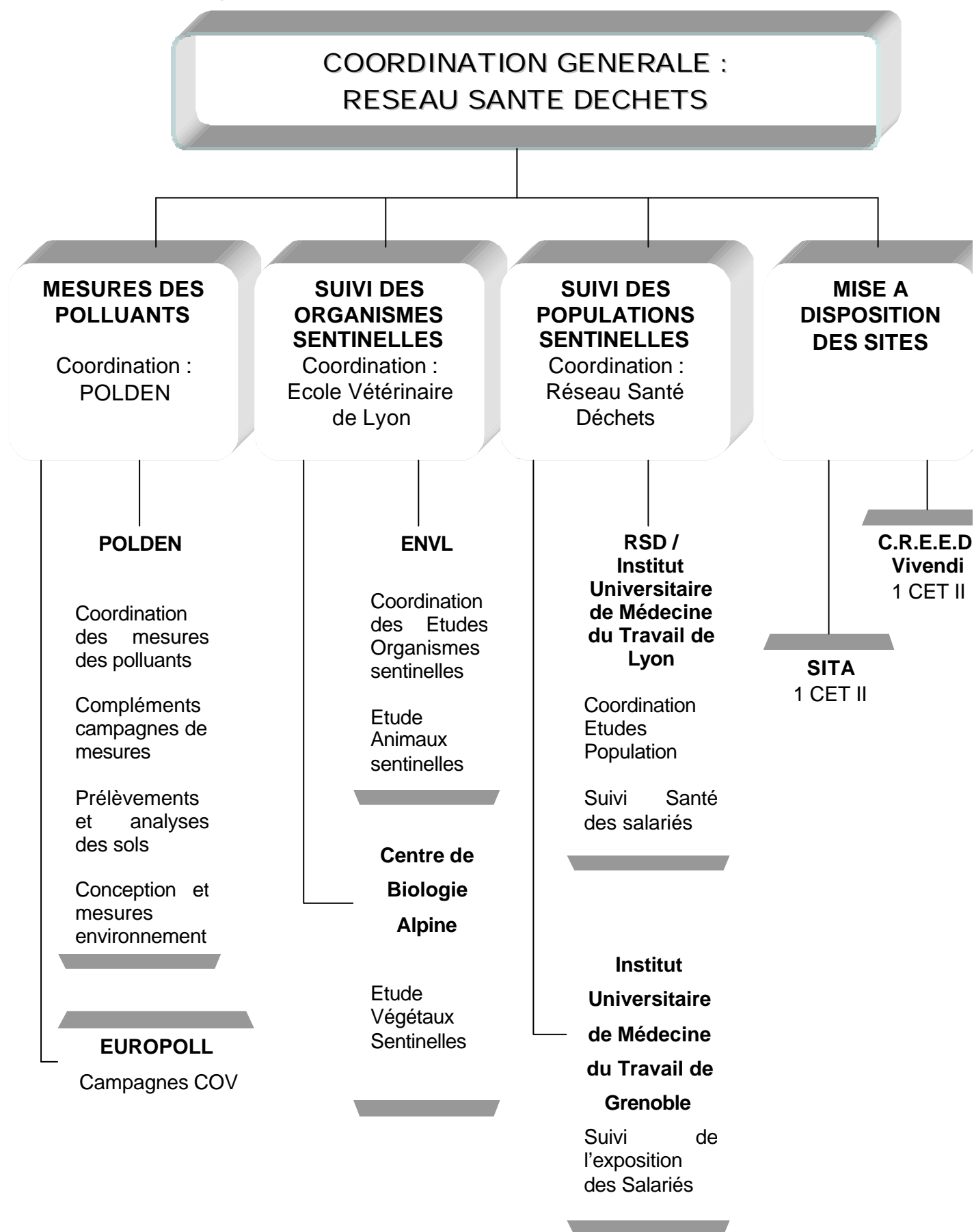
D. Organisation de l'étude

Les équipes qui ont participé regroupent des chercheurs de plusieurs disciplines.

Le document est organisé de la façon suivante :

- Un **document principal** comportant :
 - en première partie :
 - ◇ les matériels et méthodes utilisés par chacune des composantes de l'équipe de recherche.
 - ◇ les résultats synthétisés sous forme de schémas et de quelques tableaux : seuls les principaux résultats sont présentés dans le corps principal du rapport.
 - ◇ une discussion de ces résultats
 - ◇ une discussion de la méthodologie qui nous permet d'aborder la méthodologie de surveillance proposée.
 - ◇ une conclusion résumant les grandes lignes de l'étude.
 - en seconde partie :
 - ◇ des annexes méthodologiques qui apportent des points de détails de méthodologie.
 - ◇ des annexes de résultats qui apportent le détail chiffré des résultats présentés dans le corps principal du rapport.
- Un **document annexe**, joint avec la version définitive du rapport et donnant tous les résultats bruts chiffrés de l'étude.

E. Organisation des équipes



IV. MATERIEL ET METHODES

A. Choix et caractéristiques des sites

Dans un premier temps, quatre sites ont été proposés par les industriels concernés. Ceux-ci correspondaient à des Centres d'Enfouissement Technique de Classe II (C.E.T. 2), recevant plus de 50% d'ordures ménagères et une proportion des déchets banals industriels réduite. Suite à la visite de ces sites, un tableau de critères de choix a été élaboré par l'ensemble des chercheurs afin de retenir les plus représentatifs (Annexe A-1)

Après discussion entre les différents protagonistes (chercheurs de l'étude, industriels, partenaires financiers), deux sites¹ ont été retenus (nommés SITE 1 et SITE 2 tout au long de notre étude).

L'objectif de ce choix est de travailler sur des sites recevant de façon très majoritaire des ordures ménagères, n'ayant pas d'activité industrielle proche pouvant perturber l'interprétation des mesures et qui soient gérés suivant la meilleure technologie aujourd'hui admise, de façon à caractériser au mieux pour le futur cette activité .

Les deux sites sélectionnés disposent d'un historique assez semblable, et leur exploitation est réalisée de façon voisine. (Tableau 1)

Le site 2 est un site plus important que le site 1 au point de vue de la superficie (quatre fois plus grand) que du nombre de transactions journalières (deux fois plus importantes) et du tonnage annuel de déchets reçus (tonnage six fois plus important). Le site 2 reçoit proportionnellement moins d'ordures ménagères (10 % d'ordures ménagères de moins que le site 1) et plus de DIB (31 % contre 12 % pour le site 1).

Le site 2 dispose également d'une station de traitement des lixiviats, alors que sur le site 1 les lixiviats sont évacués en camion-citerne pour traitement à l'extérieur du site.

¹ Pour des raisons pratiques, un troisième site a servi de base pour l'étude sur les lichens. En effet, les deux sites retenus étant pauvres en matériel lichénique, il a fallu adapter la méthodologie en mettant en place des transplants. Afin d'obtenir dès le départ des résultats concernant les polluants susceptibles d'être retrouvés dans les lichens, ce troisième site a été choisi pour sa richesse en lichens.

Tableau 1 : les deux sites d'étude : caractéristiques principales

| | SITE 1 | SITE 2 |
|-----------------------------------|---|---|
| Superficie | 15 hectares | 62,5 hectares |
| Historique | 1976-1986 : décharge non contrôlée 1986 – 1992 : décharge contrôlée depuis 1992 : C.E.T. 2 | 1972-1979 : décharge non contrôlée 1979-1994 : décharge contrôlée depuis 1994 : C.E.T. 2 |
| Fin d'exploitation estimée en | 2010 | 2030 |
| Vents dominants | Nord-Sud et parfois Sud-Nord | Nord-Sud |
| Répartition des déchets | <p>OM DIB Refus tri Boues STEP</p> | <p>Refus compost Mâchefers Amiante-ciment Inertes</p> |
| Lixiviats | Drainage vers une citerne de 80 m ³ puis pompage dans un camion citerne pour évacuation extérieure. | Drainage vers une station d'épuration d'une capacité de 60 m ³ /h située à l'intérieur du site. |
| Biogaz | Captage par 33 puits situés sur 3 lignes puis brûlage au niveau de 2 torchères | Captage par puits et drains en épis puis brûlage au niveau de 6 torchères |
| Capacité Torchères | 2 X 1000 m ³ /h | 6 X 1000 m ³ /h |
| Organisation du travail | Les CET fonctionnent du lundi au vendredi, y compris les jours fériés où sont collectées des ordures. Les salariés travaillent selon l'emploi occupé soit en poste, soit à la journée (comme c'est le cas de tous les salariés du site 1). | |
| Présentation du personnel employé | 9 salariés : - 1 chef d'exploitation, chargé de veiller au bon fonctionnement de la décharge (activité de « terrain » et administrative) - 1 réceptionniste - 4 conducteurs d'engins - 1 agent lixiviats - 1 agent d'entretien - 1 agent polyvalent | 15 salariés : - 1 chef d'exploitation - 2 réceptionnistes - 1 agent d'entretien - 2 agents chargés de la maintenance de la station d'épuration - 2 agents du BTP, qui ne sont pas salariés de la société qui exploite la décharge, intérimaires, ils travaillent en fait de façon quasi continue sur le site - 1 vérificateur - 6 conducteurs d'engins |

Figure 1 : plan du site 1 avec points de prélèvements gaz et sols

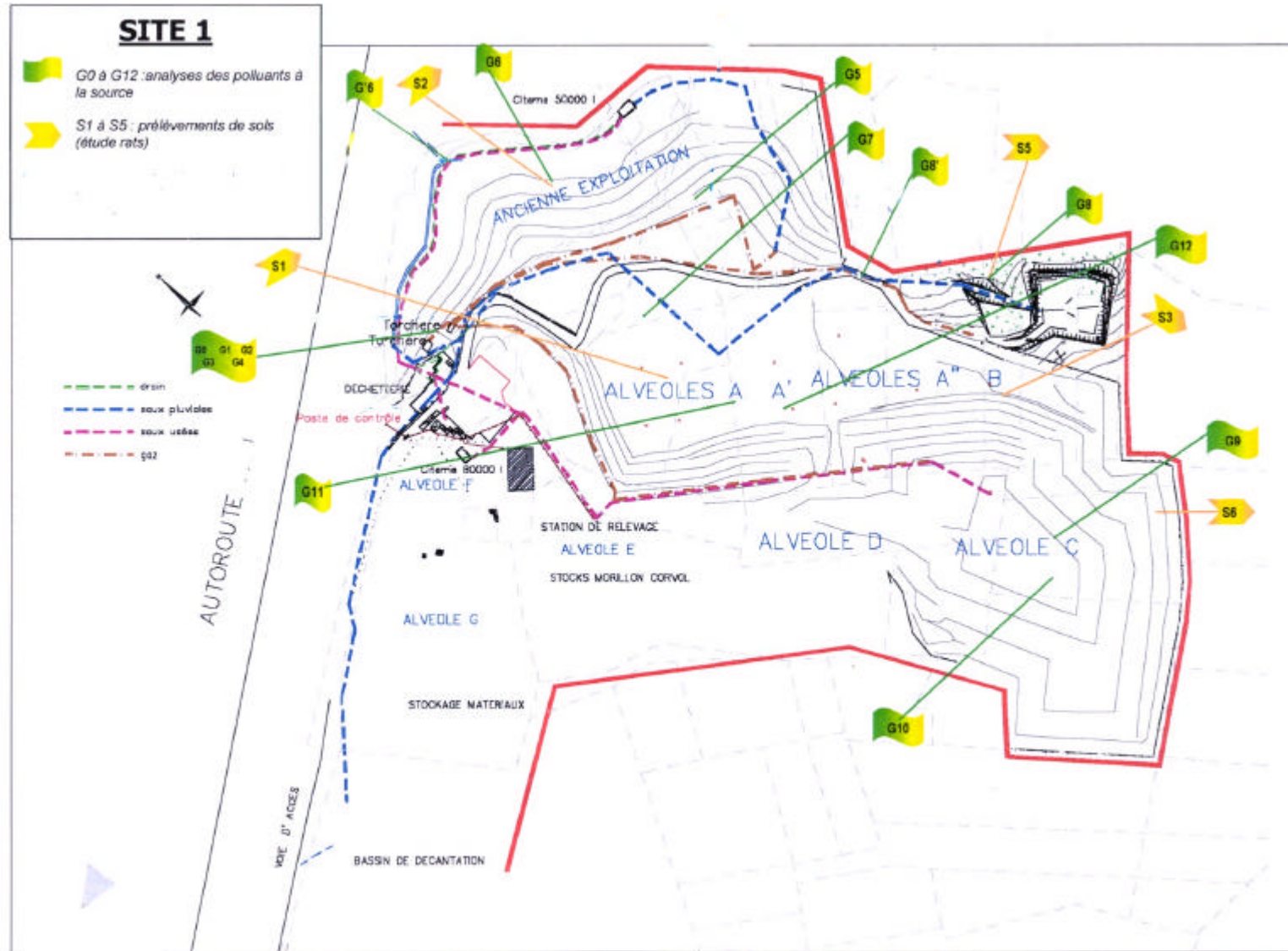
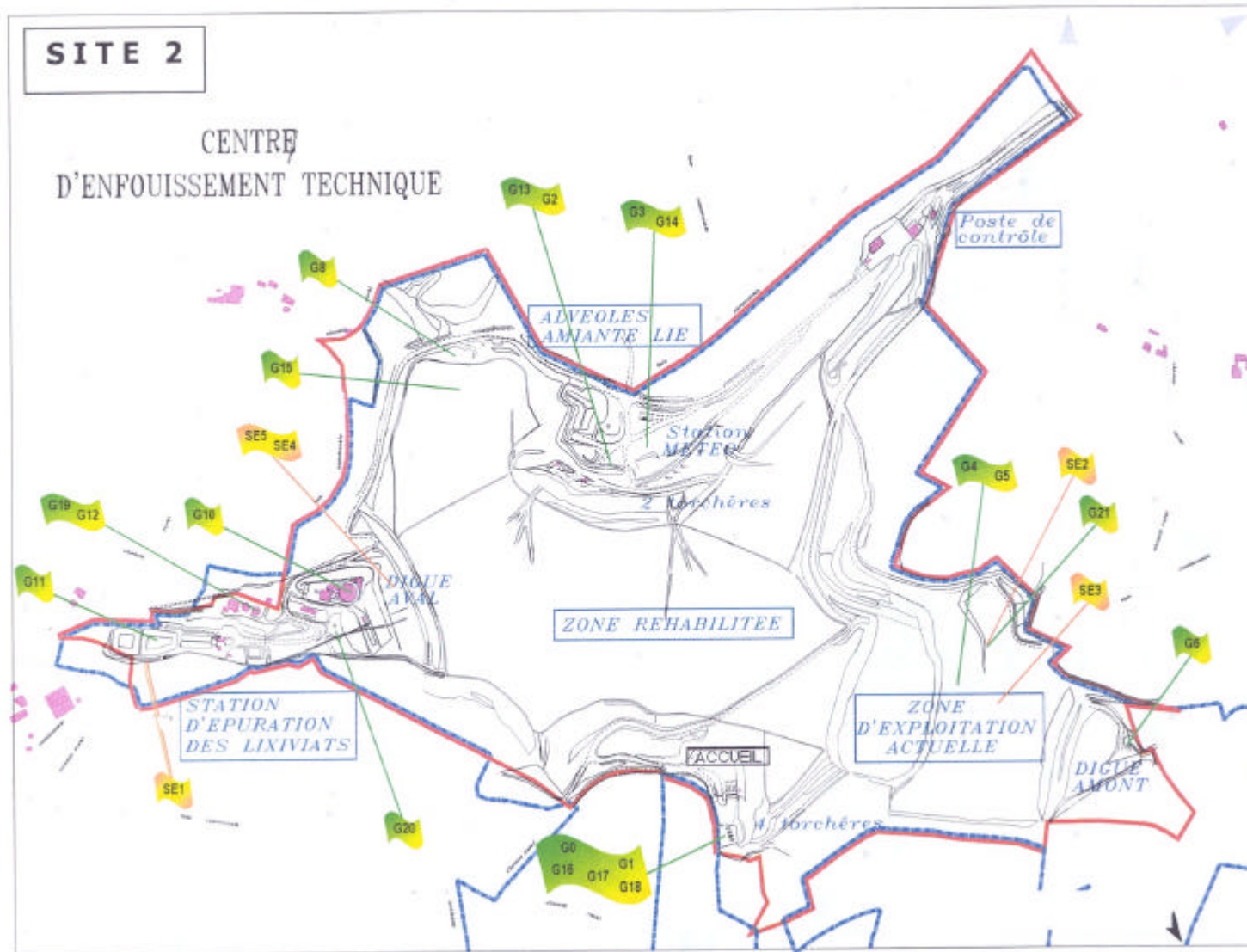


Figure 2 : plan du site 2 avec points de prélèvements gaz et sols



1. Présentation générale des zones étudiées

Afin de procéder à des analyses des polluants, que ce soit à la source, dans l'ambiance des sites, aux postes de travail, dans les sols, ou dans les lichens, les équipes ont défini des « zones de prélèvements » pour chacun de ces deux sites, dans lesquelles un certain nombre de points de prélèvements ont été positionnés.

Les appellations retenues pour ces zones et les types de mesures effectuées à leur niveau sont résumées ci-dessous :

- **Zone « Biogaz »** : les mesures ne concernent que les émissions à la source, dans les divers conduits et drains de biogaz sur l'ensemble des sites à raison de 8 points de prélèvements pour chaque site.
- **Zone « Alvéole en cours d'exploitation »** : les mesures à la source ont été faites sous bâche à la surface des ordures ménagères datant de plusieurs jours. Les mesures en ambiance et aux postes de travail ont été effectuées à 1,5 m de la surface des déchets (hauteur des voies respiratoires).
- **Zone « Torchères »** : les mesures ont été effectuées soit en sortie de torchères avant brûlage (à la source), soit à proximité immédiate (ambiance).
- **Zone « Fissures sur alvéoles fermées »** : les mesures, réalisées uniquement à la source, ont été faites sous bâches à la surface d'une fissure.
- **Zone « Poste de contrôle »** : mesure faite dans la cabine du poste d'accueil pour l'analyse du poste de travail ; à proximité immédiate de la cabine pour les lichens.
- **Zone « Lixiviats »** : les mesures à la source ont été effectuées à la surface immédiate des bassins de stockage ou de traitements ; les mesures aux postes et en ambiance de travail à 1,5 m de la surface du sol.
- **Zone « Ancienne exploitation »** : prélèvements à la source sous bâche au niveau de suintements de lixiviats pour le site 1.
- **Zone « Ambiance générale du site »** : : Prélèvements en différents points non spécifiques des sites permettant de compléter les mesures et donnant une image plus générale des émissions diffuses des sites
- **Zone « Environnement Amont »** : prélèvements réalisés à l'extérieur des sites et en amont par rapport au sens du vent le jour des prélèvements
- **Zone « Environnement des riverains en Aval »** : prélèvements faits à l'extérieur des sites et en aval par rapport au sens du vent, à différentes distances proches des habitations pour étudier la dispersion du panache du site de l'alvéole en cours d'exploitation (limite de propriété, 120 m, 270 m, 500 m par exemple).

Tableau 2 : Les points de prélèvements

| | Mesures à la source: Chimie et microbiologie | | Mesures dans l'ambiance générale du site et aux zones de travail individuelles (Chimie) et fixes (Chimie et microbiologie) | | Mesures dans l'environnement proche des sites (Chimie et microbiologie) | | Echantillons de sols prélevés sur les sites | | Lichens : Transplants et stations sur site | |
|---|---|----------|---|---|---|------------------------|--|--------------------------|---|---|
| | Site 1 | Site 2 | Site 1 | Site 2 | Site 1 | Site 2 | Site 1 | Site 2 | Site 1 | Site 2 |
| Zone Alvéole en cours d'exploitation | 1 point 1 point 50m au dessus | 3 points | 3 conducteurs d'engins 1 mesure en ambiance | 4 conducteurs d'engins 3 conducteurs de BTP 1 vérificateur 1 mesure en ambiance | | | 1 échantillon moyen | 1 échantillon moyen | 1 transplant | 1 transplant |
| Zone Biogaz | 8 points | 8 points | 0 | 0 | | | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Zone Torchères | 1 point | 3 points | 1 mesure en ambiance | 1 mesure en ambiance | | | 0 | 0 | 1 transplant | 2 transplants |
| Zone Fissures sur alvéoles fermées | 3 points | 1 point | 0 | 0 | | | 1 échantillon moyen | 1 échantillon moyen | 1 transplant | |
| Zone Poste de contrôle | 0 | 0 | 1 agent (intérieur) | 1 agent (intérieur) | | | 0 | 0 | 1 station sur site | 1 transplant |
| Zone Lixiviats | 0 | 5 points | 1 agent 1 mesure en ambiance | 1 mesure en ambiance | | | 0 | 1 échantillon moyen | 0 | 1 transplant |
| Zone Ancienne exploitation | 1 point | 0 | 3 mesures en ambiance | 1 mesures en ambiance | | | 1 échantillon moyen | 2 échantillons moyens | 0 | 0 |
| Zone ambiance générale du site | 0 | 0 | 2 agents polyvalents 3 mesures en ambiance | 1 agent polyvalent 3 mesures en ambiance | | | 2 échantillons moyens | 0 | 2 transplants 2 stations sur site | 2 stations sur site 2 transplants |
| Zone envir. amont | | | | | 2 mesures ² | 1 mesure ² | | | | |
| Zone envir. riverains | | | | | 6 mesures ² | 5 mesures ² | | | | |

² Mesures auxquelles il faut ajouter les nombreuses mesures partielles faites par chromatographie portable (voir Annexe b- 5)

B. Méthodologie des études de métrologie des composés chimiques et des microorganismes dans l'air

La méthodologie retenue pour la métrologie en vue de mesurer les niveaux des polluants issus de l'activité dans l'ambiance de travail des salariés et dans l'environnement des populations les plus proches des sites comprend trois étapes :

- Identification et dosage exhaustif des polluants à la source (émissions) : étape n°1,
- Sélection et suivi des principales familles de polluants dans l'ambiance du site ainsi qu'aux postes de travail des salariés des sites : étape n°2,
- Sélection et suivi des principaux polluants et/ou traceurs dans l'environnement des riverains du site : étape n°3.

1. Mesures à la source : étape 1

Un dosage exhaustif des polluants chimiques et des microorganismes aéroportés à l'émission a été réalisé au niveau des différentes sources potentielles (réseau de captage du biogaz, torchère, station de traitement des lixiviats, émissions surfaciques...). Une campagne de prélèvements a permis de réaliser :

- Un balayage de l'ensemble des composés organiques volatils (COV),
- Un dosage des polluants minéraux potentiellement présents (NH₃, SO₂, NO, NO₂, métaux lourds gazeux...),
- Un dosage qualitatif et quantitatif des poussières (taux de particules, amiante, métaux particulaires...).

En parallèle, des prélèvements de sol ont été effectués sur les sols constituant la couverture du site. Ceux-ci sont intéressants en terme d'indicateurs de pollution émise dans l'air car ils peuvent avoir été le siège de migrations verticales de polluants volatils et avoir absorbé une partie de ceux-ci. Cinq sols ont été prélevés sur chaque site, correspondant à cinq échantillons moyens par "zone" du site.

De plus, des prélèvements d'air ont été effectués afin de mesurer les microorganismes aéroportés pouvant être présents sur les sites.

1.1. Présentation des campagnes de prélèvements

(1) Conditions météorologiques

Tableau 3 : Conditions météorologiques relevées lors des campagnes de mesures à la source

| | Site 1 | Site 2 |
|---|-----------------------|---------------------------------|
| Date d'intervention | 15 – 17 juillet 1998 | 20- 24 juillet 1998 |
| Température | 25° - 30°C | 25° - 30°C |
| Vitesses moyennes du vent (moyennées sur 10 minutes) | 0 à 1 m/s | 1 à 2 m/s |
| Sens du vent | En provenance du Nord | En provenance du Sud-Sud Est |

(2) Lieux et modes de prélèvements

Les lieux et modes de prélèvements pour les gaz et les sols sont présentés dans les tableaux ci-dessous (SITE 1 : Tableau 4, Tableau 5, Tableau 6 ; SITE 2 : Tableau 7, Tableau 8, Tableau 9). Par ailleurs, la situation géographique de chacun des points est indiquée sur les plans des sites présentés précédemment (voir aussi Annexe A - 2).

Tableau 4 : Intitulés des points de prélèvements à la source Site 1

| Points de prélèvement | Intitulés |
|-----------------------|----------------------------------|
| G0 | Mélange biogaz (arrivé torchère) |
| G1 | Biogaz n° 1 (arrivée torchère) |
| G2 | Biogaz n° 2 (arrivée torchère) |
| G3 | Biogaz n° 3 (arrivée torchère) |
| G4 | Torchère |
| G5 | Réseau Sydom |
| G6 | Zone humide |
| G6' | Collecteur vieux lixiviats |
| G7-G8 | Fissures A-A''-B |
| G7 | Fissures zone A |
| G8 | Fissure zone B |
| G8' | Fissures zone A'' |
| G9 | Bâche OM |
| G10 | Ambiance OM |
| G11 | DRAIN VERTICAL ALVEOLE A |
| G12 | Drain vertical alvéole A' |

Tableau 5 : lieux et modes de prélèvements à la source Site 1

| Points | Lieu et mode de prélèvement |
|------------|--|
| G0 | Dans le drain au niveau du mélangeur des lignes 1, 2 et 3 |
| G1 | Dans le drain (ligne 1) |
| G2 | Dans le drain (ligne 2) |
| G3 | Dans le drain (ligne 3) |
| G4 | En sortie de torchère |
| G5 | Dans la buse, à 50 cm sous le couvercle |
| G6 | Sous bâche posée sur une zone humide (suintement du lixiviat) de l'ancienne exploitation |
| G6' | Dans le collecteur de vieux lixiviats, sous le couvercle en béton de la buse |
| G7 | Sous bâche posée sur la fissure de la zone A (entre les regards de réglage R1 et R2) |
| G8 | Sous bâche posée sur un segment non bouché de la fissure de la zone B (face au regard de réglage R4) |
| G8' | Sous bâche posée sur un segment non bouché de la fissure de la zone A'' (face au regard de réglage R3) |
| G9 | Sous bâche posée sur des ordures ménagères datant de 3 à 4 jours |
| G10 | A environ 10 m au-dessus de la surface de l'alvéole C en cours d'exploitation (à partir du chemin situé sur la paroi de l'alvéole C) |
| G11 | Dans le drain vertical 6A en cours de réfection (alvéole A) |
| G12 | Dans le drain vertical 7A' en cours de réfection (alvéole A') |

NB : le point G7-G8 correspond à un regroupement des prélèvements effectués aux points G7 et G8 pour la réalisation de certaines analyses.

Tableau 6 :Caractéristiques des prélèvements de sols du Site 1

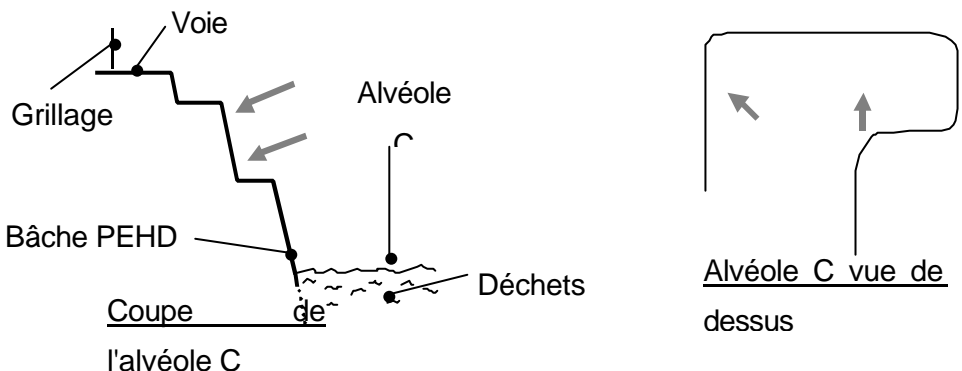
| Points | Caractéristiques |
|-----------|---|
| S1 | Surface de la couverture finale de l'alvéole A (voir plan) Sol dur : utilisation du pic pour réaliser les prélèvements. Beaucoup de cailloux. Six points de prélèvement ont servi pour la constitution d'un échantillon moyen. |
| S2 | Sol humide du talus (voir plan) Zone humidifiée par les lixiviats suintant du talus (couleur rouille) à proximité du drain vertical, (correspondant au point G5 pour le gaz) et de la zone bâchée pour le point G6. Prélèvement de sol sous la couche de végétation en décomposition. Présence d'une odeur importante. |
| S3 | Surface de la couverture provisoire alvéole A"-B (voir plan) Sol dur : utilisation du pic pour réaliser les prélèvements. Beaucoup de cailloux. Végétation clairsemée. Pas d'odeur importante. Neuf points de prélèvement ont servi pour la constitution d'un échantillon moyen. |
| S5 | Sol fissuré (alvéole B) (voir plan) Prélèvement de sol dans la fissure en bordure du chemin d'accès, le long de l'alvéole B, situé face au regard de réglage R4. Présence d'une odeur importante. |
| S6 | Sol digue alvéole C Prélèvement de sol sur la digue sud – sud-est de l'alvéole C. Quatre points de prélèvement, indiqués par des flèches (deux à chaque niveau) ont servi pour la constitution d'un échantillon moyen.  |

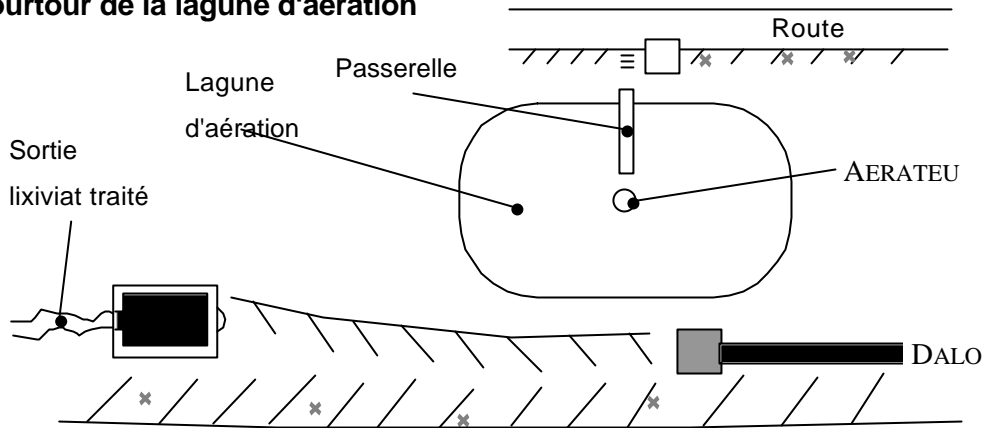
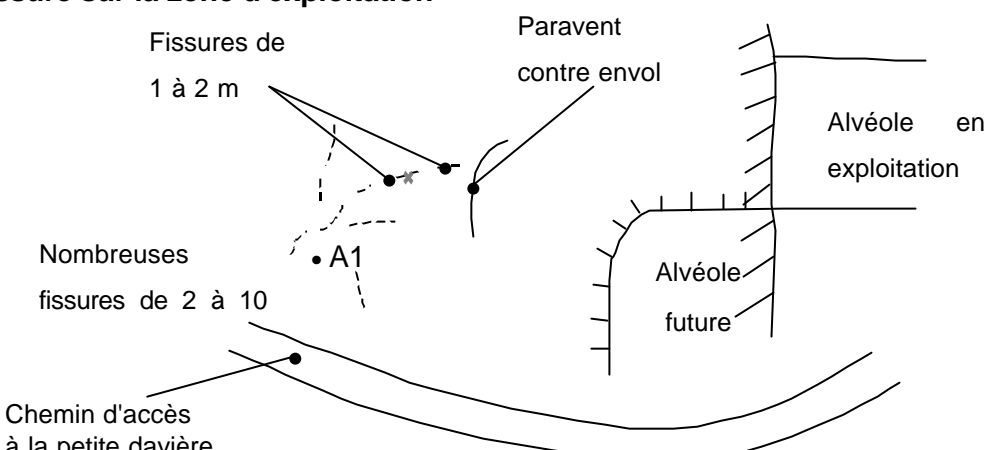
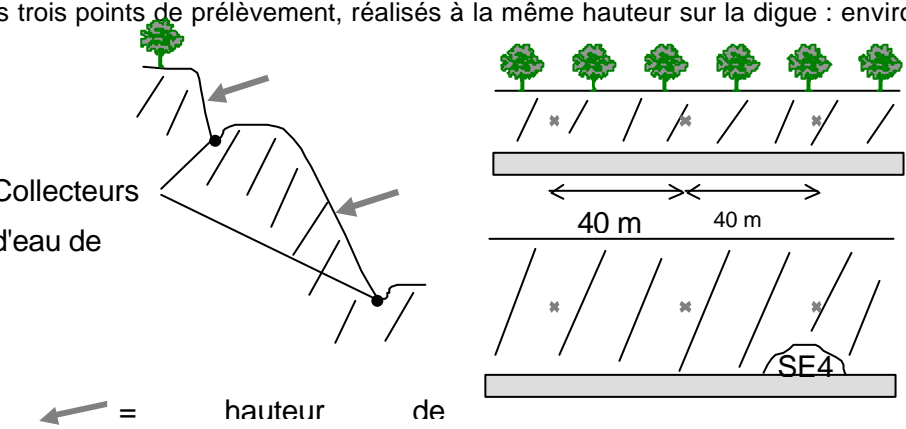
Tableau 7 : Intitulés des points de prélèvements à la source Site 2

| Points de prélèvement | Intitulés |
|-----------------------|------------------------------------|
| G0 | Mélange biogaz |
| G1 | Sortie torchère |
| G2 | Torchère petite Valt |
| G3 | Torchère BSDV |
| G4 | Bâche OM |
| G5 | Ambiance OM |
| G6 | Dallot amont |
| G8 | Surface "fissure" Allus |
| G10 | Station d'oxygénation |
| G11 | Station lagune aérée |
| G12 | Station dénox-anox |
| G13 | Biogaz petite Valt |
| G14 | Biogaz BSDV |
| G15 | Puits Allus |
| G16 | Biogaz zone réhabilitée |
| G17 | Biogaz zone tampon |
| G18 | Biogaz zone d'exploitation |
| G19 | Boue sortie décanteur |
| G20 | Arrivée aval lixiviats |
| G21 | Biogaz fissure zone d'exploitation |

Tableau 8 : Lieux et modes de prélèvements à la source Site 2.

| Points | Lieu et mode de prélèvement |
|--------|--|
| G0 | Dans la nourrice des quatre torchères (mélange des trois lignes de captage des gaz : zone tampon, zone réhabilitée, zone en exploitation) |
| G1 | En sortie d'une des quatre torchères "Valt" (première torchère en entrant dans l'espace clos) |
| G2 | En sortie de la torchère "petite Valt" |
| G3 | En sortie de la torchère "BSDV" |
| G4 | Sous bâche posée sur les ordures ménagères fraîches |
| G5 | Air ambiant à proximité des ordures ménagères fraîches |
| G6 | A l'intérieur, côté amont |
| G8 | Sous bâche posée sur une zone dépourvue de végétation (schiste) située entre le fossé d'écoulement entourant la zone réhabilitée et le chemin d'accès à la station d'épuration, à proximité du puits d'Allus |
| G10 | Station d'oxygénation : à la surface des lixiviats |
| G11 | Lagune aérée ; mesure depuis la passerelle à la surface du lixiviat |
| G12 | Station dénox-anox : à la surface des lixiviats |
| G13 | Biogaz dans le drain avant l'arrivée à la torchère "petite Valt" |
| G14 | Biogaz dans le drain avant l'arrivée à la torchère "BSDV" |
| G15 | A l'intérieur du puits d'Allus |
| G16 | Dans le drain provenant de la zone réhabilitée, avant la nourrice |
| G17 | Dans le drain provenant de la zone tampon, avant la nourrice |
| G18 | Dans le drain provenant de la zone en exploitation, avant la nourrice |
| G19 | En surface de la boue en sortie du décanteur |
| G20 | A l'arrivée des lixiviats au pied de la digue aval |
| G21 | Dans la fissure de la couverture sur la zone d'exploitation à proximité du drain vertical A7. |

Tableau 9 : Caractéristiques des échantillons de sols pour le Site 2.

| Points | Caractéristiques |
|--------|---|
| SE1 | <p>Pourtour de la lagune d'aération</p>  <p>Route</p> <p>Lagune d'aération</p> <p>Passerelle</p> <p>Sortie lixiviat traité</p> <p>AERATEUR</p> <p>DALO</p> |
| SE2 | <p>Fissure sur la zone d'exploitation</p>  <p>Fissures de 1 à 2 m</p> <p>Paravent contre envol</p> <p>Alvéole en exploitation</p> <p>Alvéole future</p> <p>Nombreuses fissures de 2 à 10</p> <p>• A1</p> <p>Chemin d'accès à la petite davière</p> |
| SE3 | <p>Couverture de la zone d'exploitation</p> <p>Dix points de prélèvement répartis sur l'ensemble de la zone d'exploitation. Pas d'odeur forte.</p> |
| SE5 | <p>Digue aval</p> <p>Prélèvement en six points sur la digue aval sur deux hauteurs. Distance entre chacun des trois points de prélèvement, réalisés à la même hauteur sur la digue : environ 40 m.</p>  <p>Collecteurs d'eau de</p> <p>40 m</p> <p>40 m</p> <p>SE4</p> <p>← = hauteur de</p> |
| SE4 | <p>Digue aval (suintement de lixiviat) (voir schéma SE5)</p> <p>SE4 : sol de la digue imprégné de lixiviat :</p> <ul style="list-style-type: none"> - terre couleur rouille, - absence de végétation, - présence de lixiviat (écoulement), - odeurs. |

1.2. Analyse des composés chimiques dans l'air et les sols

➤ Air

Les analyses ont été réalisées par le laboratoire Europoll.

- COV (Composés Organiques Volatils) : dosage par GC/MS et GC/FID,
- Composés soufrés : GC/FPD et analyse spécifique H₂S et RSH,
- CH₄, CO₂, CO, N₂, H₂ : dosage par GC/microcatharométrie,
- Poussières (poussières totales, métaux particuliers et amiante) : prélèvement sur filtre (0,7 µ) par aspiration et analyses au laboratoire,
- Métaux gazeux : prélèvement par barbotage des gaz dans une solution adaptée et analyse au laboratoire,
- Polluants inorganiques gazeux (SO₂, NO₂, NO_x, NH₃) : méthodes spécifiques.

➤ Sols

- Métaux lourds et éléments minéraux principaux : attaque acide puis dosage par ICP,
- Composés organiques : extraction par solvants adéquats puis identification et quantification des polluants par GC/MS et GC/FID.

La liste détaillée des méthodes d'analyse utilisées et des seuils de détection analytiques figurent en Annexe A-3.

1.3. Microorganismes aéroportés recherchés

(1) Techniques de mesure

Les prélèvements d'air ont été effectués en juillet 1998 par impacteur Andersen à 1 étage (Andersen, 1958) permettant un dénombrement et une identification des espèces détectées.

7 milieux de culture ont été utilisés :

- -Trypticase - Soja (tous germes)
- -Chapman (staphylocoques)
- -Drigalski (bactéries à Gram négatif)
- -Malt Agar (flore fongique)
- -Rose Bengale (flore fongique)
- -Malt Agar 42°C (Aspergillus)
- -Trypticase - Soja 52°C (actinomycètes thermophiles).

Le nombre de colonies est rapporté au volume prélevé (débit de 28,3 litres/mn) et les résultats sont exprimés en CFU/m³ (colony forming unit ou unités formant colonie par m³).

Dans les conduits avec vitesse d'air supérieure à 0,5 m/s, des buses de prélèvement isocinétique ont été adaptées à l'impacteur.

Toutes les boîtes de culture ci-dessus ont été mises à l'étuve pour incubation pendant 5 à 8 jours (jusqu'à 3 semaines si la culture était négative). Après incubation, les colonies ont été dénombrées et identifiées.

(2) Prélèvements à la source

Les mesures ont été effectuées au niveau de points *a priori* susceptibles d'émettre des microorganismes en grande quantités (voir implantation précise sur les cartes figurant en Annexe 4).

- alvéoles en cours d'exploitation (prélèvements effectués sous bâche de façon à concentrer les particules émises)
- anciennes alvéoles (sous bâche)
- zones où des lixiviats apparaissent en surface (sous bâche)
- fissures émettant des odeurs de biogaz (sous bâche)
- puits de drainage des biogaz (buse face au flux)
- conduits de biogaz (prélèvement hermétique buse face au flux)
- station d'épuration (prélèvements en ambiance à proximité des bassins)

Un point de mesure supplémentaire a été effectué au niveau du sol pour qualifier l'émission liée au terrain lui même (sans mesure de concentration).

Pour chaque lieu de mesure, les prélèvements ont été répétés 3 fois pour 5 milieux de culture (2 échantillons de 30 secondes et 1 de 2 minutes) ; pour 2 milieux (Chapman et Rose Bengale) un seul échantillon de 30 secondes a été prélevé.

On dispose donc au total de 17 échantillons analysés pour chaque lieu.

2. Mesures dans l'ambiance du site et aux postes de travail : étape 2

2.1. Sélection des paramètres

A l'issue de la phase de mesure des émissions à la source, une sélection des familles de polluants chimiques à suivre dans l'ambiance du site et aux postes de travail a été établie.

Les polluants chimiques analysés dans les étapes ultérieures ont été sélectionnés en prenant en compte :

- **la concentration des composés chimiques dans les émissions (sources),**
- **la toxicité intrinsèque des produits ou leur caractère fortement odorant**
- **et les activités de travail à chaque poste.**

Les critères toxicologiques que nous avons retenus pour justifier notre sélection sont présentés dans le Tableau 10.

Tableau 10 : Justification de la sélection des familles de polluants pour la campagne d'analyses "ambiance et postes de travail "

| Polluants | Polluants détectés dans les émissions (sources) | Polluants retenus pour les mesures en ambiance générale et aux postes de travail | Justification |
|---|---|--|--|
| Hydrocarbures Totaux | + | - | Pas de toxicité sous cette forme |
| Hydrocarbures Aromatiques monocycliques (BTX,...) | + | + | Cancérogénicité du benzène Toxicité neurologique des autres |
| Cétones et aldéhydes | + | + | Cancérogénicité du formaldéhyde Irritants Toxicité neurologique |
| HAP | +(légers) | +(particulaires) | Traceurs d'émissions Diesel Cancérogénicité de certains HAP |
| Halogénés HC cycliques Alcools Oxygénés HC aliphatiques | + + + + + | +(Chlorés) + + + - | Cancérogénicité possible des tri et tétra chloréthylène Toxicité essentiellement neurologique |
| Soufrés (composés organiques) | + | +(RSH) | Irritants Odeurs |
| Acides organiques | + | + | Irritants |
| Phtalates | + | + | Suspect de cancérogénicité |
| Azotés | + | - | acide cyanhydrique à la limite du seuil de détection à l'émission |
| H ₂ S | + | + | Toxicité aiguë Odeurs |
| NH ₃ | + | + | Irritant |
| NO ₂ , NO _x , SO _x | + | +(mesure en ambiance alvéole) | Toxicité chronique respiratoire |
| Acides minéraux (HCL, HF) | +(torchères) | + | Irritants |

Tableau 10 : Justification de la sélection des familles de polluants pour la campagne d'analyses "ambiance et postes de travail"

| Polluants | Polluants détectés dans les émissions (sources) | Polluants retenus pour les mesures en ambiance et aux postes de travail | Justification |
|---|--|---|--|
| Métaux: - Arsenic - Plomb - Manganèse - Cadmium - Nickel - Chrome - Aluminium - Antimoine - Baryum - Cobalt - Cuivre - Etain - Fer - Mercure - Molybdène - Sélénium - Vanadium - Zinc | Particulaires gazeux + + + + + + + + + + + + + + + + | et Particulaires + + + + + - - - - - - - - - - | Toxicité systémique (dont neurotoxicité), + Concentration importante pour le Mn Cancérogénicité du Cd, du Cr, et du Ni. Ba et Sb inf. au seuil Hg à la limite de détection dans les sources. |
| Amiante | + | + (site 2) | Cancérogène |
| Poussières | + (Ø0,7µ) | + poussières alvéolaires 0,5 < Ø < 5 µ poussières totales (0,5 < Ø < 20µ) | Poussières inhalables (concentration très faible ou non détectable à la source des particules de Ø < 5µ) |

En résumé, les polluants de la phase particulaire et de la phase gazeuse qui ont été sélectionnés pour une mesure en ambiance générale et aux postes de travail sont :

- phase particulaire :
 - les particules inhalables, ou poussières totales (diamètre < 20 µm)
 - les particules alvéolaires (diamètre < 5 µm)
 - les métaux : plomb, arsenic, chrome, nickel, cadmium, manganèse.

- les hydrocarbures aromatiques polycycliques. fluoranthène, pyrène, chrysène, benzo(a)anthracène, benzo(b)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène, benzo(a)pyrène, dibenzo(a,h)anthracène, benzo(g,h,i)pérylène.
- phase gazeuse :
 - les composés halogénés,
 - les aromatiques monocycliques,
 - les acides organiques³
 - les phtalates⁶
 - les mercaptans⁶.
 - les alcools³ et phénols⁶
 - les aldéhydes et cétones.
 - les acides minéraux⁶ : Cl⁻, F⁻, SO₄²⁻, NO₂⁻, NO₃⁻, PO₄³⁻
 - les gaz minéraux toxiques⁶ : H₂S, CO, CO₂, NH₃, O₃

De même une sélection des microorganismes aéroportés présents sur le site a été faite à l'issue de la phase de mesures des émissions à la source. Cela nous a conduit à retenir les 6 milieux de culture suivants pour les mesures en ambiance et aux postes de travail :

- Trypticase - Soja (tous germes)
- Drigalski (bactéries à Gram négatif)
- Malt Agar (flore fongique)
- Rose Bengale (flore fongique)
- Malt Agar 42°C (*Aspergillus*)
- Trypticase - Soja 52°C (actinomycètes thermophiles).

2.2. Présentation des postes de travail des CET étudiés

Les visites préalables des sites organisées avec les responsables ayant permis de définir les postes à risque potentiel, le projet et son déroulement ont été présentés en détail avant l'intervention lors de réunions préparatoires, en présence du médecin du travail du site.

Chaque salarié a ainsi été individuellement informé des conditions dans lesquelles il allait intervenir dans l'étude.

L'ensemble des sujets travaillant sur la décharge a participé à l'étude, afin de permettre d'étudier l'activité sur tous les postes (Tableau 11).

³ Seulement aux postes de travail

Des prélèvements individuels représentatifs de l'exposition dans chacun des postes de travail définies lors de l'enquête préalable (conducteurs d'engins, station d'épuration,...) sont réalisés à l'aide d'une pompe portative autonome, la prise d'air se faisant au niveau des voies respiratoires, ceci afin de prendre en compte les expositions du salarié lors de toutes ces tâches. Ces prélèvements individuels ont été remplacés par des prélèvements à poste fixe, lorsque le sujet était à un poste de travail fixe ou lorsque certains prélèvements ne pouvaient être faits par pompe individuelle. Dans ce cas, la pompe fixe était placée au plus près du salarié.

Tableau 11 :Caractéristiques des postes de travail des 2 sites étudiés

| | Site 1 | Site 2 |
|--|---|--|
| Réception des ordures ménagères | Le salarié est placé dans une cabine d'où il assure la pesée et l'enregistrement des apports d'OM | |
| Conducteurs d'engins alvéole | 3 conducteurs d'engins | 4 conducteurs d'engins |
| | Intervenant sur l'alvéole en cours d'exploitation pour l'égalisation de la surface des déchets par étalement à l'aide <ul style="list-style-type: none"> . d'une chargeuse à chenille . d'une chargeuse sur pneumatique et écrasement par aller-retours successifs avec <ul style="list-style-type: none"> . un compacteur à godets . un compacteur à pied de mouton. | |
| | | 3 conducteurs BTP intervenant avec 2 engins : <ul style="list-style-type: none"> . une pelleteuse . un dumper pour prélever de la terre à distance puis la déverser à la surface des OM pour les recouvrir afin de limiter la diffusion des papiers, plastiques et des émissions |
| Vérificateur | | 1 agent assure un contrôle des déchets (au vidage) par vérification visuelle de leur appartenance à la catégorie de déchets admis sur le site |
| Polyvalents | 2 agents assurent l'ensemble des tâches d'entretien (surveillance du réseau de biogaz, lixiviats, envois de papiers, peinture) | 1 agent |
| Lixiviats | 1 salarié assure le pompage avec un camion citerne des lixiviats présents à partir d'une citerne de stockage tampon de 80 m ³ et les transporte par camion à la station d'épuration. | 2 salariés assurent le contrôle du fonctionnement de la station d'épuration (lagunage, nitrification et dénitrification, précipitation de la matière organique résiduelle par ozonisation) |
| Torchère | 2 torchères assurent le brûlage du biogaz à raison de 1000 m ³ /h | 6 torchères |

2.3. Choix des postes de travail d'entreprises témoins

Suite aux mesures d'ambiance effectuées aux postes de travail, il a été décidé en cours d'étude et en accord avec l'ADEME et le comité de pilotage du programme, d'effectuer des mesurages dans l'ambiance de deux sites témoins, afin de pouvoir interpréter au mieux les résultats. Les sites retenus correspondent à deux des quatre entreprises qui avaient été sélectionnées pour le choix des agents « non exposés ». Parmi les activités commerciales

ou industrielles existant dans les deux zones géographiques sur lesquels sont implantés les CET, ont été choisies des entreprises dont l'activité n'est pas susceptible d'exposer les salariés aux polluants susceptibles d'exister sur les CET. Après accord du médecin du travail, et du chef d'entreprise, 3 postes caractéristiques de chaque site ont été sélectionnés.

Tableau 12 : Caractéristiques des postes de travail des deux sites témoins

| | |
|----------------------|--------------------------------------|
| Site 1 : Hypermarché | Site 2 : Bureaux services techniques |
| Boucherie | Bureau dessin |
| Réserve | Bureau atelier |
| Accueil | Bureau agent technique |

2.4. Les campagnes de prélèvement pour les composés chimiques

(1) Aux postes de travail

Sur le site 1, l'ensemble des toxiques identifiés et retenus ont été mesurés pour tous les salariés exposés. La stratégie a été réorientée partiellement sur le site 2, de façon à privilégier l'étude des postes les plus exposés.

Deux types de prélèvements ont été réalisés : prélèvements portatifs individuels pour les salariés et prélèvements d'ambiance pour les zones de travail caractéristiques. Les mesures atmosphériques individuelles, comme les prélèvements d'ambiance sont réalisés sur une fraction représentative de l'activité journalière (>7h).

Chaque salarié a porté deux pompes fixées à la ceinture, reliées aux supports de piégeage qui sont placés au voisinage des voies respiratoires. Pour les chauffeurs, les prélèvements ont été réalisés à l'intérieur de la cabine des engins. Le débit de chaque pompe a été réglé en début de prélèvement et vérifié en fin de prélèvement. Aucun prélèvement n'accusant une variation de débit entre le début et la fin du prélèvement supérieure à 5 % (variation de débit tolérée), tous les prélèvements ont été analysés.

Pour chaque sujet, un questionnaire concernant les activités du jour et les différents incidents survenus a été rempli. Nous avons demandé aux agents de ne pas fumer pendant toute la durée des prélèvements.

Afin d'apporter des éléments d'interprétation des résultats obtenus pour le site 1 (part attribuable des émissions d'ordures ménagères ou des émissions diesel dans les niveaux d'exposition des salariés intervenant sur l'alvéole) des prélèvements complémentaires ont été réalisés sur le site 2 :

- Prélèvements de longue durée sur l'alvéole de jour comparés à des prélèvements d'ambiance de longue durée sur l'alvéole de nuit, pendant toute la phase où aucun engin ne circule sur l'alvéole.
- Prélèvements individuels réalisés sur un groupe de conducteurs d'engins exposés aux ordures ménagères pendant 100 % de leur temps de travail comparés à ceux d'un groupe de conducteurs d'engins exposés aux ordures ménagères pendant 50 % de leur temps de travail et aux émissions diesel uniquement (terrassment) le reste du temps.

En outre, afin d'améliorer la représentativité des résultats, des groupes homogènes d'exposition ont été constitués pour les conducteurs d'engins.

Durant la même période d'étude, des prélèvements en ambiance ont été effectués avec le même type de pompes posées sur des points fixes dans différentes zones caractéristiques des ambiances de travail toujours à hauteur des voies respiratoires.

Les points de prélèvement d'ambiance aux postes de travail sont présentés dans le Tableau 13.

Tableau 13 : Prélèvements de composés chimiques réalisés aux postes de travail : salariés exposés

| site 1 | site 2 |
|--|---|
| <p>Alvéole 3 conducteurs d'engins intervenant sur l'alvéole 1 site alvéole</p> <p>Zone lixiviats 1 agent lixiviats intervenant dans la zone de pompage des lixiviats et en assurant le transport 1 site lixiviats</p> <p>Torchère 1 site torchère</p> <p>Dans le site 2 agents polyvalents entretien du site et maintenance des installations (lixiviats, peinture, envois de papiers) 1 site talus</p> <p>Entrée du site 1 agent réception</p> | <p>Alvéole 3 conducteurs d'engins 2 conducteurs BTP 1 vérificateur 1 site alvéole (comparaison jour / nuit)</p> <p>Station épuration 1 point intérieur station</p> <p>Torchère 1 site torchère</p> <p>Dans le site 1 agent polyvalent : entretien du site et maintenance des installations (lixiviats, envois de papiers) 1 point au-dessus de la voie d'accès</p> <p>Entrée du site 1 agent réception</p> |

(2) En ambiance générale

Suite aux mesures d'ambiance effectuées aux postes de travail, il a été décidé en cours d'étude et en accord avec l'ADEME et le comité de pilotage du programme, d'effectuer des mesures d'ambiance en des points complémentaires choisis indépendamment des postes de travail. Ces mesures supplémentaires qui avaient pour but d'améliorer la connaissance de l'ambiance générale des sites, sont récapitulées dans le Tableau 14). Leur positionnement exact figure en Annexe A-4.

Tableau 14: Prélèvements d'ambiance complémentaires

| Site 1 | Site 2 |
|---|--|
| - 1 mesure d'ambiance sur l'alvéole C terminée à 250 m de l'alvéole en cours d'exploitation | - 1 mesure d'ambiance au niveau de la digue aval du site située à 500 m de l'alvéole en cours d'exploitation |
| - 1 mesure d'ambiance sur l'alvéole B terminée située à 70 m de l'alvéole en cours d'exploitation | - 1 mesure sur la zone réhabilitée du site (alvéole fermée) située à 80 m de l'alvéole en cours d'exploitation |
| - 1 mesure d'ambiance sur l'alvéole A' terminée située à 5 m de l'alvéole en cours d'exploitation | - 1 mesure sur la route qui surplombe de l'alvéole en cours d'exploitation (distance = 10 m) |

(3) Dans l'ambiance de travail des salariés témoins

Les prélèvements d'ambiance pour les zones de travail caractéristiques ont été réalisés avec le même matériel et la même méthodologie que les prélèvements des deux CET.

2.5. Planning et conditions météorologiques

(1) Aux postes de travail

Les prélèvements ont été réalisés lors de deux campagnes : 4 journées consécutives, les 19, 20, 21 et 22 octobre 1998 (site 1) et de 3 journées consécutives, les 23, 24 et 25 mars 1999 (site 2).. Les plannings détaillés de prélèvements individuels et d'ambiance aux postes de travail sont joints en Annexe A-5 (site 1 et site 2).

Les conditions météorologiques fournies par les stations de Météo-France lors des ces 2 campagnes sont résumées dans le Tableau 15 et le Tableau 16.

Tableau 15 : Conditions météorologiques lors des prélèvements atmosphériques toxicologique et microbiologique sur le site 1.

| Date | Direction du vent | Vitesse du vent | Précipitations | Temps | T° min-max (°C) | Pression atmosph. (hPa) | HR |
|----------|-------------------|-----------------|----------------|------------|-----------------|-------------------------|-------|
| 19/10/98 | N | 2m/s | - | nuageux | 9.6 -15 | | 50-86 |
| 20/10/98 | N-NO | < 2m/s | - | ensoleillé | 6.8 -15.5 | | 47-92 |
| 21/10/98 | S | < 2m/s | - | ensoleillé | 1.2 - 18.2 | | 47-97 |
| 22/10/98 | S | < 2m/s | - | ensoleillé | 4.5 -18.9 | | 57-93 |

Tableau 16 : Conditions météorologiques lors des prélèvements atmosphériques toxicologique et microbiologique sur le site 2.

| Date | Direction du vent | Vitesse du vent | Précipitations | Temps | T° min-max (°C) | Pression atmosph. (hPa) | HR |
|----------------------|-------------------|------------------|----------------|---|-----------------|-------------------------|-------|
| 23/03/99 | NE | < 2 à 120 m/s | - | Doux -très nuageux - vent variable faible | 3 - 9 | 1019 | 50-86 |
| 24/03/99 | S | < 2 à 600 m/s | - | Doux - ensoleillé vent variable faible à modéré avec rafales | 2 - 20 | 1013 | 47-92 |
| 25/03/99 (...12h) | S-SO | < 2 à 800 m/s | - | Très nuageux à couvert. vent modéré avec rafales | 9-14 | 1005 | 47-97 |

(2) En ambiance générale

Les prélèvements complémentaires d'ambiance, réalisés suite à la décision du comité de pilotage, ont été réalisés du 27 au 28 janvier 2000 pour le site 1 et du 11 au 12 mai 2000 pour le site 2.

Les conditions météorologiques relevées lors des ces 2 campagnes complémentaires sont résumées dans le Tableau 17.

Tableau 17: Conditions météorologiques relevées lors des campagnes de mesures d'ambiance générale complémentaires

| | Site 1 | Site 2 |
|--|-----------------------|----------------------------------|
| Température | 0 – 7 °C | 12 – 25 °C |
| Vitesses moyennes du vent (moyennées sur 10 minutes) | 0 à 0.5 m/s | 2 à 3 m/s |
| Sens du vent | En provenance du Nord | En provenance du Sud / Sud - Est |

(3) En ambiance témoin

Ces prélèvements ont été réalisés pour chaque site à la même saison que les prélèvements des salariés « exposés » soit le 21 septembre 2000 pour le site 1 et le 30 mai 2000 pour le site 2.

Les conditions météorologiques relevées lors des ces 2 campagnes complémentaires sont résumées dans le Tableau 18.

Tableau 18: Conditions météorologiques relevées lors des campagne de mesures d'ambiance témoin sur les deux sites

| | | Direction du vent | Vitesse maximum du vent (m/s) | Précipitations (ml) | Temps | Température (°C) min-max |
|--------|----------|-------------------|-------------------------------|---------------------|------------|--------------------------|
| Site 1 | 21/09/00 | N | 300 | 0 | ensoleillé | 9,6-20 |
| Site 2 | 30/05/00 | N | 300 | 0 | ensoleillé | 7-21 |

2.6. Analyse des composés chimiques

(1) Pour les prélèvements aux postes de travail

Chacune des méthodes de prélèvement et d'analyse a été mise au point au laboratoire et/ou validée sur ses critères de précision (l'erreur de reproductibilité est toujours inférieure à 5 %), exactitude, spécificité. Ces méthodes (correspondent ou) sont adaptées des normes AFNOR Air des lieux de travail (Annexe A-6).

Les limites de détection pour 8 heures de prélèvement sont :

- pour les Composés organiques volatils (COV) polaires et apolaires de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$;
- pour les hydrocarbures chlorés de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$;
- pour les aldéhydes de $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$;
- pour les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) de $0.05 \cdot 10^{-3} \mu\text{g}/\text{m}^3$;
- pour le cadmium de $0.8 \cdot 10^{-3} \mu\text{g}/\text{m}^3$;
- pour le chrome, le plomb, l'arsenic, le nickel et le manganèse de $30 \cdot 10^{-3} \mu\text{g}/\text{m}^3$;
- pour le mercure de $0.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$;
- pour les poussières totales et alvéolaires de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

(2) Pour les mesures de l'ambiance générale du site

Les mêmes techniques que celles présentées précédemment ont été utilisées, à l'exception des COV pour lesquels des prélèvements sur cartouches de charbon actif, avec dosage au laboratoire par GC-MS, a été réalisé en raison de son plus faible seuil de détection. Dans ce cas, le protocole utilisé est le même que celui décrit pour le dosage des COV aux sources (dosage EUROPOLL).

Une comparaison des méthodes analytiques utilisées pour le dosage des sources, dans l'ambiance et aux postes de travail figure en Annexe A-7.

(3) Pour les mesures des ambiances témoins

Les mêmes techniques que celles présentées pour les mesurages aux postes de travail ont été utilisées.

2.7. Analyse des résultats.

Les résultats sont présentés sous forme de graphiques, polluant par polluant pour chaque site. Les différents points représentés correspondent aux valeurs retrouvées pour chaque prélèvement effectué.

Pour les HAP et les aldéhydes, un diagramme représentant la répartition en pourcentage de chaque composant est réalisé.

Dans un premier temps, les résultats des prélèvements des conducteurs d'engins travaillant sur les alvéoles sont comparés pour chaque site. Dans un deuxième temps, les résultats des prélèvements des conducteurs d'engins de l'alvéole du site 2 sont comparés aux résultats des prélèvements des conducteurs d'engins BTP. A cette fin et pour savoir s'il existe une différence significative entre les résultats observés, un test non paramétrique de Mann-Whitney est utilisé pour la comparaison de chacun des deux groupes.

2.8. Les microorganismes aéroportés

(1) Techniques de mesure

Les prélèvements d'air ont été effectués par impacteur Andersen 1 étage permettant un dénombrement et une identification des espèces détectées.

Le nombre de colonies a été rapporté au volume prélevé (débit de 28,3 litres/mn) et les résultats ont été exprimés en CFU/m³ (colony forming unit ou unités formant colonie par m³). Toutes les boîtes de culture ci-dessus ont été mises à l'étuve pour incubation pendant 5 à 8 jours (jusqu'à 3 semaines si la culture est négative). Après incubation, les colonies ont été dénombrées et identifiées.

(2) Nombre de prélèvements

Les mesures ont été effectuées au niveau des différentes zones suivantes :

- site 1 :
 - Alvéole en exploitation : 2 points (un au centre, l'autre plus en périphérie) x 3 séries (J1 matin et après-midi, J2 matin)
 - Bureau réception : x 2 séries (J1 matin et après midi)
 - Lixiviats : x 2 séries (J1 matin et après midi)
 - Alvéole A
 - Terrain
 - Témoin extérieur au vent x 3 séries (J1 matin et après-midi, J2 matin)

Pour les 3 derniers points, 2 milieux de culture ont été utilisés : Trypticase-Soja et Malt-Agar. Pour chaque milieu de culture, les prélèvements ont été répétés 2 fois (un échantillon de 30 secondes et un de 2 minutes).

De plus, des prélèvements pour recherche d'endotoxines ont été effectués au niveau de l'alvéole en exploitation : 2 prélèvements J1 et J2

➤ **site 2 :**

- Alvéole en exploitation : 2 points (un au centre, l'autre en périphérie et au vent) x 4 séries (2 le matin et 2 l'après-midi)
- Biogaz : mesure dans l'air extérieur à proximité d'un effluent de biogaz x 4 séries
- Bureau réception : x 4 séries
- Station d'épuration : 1 point au vent et un point sous le vent par rapport à la lagune
- Terrain
- Témoin extérieur au vent x 4 séries (matin et après-midi)

Pour les 2 derniers points, 3 milieux de culture ont été utilisés : Trypticase-Soja, Malt-Agar 30°C et et Malt-Agar 42°C.

Pour cette campagne et au vu des résultats sur le site 1, les durées d'échantillonnage ont été de 30 secondes sur les milieux de culture non spécifiques (pour flore bactérienne totale et fongique à 30°C) et de 2 minutes sur les milieux plus spécifiques rarement envahis (pour bactéries à Gram négatif, actinomycètes thermophiles et *Aspergillus*).

Des prélèvements pour recherche d'endotoxines ont été effectués au niveau de l'alvéole en exploitation et de la STEP (2 prélèvements à chaque point).

3. Mesures dans l'environnement en amont et à proximité des riverains en aval des sites : étape 3

A l'issue des phases de mesure à la source et en ambiance, un certain nombre de paramètres ont été retenus pour être suivis dans l'environnement en amont et au niveau des premières habitations (voir positionnement en Annexe A-4).

Ces prélèvements ont été effectués après détection du mouvement de la lentille de biogaz qui se forme dans certaines conditions météorologiques et qui peut conduire, durant certaines périodes bien précises, à des émissions d'odeurs sensibles à l'extérieur du site.

La création d'une lentille à partir du site de la décharge nécessite la conjugaison de deux phénomènes fluctuants :

- un vent faible (<3 m/s),

- une structure thermique de l'atmosphère particulière. En situation normale de diffusion, la température diminue avec l'altitude, la structure thermique de l'atmosphère ne freine pas la diffusion des polluants. Parfois, à partir d'une certaine hauteur, la température peut augmenter avec l'altitude : on parle d'inversion thermique. Une couche d'air chaud se trouve ainsi au-dessus d'une couche d'air plus froid et bloque la diffusion normale des polluants. Ce phénomène se rencontre principalement en début de matinée, suite à une nuit dégagée et sans vent, ainsi qu'en hiver lors de conditions anticycloniques.

3.1. Stratégie de prélèvements

Pour effectuer des mesures à l'extérieur du site lors de la formation de cette lentille, nous avons établi la méthodologie suivante :

- Repérage de la topographie de l'environnement proche du site et des chemins d'accès existants.
- Choix d'une période avec atmosphère stable (vent faible et faible gradient thermique) grâce aux informations recueillies auprès des stations locales de Météo France. Ce choix peut-être effectué en utilisant la méthode des classes de PASQUILL présentées en Annexe A-8.
- Mesure *in situ* des principales conditions météorologiques : vent (vitesse et sens) et température et vérification des conditions atmosphériques adéquates.
- Implantation et mesure en direct à l'aide d'un chromatographe portable de type MTI pour un certain nombre de paramètres (paramètres traceurs). L'objectif, avec le chromatographe portable, est de détecter en temps réel les polluants traceurs identifiés suite à l'étude des sources au niveau des différents points de mesure situés en aval du site de manière à positionner, dans le temps et dans l'espace, les prélèvements définitifs. Cette méthode tout à fait originale a été développée dans le cadre de ce programme.
- En complément, un prélèvement passif sur cartouche (COV) a été réalisé sur 15 jours ainsi que des prélèvements brefs répétés au cours de la campagne (COV + poussières) (Annexe A-9).

3.2. Prélèvements définitifs :

- pour le dosage des COV :

Prélèvement sur cartouche de charbon. Un certain nombre de points caractérisés par le chromatographe portable sont sélectionnés en fonction des niveaux de concentration détectés précédemment pour les polluants traceurs. Les prélèvements sont réalisés à l'aide d'une mini-pompe portable et autonome. Le dosage des polluants est ensuite effectué au laboratoire par GC/MS et GC/FID.

- Pour les autres polluants retenus, **les méthodes utilisées pour les mesures en ambiance ont été mises en œuvre.**

- pour les microorganismes :

Prélèvement d'air par impacteur Andersen 1 étage permettant un dénombrement et une identification des espèces détectées sur 3 milieux de culture, Trypticase - Soja (tous germes), Drigalski (bactéries à Gram négatif), Malt Agar 42°C (*Aspergillus*).

Cette approche conduit à connaître les niveaux d'exposition aérienne observés dans les situations les plus défavorables (heures les plus émissives des journées avec atmosphère stable). Ces niveaux ne correspondent toutefois pas aux pics extrêmes parfois détectés pendant quelques secondes lors des campagnes de mesure avec un chromatographe portable. Ils ne reflètent pas non plus la moyenne d'exposition (sur l'année ou la vie entière) compte tenu des variabilités observées.

C. Surveillance biologique des salariés

1. Prélèvements réalisés

Il s'agit du dosage du toxique ou de son métabolite dans les milieux biologiques des sujets, ce qui représente la dose interne absorbée quelle que soit la voie de pénétration. Les toxiques les plus caractéristiques ont fait l'objet d'une surveillance biologique.

« **Salariés exposés** » : Un échantillon urinaire des mictions de début et de fin de poste a été recueilli pour chacun des salariés présents le jour de l'intervention le même jour que le prélèvement atmosphérique individuel : Les échantillons de 8 salariés du site 1 et de 10 salariés du site 2 ont été analysés.

« **Salariés témoins** » : Un échantillon urinaire des mictions de début et de fin de poste a été recueilli pour chacun des salariés présents le jour de l'intervention pour analyses d'ambiance. Les échantillons de 14 salariés du site 1 et de 6 salariés du site 2 ont été analysés.

2. Analyses effectuées

Les analyses ont été exécutées simultanément pour les salariés « exposés » et « témoins » des deux sites après dépouillement de l'ensemble des résultats de la métrologie atmosphérique afin de sélectionner les indicateurs biologiques d'exposition les plus pertinents.

Les indicateurs retenus sont les suivants :

- produits minéraux : mercure inorganique (et organique) (intéressant car aucune métrologie atmosphérique individuelle ne peut être réalisée sur les salariés) arsenic, cadmium, chrome, nickel.
- . produits organiques : hydroxypyrene, métabolite du pyrène, traceur de l'exposition professionnelle aux HAP.

Les dosages ont été réalisés en référence à la créatinine urinaire - par spectrométrie d'absorption atomique électrothermique et correction Zeeman pour les dosages d'arsenic, cadmium, chrome, nickel - par spectrométrie d'absorption atomique sur vapeurs froides pour le mercure - par HPLC et détection de fluorescence après hydrolyse pour l'hydroxypyrene.

3. Analyse des données

La comparaison des résultats entre les salariés exposés et les salariés témoins, entre début et fin de poste de travail, et en fonction de l'activité et du statut tabagique a été réalisée par des tests non paramétriques sur séries appariées ou non appariées.

Le logiciel utilisé était SPSS version 9.0 pour Windows.

D. Etude des répercussions sur la santé de l'homme

L'étude destinée à rechercher l'existence de troubles de santé en excès chez les salariés des centres de stockage de déchets s'appuie sur une observation réalisée en parallèle chez les salariés des CET et chez des salariés non exposés aux polluants potentiels retrouvés sur les sites (étude de type transversal). Les données recueillies pour les deux groupes sont ensuite comparées.

1. Définition des deux populations étudiées

1.1. Population exposée :

Il s'agit de tous les salariés travaillant sur les deux sites, qui ont accepté de participer à l'étude.

1.2. Population non exposée :

Parmi les activités commerciales ou industrielles existant dans les deux zones géographiques sur lesquels sont implantés les CET, nous avons recherché des entreprises dont l'activité n'est pas susceptible d'exposer les salariés aux polluants qui pouvaient être présents sur les CET. Après accord du médecin du travail, et du chef d'entreprise, le médecin a sélectionné dans l'effectif de cette entreprise les salariés répondant aux critères d'appariement de sexe, d'âge (± 3 ans) et de catégorie socioprofessionnelle. Le médecin du travail a alors proposé l'étude aux salariés, qui restaient libres de participer.

Les investigations cliniques, para-cliniques ou biologiques du groupe « exposé » et du groupe « non exposé » se sont déroulées dans la mesure du possible à la même époque de l'année. Elles ont toutes été réalisées pour un même salarié sur une seule journée, et étaient les mêmes pour les populations exposées et les populations non exposées.

2. Données recueillies

Au cours d'une visite médicale, les salariés « exposés » et « non exposés » sont soumis à divers examens.

Un questionnaire général standardisé recueille les données socio-démographiques, les plaintes subjectives (céphalées, insomnies, troubles de l'humeur, désintéressement,) ou symptômes pulmonaires, digestifs, ... ressentis par le salarié au cours de l'année précédent l'examen, les habitudes de vie, les antécédents professionnels et d'éventuels autres facteurs de confusion.

Un examen clinique standardisé, pratiqué par le même médecin pour tous les salariés, permet d'évaluer l'état de santé général du salarié, ainsi que ses éventuels antécédents de maladies.

Un prélèvement sanguin a été réalisé dans le but d'explorer la numération et la formule sanguine, la fonction hépatique (enzymes hépatiques : SGOT, SGPT, γ GT) et de faire un dosage de la plombémie et des protoporphyrines -zinc. Les prélèvements ont été analysés dans le même laboratoire pour le groupe exposé et le groupe non exposé, d'une même zone.

Une Exploration Fonctionnelle Respiratoire (EFR) a permis de rechercher l'existence d'atteinte des fonctions pulmonaires. Elle a été réalisée avec le même appareil pour tous les salariés.

Six tests neuro-psychomoteurs viennent compléter cet examen. Le choix de ces tests a été réalisé en collaboration avec Madame Hibert, psychologue, et Monsieur le Docteur Croisile de l'hôpital neurologique de Lyon. Les tests retenus permettent de mettre en évidence les troubles neurologiques infra-cliniques provoqués par l'exposition chronique à certains produits chimiques comme les solvants (benzène, toluène,...) et les métaux lourds (plomb, mercure, manganèse...), produits qui pourraient être présents dans l'atmosphère des centres d'enfouissement technique. Trois d'entre eux (Benton memory test, Purdue pegboard test et le test de vitesse de réaction avec choix) font partie de ceux retenus par l'Organisation Mondiale de la Santé (WHO Neurobehavioral Core Test Battery) (voir Annexe A-10).

3. Nombre de salariés

Pour le Site 1, les 9 salariés ont subi les examens. 9 salariés de la Grande Distribution ont participé comme population non exposée.

Pour le site 2, 13 salariés sur 20 ont participé à l'étude. 13 salariés d'une entreprise de distribution d'eau ont constitué la population de comparaison non exposée.

4. Analyse des données

La saisie des données et les calculs ont été faits sur le logiciel SPSS® version 9.0 pour Windows.

➤ **Pour l'analyse des données cliniques :**

- les distributions des variables qualitatives entre la population exposée et la population non-exposée ont été analysées, et testées par la méthode du χ^2 .
- Les différences entre les moyennes quantitatives ont été testées, après vérification de la loi normale et analyse de variance (ANOVA).

- **Pour les tests neuropsychomoteurs**, les résultats ont donné lieu à des calculs de scores et ont fait l'objet de tests non paramétrique (test des rangs, U de Mann et Whitney). Les 2 salariées de sexe féminin (1 exposée et 1 non-exposée) ont dû être exclues de l'analyse, les résultats étant différents en fonction du sexe.
- **Pour les épreuves fonctionnelles respiratoires :**
Les moyennes des volumes observés rapportés à leurs valeurs théoriques en fonction de l'exposition ont été testées, après vérification de la loi normale et analyse de variance (ANOVA).
- **Pour certaines variables, une analyse multivariée en régression logistique** a permis de rechercher une éventuelle relation entre l'existence de symptômes ou pathologies et le fait de travailler dans un CET, tout en ajustant sur certains facteurs confondants (calcul des odds - ratios de prévalence - ORP). Un intervalle de confiance à 95% a été calculé pour chaque ORP. Dans ces modèles, la variable « d'exposition » est forcée. Pour les autres variables, la méthode conditionnelle descendante est appliquée. Elles sont gardées dans le modèle si la significativité du test de Wald est $< 0,10$. Cependant, certaines variables sont forcées si elles représentent un facteur connu comme facteur confondant pour le trouble étudié, ou si leur introduction fait varier l'odds-ratio de plus de 10 %.
- Les tests sont considérés comme significatifs lorsque la valeur α est inférieure ou égale à 0,05 (cette valeur correspond au p inscrit dans les tableaux).

E. Etude des bioindicateurs végétaux et animaux

1. Les lichens⁴

Afin de mieux connaître les polluants atmosphériques émis par les décharges d'ordures ménagères et susceptibles d'être détectés par le matériel végétal, la démarche suivante, établie étape par étape, a été suivie :

- utiliser un 3^{ème} site (site 3), riche en végétation lichénique, pour une recherche aussi complète que possible des polluants pouvant s'accumuler dans les lichens présents depuis plusieurs années,
- lister les polluants pouvant être retenus comme traceurs pertinents,
- pour les sites 1 et 2, mettre au point une technique adaptée, en introduisant des lichens sur les sites (technique de transplantation) et analyser les polluants contenus dans les lichens après 6 à 12 mois d'implantation sur les sites 1 et 2.

1.1. Première étape : étude sur le site 3 :

Le travail de terrain a été effectué du 13 au 16 octobre 1998, donc avant que les résultats de la campagne de métrologie des sources des sites 1 et 2 soient parvenus.

(1) Stations de prélèvement

Au cours de la première journée, le site a été longuement parcouru, ce qui a permis de confirmer la richesse en l'espèce de lichen pouvant être retenue comme indicateur : *Xanthoria parietina* (L.) Ach. Ce lichen est très développé sur les peupliers, acacias, frênes, saules, etc. qui ont été plantés sur les zones revégétalisées.

Les stations de prélèvement ont été définies en fonction de la constitution actuelle du site et de son histoire (proximité de l'établissement S et d'une ancienne cimenterie fermée en 1992), de l'orientation des vents principaux (Sud/Sud-Ouest vers Nord/ Nord-Est) et des odeurs dont se plaint la population environnante dans certains secteurs. 8 stations ont été choisies, 5 sur la décharge, 3 hors du site (Annexe A-11).

⁴ **RAPPEL** : Pour des raisons pratiques, un troisième site a servi de base pour l'étude sur les lichens. En effet, les deux sites retenus étant pauvres en matériel lichénique, il a fallu adapter la méthodologie en mettant en place des transplants. Afin d'obtenir dès le départ des résultats concernant les polluants susceptibles d'être retrouvés dans les lichens, ce troisième site a été choisi pour sa richesse en lichens.

Sur la décharge :

- Station L1- Près de S où un dégagement de solvants chlorés est possible ;
- Station L2- Phase 1 (revégétalisée depuis 10 ans) ;
- Station L3 - Etang (arbustes et arbres près de l'étang artificiel) ;
- Station L4 - Bois coupé près de la carrière. Ce site et le suivant sont placés sous les vents dominants ;
- Station L5 - Au-dessus de la carrière ;

Hors du site :

- Station L6 - Station N au nord du site (alignement de peupliers le long de la route D301 à fort trafic automobile) ;
- Station L7 - Station C, au nord-est du site où il y a eu des plaintes de la populations à cause des odeurs ;
- Station L8 - Station F, au sud-ouest du site. Le choix de ces deux dernières stations s'est fait aussi en fonction de l'orientation des vents.

(2) Mode de prélèvement , conservation et transport

Les échantillons ont été prélevés à l'opinel. Des thalles de tailles diverses ont été récoltés en quantité (équivalent d'un volume de 1l). En cours de récolte, une partie du matériel a été conservée dans un bocal en verre (volume de 500 ml en vue des analyses de polluants volatils), une quantité équivalente étant placée dans un sac plastique de congélation.

Immédiatement après la récolte, les échantillons ont été mis au réfrigérateur. Dès la fin de la campagne de terrain (16 octobre), les échantillons ont été transportés en glacière au Laboratoire d'analyses Municipal et Régional de Rouen. Les bocaux de conserve ont été placés au congélateur afin d'analyser les solvants organohalogénés et les BTX; les échantillons sous plastique ont été mis au réfrigérateur. Un lot d'échantillons de chaque station a été rapporté en glacière au laboratoire de Grenoble pour des analyses complémentaires.

(3) Analyses en laboratoire

a) Les éléments analysés:

En l'absence des résultats de l'analyse des sources, après discussion avec les métrologistes, compte tenu des émissions possibles et de la conformité du site, il a été décidé d'effectuer les analyses des éléments suivants :

- métaux et métalloïdes: As, Cd, Cr total, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Sb, Se, Tl et Zn ;
- anions : nitrates, fluorures, phosphates, sulfates et chlorures (en cours d'analyse nous avons découvert la présence d'oxalates dans les échantillons) ;
- azote total ;
- hydrocarbures ;
- solvants organohalogénés et BTX dans la station 1.

Remarque : certains éléments ont été choisis pour des raisons particulières :

- Sb car des teneurs élevées d'antimoine ont été détectées dans les mesures atmosphériques sur certains sites d'ordures ménagères ;
- Tl qui serait assez typique de la présence de cimenterie (installation ouverte jusqu'en 1992 à proximité du site 3) ;
- nitrates et azote: *Xanthoria parietina* est une espèce de lichen nitrophile et son fort recouvrement peut être dû à la présence importante de nitrates ou de différents composés azotés qui se déposent sur les écorces et pouvant être en lien avec la station d'épuration ;
- solvants organohalogénés et BTX : ces éléments ont été analysés dans la station 1 qui était susceptible d'être contaminée par le site S.

b) Les méthodes d'analyses

Les analyses chimiques ont été réalisées au laboratoire municipal et régional de Rouen et au laboratoire ECE de Grenoble (voir détail en Annexe A- 12).

- Métaux et chlorures :
 - Plomb – Cadmium – Mercure
 - Arsenic – Chrome total – Nickel – Manganèse – Zinc – Cuivre – Sélénium – Antimoine
 - Chlorures – Nitrates – Soufre total
 - Thallium

➤ Hydrocarbures – COV – BTX

➤ Analyse d'azote total (et de carbone total)

Analyse par chromatographie en phase gazeuse (CG, Carlo Erba NA 1500)

➤ Analyse des anions par chromatographie liquide à haute performance (HPLC) (appareil de type DIONEX)

Remarque : pour la station 3 on a rajouté une analyse de la forme orangé normale (n) et de la forme verte (v) des lichens récoltés.

(4) Exploitation statistique

Pour les données obtenues au laboratoire de Grenoble, les résultats ont été précisés à l'aide du test statistique non paramétrique de Mann et Whitney calculé sur logiciel MINITAB.

1.2. Deuxième étape : mise en place de transplants dans les sites 1 et 2

Les visites des deux sites ont permis de constater que l'espèce *Xanthoria parietina* y était présente, même en petite quantité et pouvait être implantée par une méthode de transplant sur supports mobiles, appelés des « radeaux ».

(1) Prélèvement d'échantillons et réalisation des transplants

Des *Xanthoria parietina* bien développés ont été prélevés dans des stations localisées en zone protégée et présumée hors de toute atteinte de pollution de proximité (trafic automobile, usines diverses, etc.).

Les branches couvertes de *Xanthoria* ont été prélevées directement et débitées en tronçons de 20 à 30 cm de longueur. Les transplants ont alors été réalisés de la façon suivante : 6 à 10 rameaux (en fonction de leur diamètre et de leur recouvrement lichénique) ont été placés parallèlement les uns aux autres. Les extrémités ont été attachées entre elles afin de réaliser des sortes de « radeaux » miniatures pouvant être mis en place aisément. La nature du lien a été choisie afin d'éviter toute contamination étrangère : les premiers « radeaux » mis en place sur le site 1 ont été réalisés à l'aide de ficelle alimentaire, remplacée par du fil plastifié au bout d'un mois de transplantation. Sur le site 2, le fil plastifié a été utilisé dès le départ.

(2) Installation des transplants : dates et stations choisies

Les transplants ont été installés rapidement après prélèvement des échantillons et la fabrication des « radeaux » afin de limiter au maximum les modifications environnementales des thalles prélevés. Ils ont été installés de telle sorte que les lichens retrouvent une situation aussi naturelle que possible à une hauteur de 1 à 2 m sur le support. Les stations de transplantation ont été choisies en fonction de sources possibles d'émission de pollutions atmosphériques sur le site et l'orientation des vents. Deux « radeaux » ont été installés dans chaque station (voir localisation des stations en Annexe A-13).

a) Site 1

Les transplants ont été installés le 7 avril 1999 à raison de 5 stations.

- **Station LT1** - près de la zone d'activité ;
- **Station LT2** - près de la fissure décelée au cours des analyses atmosphériques;
- **Station LT3** - près du bois nord;
- **Station LT4** - à proximité de la torchère;
- **Station LT5** - à l'intérieur du site, mais le plus près possible de l'autoroute afin de détecter l'effet trafic .

En outre, des lichens présents naturellement sur le site ont été prélevés près de l'accueil **L6** et à l'aide d'une nacelle au bois sud **L7** et au bois nord **L8**. Une station témoin a été repérée hors du site (**L9**).

b) Site 2

Les *transplants* ont été mis en place le 6 mai 1999, à raison de 7 stations.

- **Station LT1** - à proximité de l'alvéole en cours d'exploitation (en position sous le vent). Dans cette station, l'alvéole évoluant au cours des mois durant lesquels le suivi a été réalisé, la localisation des transplants a été modifiée en conséquence.
- **Station LT2** - poste de contrôle : 1 transplant a été installé près du portail d'entrée, 1 transplant a été fixé à proximité du bâtiment d'entrée ;
- **Station LT3** - belvédère : près des torchères ;
- **Station LT4** - 2 torchères : un transplant a été accroché à proximité de la 1ère torchère, un autre a été installé près de la 2è torchère ;
- **Station LT5** - station d'épuration ;
- **Station LT6** - plate-forme V ;

- **Station LT7** - vallée A: cette station est un bois à bouleaux dominants en zone protégée comme en témoigne la présence de lichens bien développés.

De plus, des *Xanthoria* ont été observés dans deux stations (L8) du site sur peuplier (L8A) et sur sureau (L8B) et dans deux stations hors du site (L9 et L10).

Dans chacun des sites, des photographies ont été réalisées afin de suivre les modifications éventuelles des transplants.

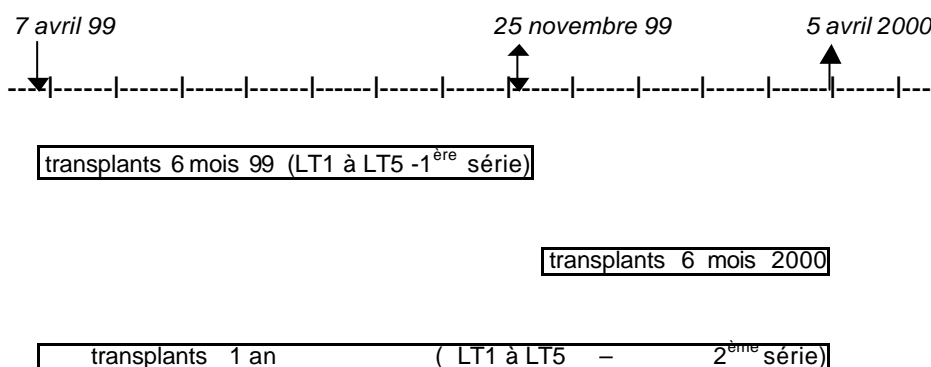
1.3. Troisième étape : suivi des transplants et durée d'expérimentation

Des visites régulières ont été effectuées sur les sites 1 et 2 afin de suivre l'évolution des transplants, de surveiller leur état et ne pas laisser en place les échantillons si des dégâts y étaient constatés. Il était intéressant de laisser les transplants sur place pendant des périodes différentes pour observer les capacités d'accumulation des lichens.

a) Sur le site 1

Une première série de transplants a été prélevée dans toutes les stations le 25 novembre 1999, au bout de 6 mois d'expérimentation. Les transplants se sont bien maintenus à l'exception du transplant de la station LT3, qui a subi des dégâts importants (pertes notables de thalles, ne permettant pas de conduire les analyses). De nouveaux transplants ont été mis en place dans les stations LT1, LT2 et LT3.

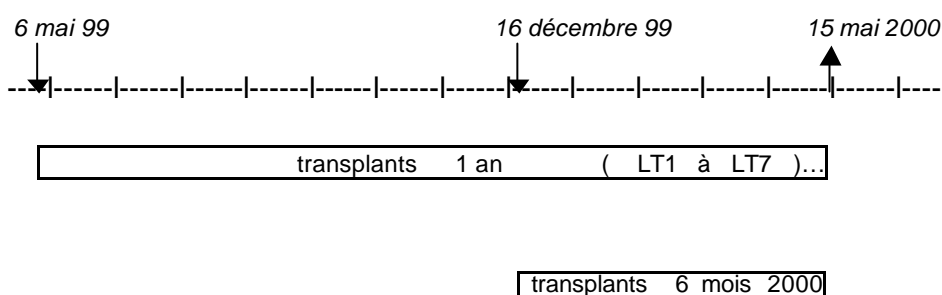
La deuxième série de transplants a été déposée le 5 Avril 2000, au bout d'un an de transplantation. Le même jour ont été prélevés des échantillons de lichens *présents in situ* : près de l'accueil (L6), sur le haut des chênes du bois sud (L7) et du bois nord (L8), ainsi que sur noyer hors site, en zone protégée à quelques km du site 1 (L9).



b) Sur le site 2

Tous les transplants ont été laissés en place jusqu'à la fin de l'expérimentation. De nouveaux transplants ont été rajoutés le 16 décembre 1999 en LT1 (à proximité de l'alvéole), en LT3 (près des torchères du belvédère), en LT4 (près de la torchère), en LT5 (station d'épuration). Seule la station LT6 a été détruite par suite d'aménagement imprévu du poteau électrique sur lequel elle avait été fixée ; dans cette station, le transplant a été remplacé.

Tous les transplants ont été déposés le 15 mai 2000. A cette date, des échantillons in situ ont été récoltés au belvédère sur peuplier (L8A) près des deux torchères, sur sureau (L8B) et hors site (sur sureau (L9) et sur peuplier (L10)).



1.4. Quatrième étape : analyses des transplants

Toutes les analyses ont été réalisées au laboratoire municipal et régional de Rouen selon les mêmes méthodes que celles utilisées pour le site 3.

(1) Eléments analysés

Compte tenu des résultats précédents et des réflexions conduites avec le groupe d'étude, seuls les éléments suivants ont été analysés :

- Sur les transplants à 6 mois de l'année 1999 du site 1 : **As, Cd, Cr total, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Sn, Zn, N total, P total et nitrates.**
- Sur les transplants à 6 mois de l'année 2000 et les transplants à 1 an des site 1 et 2 : **Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb et Zn.**

(2) Estimation des mesures, exploitation des données

Pour des raisons de coût, les analyses ne pouvaient pas être multipliées dans les lichens par station. Une seule analyse a été réalisée par échantillon .

Cependant, au cours d'études antérieures, afin de tester la variabilité des mesures d'un même échantillon, nous avons pris la précaution d'effectuer des analyses sur deux lots d'un même échantillon (lots A et B) prélevés dans une région X. Les résultats sont résumés dans le Tableau 19.

Tableau 19 : Analyses des métaux de 2 lots de lichens prélevés dans une région X (mg/kg/MS)

| | As | Cd | Ca | Cr t | Ni | Pb | V | F |
|---------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|
| Lot A | 0.50 | 0.11 | 2020 | 4.6 | 3.7 | 5.1 | 1.9 | 12 |
| Lot B | 0.6 | 0.12 | 1960 | 4.5 | 3.5 | 5.6 | 2.2 | 11 |
| Moy | 0.55 | 0.115 | 1990 | 4.55 | 3.6 | 5.35 | 2.05 | 11.5 |
| Ec-type | 0.07 | 0.01 | 42.43 | 0.07 | 0.14 | 0.35 | 0.21 | 0.71 |

Les différences entre les deux lots ne sont pas significativement différentes et l'on peut considérer l'estimation des mesures sur un même échantillonnage avec une variabilité <10%, ce qui autorise le fait de pouvoir réaliser une seule mesure par station .

Les analyses sur chaque mesure sont obtenues avec un coefficient de variation <10 (communication personnelle de M.Lenormand).

a) Exploitation des données

Hormis les calculs de moyenne et écart-type, les effectifs étant trop réduits, nous n'avons pas pu effectuer de tests statistiques de comparaison de moyenne sur les données fournies. Les résultats seront interprétés en terme de tendance.

2. Les bioindicateurs chez l'animal

2.1. Exposition des animaux

Les prélèvements de sols superficiels effectués ont été conservés par congélation jusqu'à l'exposition des animaux. Ces sols ont été analysés pour identifier et quantifier les polluants suivants : composés organiques volatils (COV), métaux lourds. Les analyses sont présentées dans la partie métrologie. Pour faciliter la lecture, le Tableau 20 ci-dessous rappelle la description des sols prélevés sur les deux centres de stockage ainsi que les principaux polluants retrouvés. Seuls ont été ajoutés, selon les analyses que nous avons effectuées, les HAP et les PCB du sol. La quantification individuelle de certains PCB a été préférée à l'utilisation des équivalents Aroclor 1254 et 1260.

À l'origine, le projet prévoyait l'exposition des animaux par inhalation uniquement. Cependant, compte tenu des faibles concentrations de polluants mesurées, il a été décidé d'exposer les animaux en utilisant le sol des centres de stockage de déchets comme litière. Brièvement, le protocole d'exposition est le suivant (Fouchécourt, 1996) :

- Préparation d'une cage polypropylène avec 1 kg de sol. Ordre des expositions (1 cage à chaque fois) : de façon aléatoire.
- Exposition des rats (Sprague-Dawley, Iffa-Credo, 6-8 semaines, 180-200g, mâles) ; alimentation et boisson *ad libitum*. Utilisation de 4 animaux par cage. Durée d'exposition : 88 h environ. Prélèvements pour analyse : foie, poumons, reins, trachée.
- Une deuxième exposition a été nécessaire pour l'étude de la génotoxicité. Les sols servant de litière ont été prélevés en Janvier 2000 sur le site 1 (sols S1, S2 et S5) : Utilisation de 2 animaux par cage. Durée d'exposition : 96 h environ (4 jours). Prélèvement quotidien pour analyse : sang.
- Pour chaque sol, deux expositions étaient prévues, mais compte tenu des résultats des premières expositions (dosages et activités enzymatiques), il n'a pas paru nécessaire d'euthanasier d'autres animaux. Cependant une exposition supplémentaire de 2 rats a été effectuée dans une cage permettant d'exposer les rats à 1 kg de sol sans contact direct (sol S2) pour suivre le paramètre de génotoxicité.
- Les témoins négatifs ont été placés sur de la litière non contaminée (UAR) dans les mêmes conditions que les rats exposés. Prélèvements pour analyse : foie, poumons, reins, trachée, sang (quotidien).

2.2. Analyses réalisées

Les HAP et les PCB sont recherchés et quantifiés dans les sols, les poumons (HAP uniquement) et les foies. Les reins des animaux sont prélevés pour doser les métaux principaux.

Tableau 20 : Caractéristiques des sols*

| Sol | Localisation | COV | Essence | Pb | Cd | Cu | Zn | Cr | Mn | Ni | à HAP | àPCB |
|------------|-----------------------------------|------------|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------|-------------|
| S1 | Couverture finale | 10.0 | 0 | 25.0 | ND | 20.4 | 57 | 45.5 | 506 | 26.0 | 50.0 | 71.0 |
| S2 | Sol humide talus | 265.0 | 0 | 0.0 | ND | 15.0 | 58 | 44.0 | 466 | 23.0 | 245.3 | 53.8 |
| S3 | Couverture provisoire | 3.2 | 0 | 41.8 | ND | 24.9 | 76 | 43.8 | 484 | 27.9 | 183.5 | 305.6 |
| S5 | Sol fissuré | 41.9 | 0 | 18.0 | ND | 23.0 | 61 | 43.0 | 443 | 22.0 | 181.7 | 27.1 |
| S6 | Sol digue alvéole en exploitation | 5.0 | 0 | 13.0 | ND | 23.0 | 34 | 28.0 | 309 | 14.0 | - | 79.2 |
| SE1 | Pourtour lagune aérée | 1740.8 | 14300 | 61.9 | 0 | 33.4 | 113 | 41.2 | 518 | 24.5 | 275.2 | 89.1 |
| SE2 | Fissure zone d'exploitation | 33.7 | 0 | 55.0 | 0 | 46.0 | 158 | 54.0 | 288 | 35.0 | 261.2 | 35.0 |
| SE3 | Ensemble zone d'exploitation | 1010.0 | 240 | 83.0 | 0.5 | 42.0 | 146 | 80.0 | 383 | 29.0 | 4537.5 | 305.6 |
| SE4 | Digue avale suintement lixiviat | 721.8 | 2400 | 123.0 | 0.5 | 88.0 | 262 | 52.0 | 660 | 28.0 | 191.4 | 169.8 |
| SE5 | Digue avale | 137.0 | 469 | 53.0 | 0.9 | 40.0 | 137 | 58.0 | 448 | 35.0 | 156.5 | 1 |

*concentrations en µg/g sauf pour les PCB et HAP où les concentrations sont en ng/g

(1) Analyses chimiques

Toutes les analyses ont été réalisées au laboratoire de toxicologie de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon, sauf exception mentionnée dans le texte.

a) Dosage des HAP

L'extraction des HAP a été effectuée pour les foies et les poumons (Billeret *et al.*, 2000). La chromatographie liquide haute performance (HPLC) a été utilisée pour séparer et quantifier 11 des 16 HAP recommandés par l'EPA, selon la méthode EPA 610 (EPA, 1992). La colonne utilisée est une colonne spécifique pour la séparation des HAP (Vydac 210TP54, 250 mm x 4.6 mm, 5 µm). La lecture a été faite en fluorescence avec un spectrofluorimètre (Perkin Elmer LS 30) à des longueurs d'onde d'excitation et d'émission spécifiques pour chaque molécule. La séparation des 11 HAP a nécessité un gradient d'éluion. La concentration en HAP total utilisée pour présenter les résultats, a été obtenue en faisant la somme des 11 HAP pris individuellement.

b) Dosage des PCB

Le dosage se fait par chromatographie gazeuse (CPG) après extraction liquide. Une colonne capillaire de 60 cm est utilisée (RT x5) et la détection se fait par un détecteur à capture d'électrons.

L'Aroclor 1254 et l'Aroclor 1260 à 500 ng/g ont servi d'étalons pour un dosage global et des mélanges étalons de différents congénères à 50 ng/g ont été réalisés pour une quantification individuelle de certains PCB, selon les recommandations de l'O.M.S. Ces mélanges étaient au nombre de deux :

Mix 3 : PCB 28, PCB 52, PCB 101, PCB 118, PCB 138, PCB 153, PCB 180.

PCB congénères : PCB 77, PCB 126, PCB 169

Les PCB ont été identifiés par comparaison des temps de rétention obtenus entre l'échantillon et ceux des étalons.

c) Dosages des métaux

Les métaux (Pb, Cd, Cu, Zn, Cr, Mn et Ni) ont été dosés dans les reins des animaux, par le laboratoire Charles Flachat situé à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon. Le dosage a été effectué par spectrométrie d'absorption atomique en regroupant les quatre rats de chaque lot.

d) Analyses des sols

Le laboratoire CESAR (Ceyziat, France) a effectué les analyses de granulométrie ainsi que les dosages de la matière organique pour tous les prélèvements de sol. Seules ces mesures ont paru nécessaires compte tenu des études antérieures effectuées sur d'autres sols au sein de notre laboratoire (Billeret *et al.*, 2000).

(2) Paramètres biologiques évalués

a) Activités enzymatiques et paramètres biochimiques

➤ Porphyrines hépatiques

La concentration en différentes porphyrines hépatiques (Kennedy, 1986), marqueurs d'effets de nombreux polluants organiques a été mesurée pour les composés suivants : protoporphyrine IX, coproporphyrine, uroporphyrine. L'analyse se fait par une technique HPLC.

➤ Activité P 450 dépendantes

Les activités alkyrésorufine O-désalkylases ont été évaluées selon la méthode de Rifkind et Muschick (1983) et les activités suivantes ont été retenues :

- EROD (Ethoxyrésorufine O-dééthylase)
- PROD (Pentoxyrésorufine O-dééthylase)

La désalkylation des alkyrésorufines par les monooxygénases à P 450 conduit à la formation de résorufine, produit fluorescent quantifié par spectrofluorimétrie.

Les microsomes hépatiques et pulmonaires sont incubés à 37°C en présence d'un système régénérant le NADPH (tampon phosphate 0.1 M pH 7.4, NADP⁺ 0.5 mM, G6P 5 mM et G6PDH 2U) et une des alkyrésorufines (DMSO, 1 % volume final) selon l'activité mesurée. À l'issue des temps d'incubation, les réactions sont arrêtées par 2 mL d'un mélange méthanol-acétone (7:3).

La mesure de la fluorescence est réalisée après centrifugation (1900 g, 5 min.) grâce à un spectrofluorimètre (Perkin Elmer LS 30) à une longueur d'onde d'excitation de 537 nm et à une longueur d'onde d'émission de 583 nm. Les mesures sont réalisées une seconde fois si l'écart entre les doublons est supérieur à 10 %. Une solution de Rhodamine B (50 ng/mL) sert de référence. Les temps d'incubation ainsi que les concentrations de protéines microsomales choisies ont été préalablement définis après vérification et respect des conditions de linéarité en temps et en quantité de protéines, des activités enzymatiques.

Les protéines sont dosées par la méthode de Lowry modifiée par Hartree (Hartree, 1972) en utilisant la fraction V de l'albumine sérique bovine comme standard.

Les activités EROD et PROD sont exprimées par rapport aux protéines microsomales totales.

b) Test de génotoxicité

Dans le cadre de ce programme, nous avons adapté le test des comètes (Singh *et al.*, 1988) sur lymphocytes de rats exposés directement à un sol qui pourrait présenter un risque. Les sols choisis pour suivre l'effet clastogène des polluants présents sont les sols S1, S2 et S5.

Chaque jour (J0 à J4), une prise de sang au niveau de la veine caudale a été effectuée sur les rats exposés et sur les témoins négatifs. L'essai comète a alors été réalisé immédiatement.

La séparation des lymphocytes a été faite en condition stérile par la méthode classique du gradient de ficoll. La phase contenant les lymphocytes a été récupérée et centrifugée (11500 g, 5 min). Finalement, les cellules ont été reprises par 35 µL de PBS pH 7.4, sans calcium ni magnésium, pour une réalisation immédiate du test comète proprement dit.

L'essai comète a été réalisé, par inclusion des lymphocytes dans 80 µL de gel d'agarose (1 %) à faible température de fusion (SeaPlaque[®] GTG[®] agarose, FMC[®], Bioproducts). La couche de gel, contenant les cellules, a été coulée sur une lame de microscope (CometSlide[™], Trevigen[®]) avec une première couche de gel à 1 % à haute température de fusion (SeaKem[®] Gold[®] agarose, FMC[®], Bioproducts).

Les lames ont immédiatement été déposées dans une solution de lyse (1 % Sodium N-Lauroyl Sarcosinate, 100 mM Na₂-EDTA, 10 mM Tris-Base pH 10, 1 % Triton X-100, 700 mM protéinase K), 15 min à froid, 1 h à température ambiante. Une fois la lyse terminée, une électrophorèse en condition alcaline (NaOH 300 mM, Na₂-EDTA 10 mM, DMSO 2 %) a été réalisée pendant 1 h à 25V, 300 mA et 4°C.

La révélation des cassures s'est faite par marquage froid grâce à un agent intercalant fluorescent (1:10000 ; GelStar[®], FMC[®], Bioproducts).

Deux lames ont été réalisées pour chaque rat ; et le calcul des pourcentages de comètes formées a porté sur 150 cellules par lame.

Une caméra fixée au microscope, couplée à un système informatique équipé du logiciel Perfect Image (Clara Vision, Paris, France) a été utilisée pour prendre des images en niveau de gris et calculer le moment de chaque comète. Ce moment correspond au calcul suivant :

$$\text{Moment} = \text{longueur queue} / \text{quantité ADN queue}$$

L'évolution dans le temps (cinétiques) des moments est donnée pour les types de noyaux les plus représentatifs de chaque lame pour chacun des rats.

Deux types de résultats ont pu être envisagés :

- le pourcentage de noyaux lésés.
- le moment de la queue de la comète.

c) Analyses histologiques

Des prélèvements de trachée et de poumon ont été réalisés lors de l'euthanasie, fixés dans le formol à 10 % et soumis à l'analyse histologique au laboratoire d'anatomopathologie de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon.

2.3. Etudes statistiques

L'approche statistique des données est réalisée au moyen du logiciel Stat View 4.5[®].

Compte tenu du faible nombre de rats exposés (4 rats par cage), les tests non paramétriques sont préférés pour exploiter les résultats, sur la base de l'hypothèse nulle suivante : " il n'y a pas de différence entre les groupes exposés et les témoins ”.

Le test de Kruskal Wallis est utilisé de façon à mettre en évidence des différences globales. Le test de Mann Whitney est employé pour regrouper certaines données entre elles lorsque les différences entre deux groupes ne sont pas significatives.

V. RESULTATS

A. Métrologie chimique aérienne sur site et dans l'environnement des riverains

1. Organisation de la présentation des résultats

Afin de faciliter la lecture du rapport et l'interprétation des résultats, ceux-ci sont présentés en trois étapes :

Dans le corps du rapport (ci-après), nous présentons sous forme graphique les résultats obtenus pour quelques polluants "traceurs", mesurés depuis les sources d'émission (drains, biogaz, torchères, ...) jusqu'à l'environnement en amont et au niveau des premières habitations situées en aval (voir cartes).

En annexe du rapport principal, nous présentons des tableaux de synthèse (Annexes B-1 ; B-2) où sont repris les résultats obtenus, de la source à l'environnement amont et celui des riverains, pour les différents polluants sélectionnés à l'issue de la caractérisation des sources. Il est à noter que cette sélection a porté, le plus souvent, sur des familles de polluants (COV : plusieurs centaines de composés ont été dosés au niveau de l'ambiance des sites et de l'environnement des riverains ; l'information obtenue est en fait beaucoup plus riche que celle figurant dans ces tableaux de synthèse).

Enfin, dans un document à part, intitulé "Annexe résultats bruts", nous fournissons l'ensemble des résultats obtenus au cours du programme, en particulier :

- le dosage exhaustif des polluants effectué au niveau des sources (tableaux de résultats et graphiques correspondants),
- les dosages détaillés effectués dans l'ambiance des sites et aux postes de travail,
- les dosages détaillés effectués dans l'environnement en amont et dans l'environnement des riverains (COV par exemple).

Par ailleurs, en annexe du rapport principal, nous présentons les résultats des mesures spécifiques réalisées pour quelques polluants dans l'objectif de mieux cerner les fluctuations des concentrations au cours du temps :

- mesures ponctuelles (durée quelques secondes) : COV et poussières (Sites 1 et 2), (Annexes B-3, B-4)
- mesures sur deux semaines : COV (Site 2) (Annexe B-5).

2. Présentation graphique des résultats obtenus pour quelques polluants caractéristiques

2.1. Choix des polluants représentés

Comme cela a été précisé précédemment, les polluants suivis dans l'ambiance, en amont et en aval vers les premières habitations, des deux sites étudiés ont tout d'abord été sélectionnés sur la base des niveaux de concentration relevés au niveau des sources ainsi que de leur toxicité pour l'homme.

Par ailleurs, la représentation sur un même graphique des différentes concentrations mesurées pour un même polluant en différents points des sites, n'est pas toujours possible. En effet, les méthodes analytiques utilisées pour la mesure de certains polluants dans les différents milieux peuvent conduire à des résultats qui ne sont pas directement comparables. On peut notamment citer ici :

- les mesures des métaux et des HAP effectuées sur phase gazeuse ou sur phase particulaire,
- les valeurs "totales" (HAP totaux par exemple) qui ne portent pas exactement sur les mêmes polluants avec les différentes techniques utilisées.

Compte tenu de ces critères et contraintes, le choix des polluants caractéristiques représentés s'est porté sur :

- le benzène (composé aromatique monocyclique)
- le trichloroéthylène et le tétrachloroéthylène (composés organohalogénés)
- le formaldéhyde et l'acétone (représentants des aldéhydes et cétones),
- les poussières totales,
- le manganèse particulaire (métal lourd très présent sur les sites).
- le fluoranthène particulaire (hydrocarbure aromatique polycyclique particulaire).

En complément des polluants spécifiques sélectionnés en raison de leur présence au niveau des sources et de leur toxicité, il aurait été intéressant de suivre les molécules les plus odorantes telles que les mercaptans, les amines, les AGV voire certains chlorobenzène ou polyaromatiques (biphényl,..).

Dans le cadre de cette étude, la priorité a été donnée aux molécules toxiques et certaines molécules très odorantes telles par exemple le méthylmercaptopan, l'éthylmercaptopan n'ont pas

été dosées isolément compte tenu de la nécessité d'un matériel spécifique (molécules légères non retenues sur les supports de prélèvement sélectionnés ici). Elles ont toutefois été prises compte par la mesure globale des RSH.

Il n'en demeure pas moins que l'on peut recommander dans la méthodologie proposée à l'issue de ce programme, le suivi de ces molécules dans l'ambiance et dans l'environnement notamment au niveau des premières habitations, pour rendre compte de l'ensemble des nuisances rencontrées par la population.

A titre indicatif, nous présentons, ci-dessous les résultats obtenus sur les sites en ce qui concerne le Linomène et le 1-1 Biphényl (qui ont été dosés) en regard de leur seuil olfactif respectif.

NB : Certains de ces polluants n'ont pas été dosés en certains points, compte tenu du non sens ou du peu d'intérêt de la mesure correspondante (ex : dosage des polluants particuliers dans l'air situé sous bâche pour les sources surfaciques) ou des priorités données lors des différentes campagnes d'analyses (ex : dosage uniquement des COV lors de la campagne environnement des riverains n°1 destinée à valider la méthodologie d'échantillonnage et de prélèvement élaborée, avant son application systématique pour la suite du programme). Sur les graphiques correspondants figure alors la mention NM (Non Mesuré).

2.2. Choix du mode de représentation

La priorité fixée pour cette représentation était d'offrir une vue synthétique de l'ensemble des résultats pour un site donné, de faciliter la comparaison entre des deux sites, et donc in fine l'interprétation générale des résultats, basée d'une part sur ces données analytiques, et d'autre part, sur les données de la bibliographie.

Pour ce faire, nous avons choisi de représenter sur un même graphique (histogrammes) les résultats obtenus pour un polluant donné, depuis les sources jusqu'à l'environnement des riverains, en passant par l'ambiance des sites (dont les mesures en ambiance générale et celles effectuées aux postes de travail). Les niveaux de concentrations en polluants étant très différents entre les sources, les ambiances et l'environnement des riverains, **nous avons porté ces résultats sur une échelle logarithmique.**

Par ailleurs, en regard des valeurs mesurées sur les sites, nous avons fait figurer deux types de valeurs de référence, lorsqu'elles existent :

- des niveaux de concentrations observés dans l'air ambiant de zones urbaines : valeur minimale et maximale relevées dans la bibliographie (références en annexe),
- les valeurs guides établies par l'OMS pour les ambiances extérieures, (WHO, Geneva, 2000)

NB : la comparaison des résultats avec les VME ou les VLE (Valeurs Moyennes d'Exposition et Valeurs Limites d'Exposition) qui relèvent de la réglementation sur les ambiances de travail n'est pas traitée dans ce paragraphe mais dans celui relatif aux travailleurs.

Le mode de présentation qui résulte de ces choix a de nombreux avantages. Il revêt toutefois des inconvénients majeurs qu'il conviendra de prendre en compte au moment de l'interprétation des résultats :

- la représentation sur une échelle logarithmique "écrase" les différences de concentrations obtenues au niveau d'un même milieu (ex : différents points sélectionnés au niveau de l'ambiance du site) ou entre deux milieux parfois peu différents (ex : ambiance du site et environnement des riverains pour certains polluants),
- les seuils de détection des méthodes analytiques utilisées dans les différents milieux sont parfois différents (voir paragraphe consacré aux méthodes analytiques), d'où la nécessité d'être vigilants lorsque les polluants sont affichés "ND" (Non Détectable),
- les mesures en ambiance et dans l'environnement des riverains issues des deux campagnes effectuées (mentionnées "ambiance 1", "ambiance 2", "environnement 1" et "environnement 2" dans les graphes) ne sont pas directement comparables, compte tenu de l'évolution des conditions météorologiques et de l'évolution de l'exploitation du site entre temps,
- certaines mesures n'ont pas été réalisées, pour les raisons évoquées au paragraphe précédent, ce qui crée quelques "vides" dans les graphiques,
- enfin, la comparaison avec les valeurs de référence présentées ne peut en aucun cas être utilisée pour conclure quant aux risques présentés par les niveaux de concentrations relevés. Elle permet seulement de se situer par rapport à un autre type de pollution pour lequel on dispose de plus de données en matière de santé (la pollution urbaine).

NB : Les seuils de détection pour les mesures affichées "ND" figurent en annexe (tableaux de synthèse des résultats et annexe "résultats bruts").

2.3. Représentations graphiques

Figure 3 : Le benzène- SITE 1

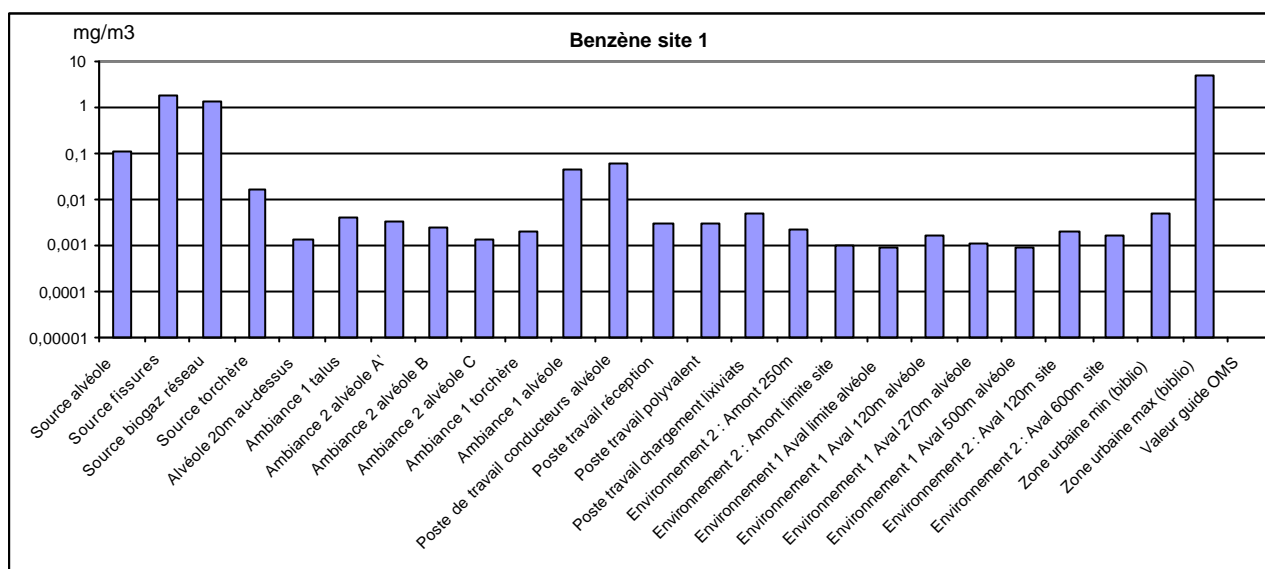
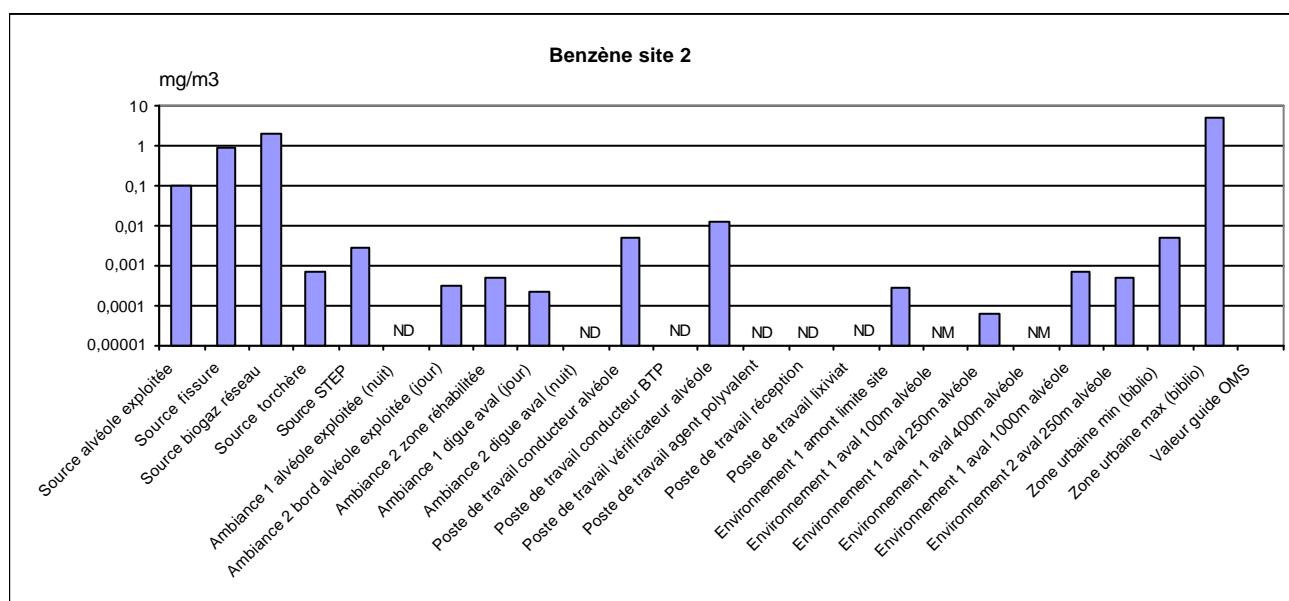


Figure 4 : Le benzène –SITE 2



NB : les profils observés pour le toluène sont voisins avec, pour certains points particuliers, des niveaux nettement supérieurs (jusqu'à 100 fois).

Figure 5 : Le trichloroéthylène – SITE 1

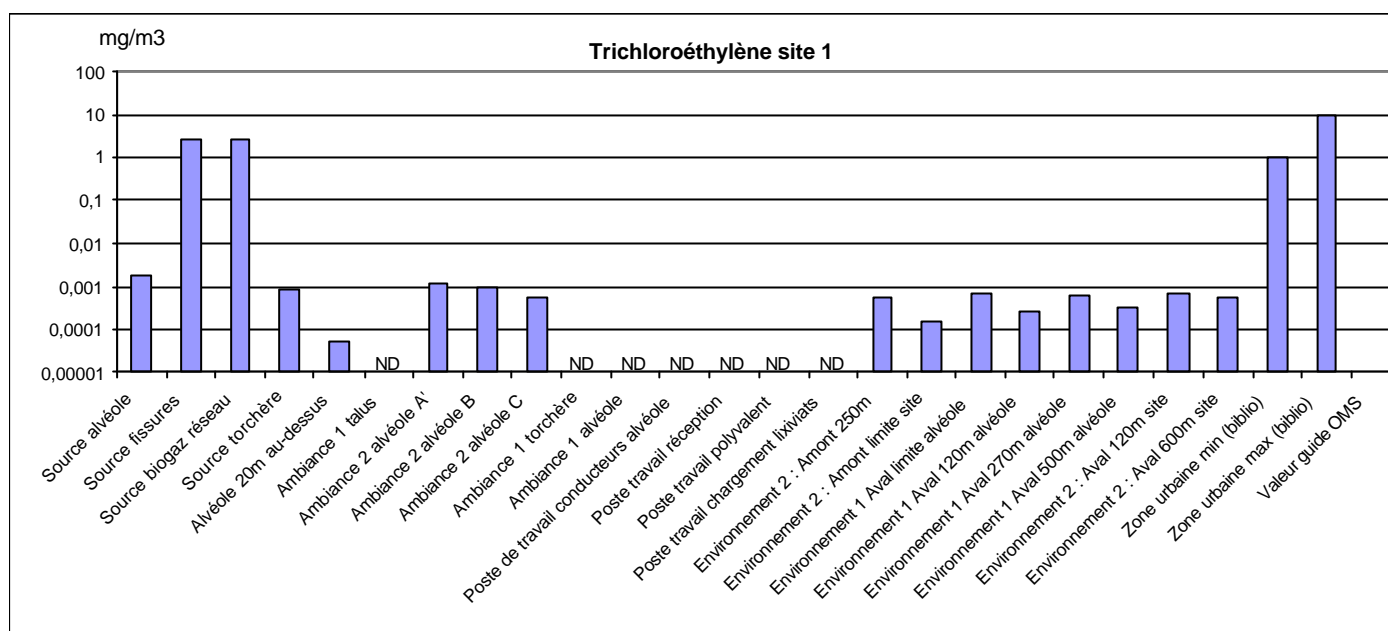


Figure 6 : Le trichloroéthylène – SITE 2

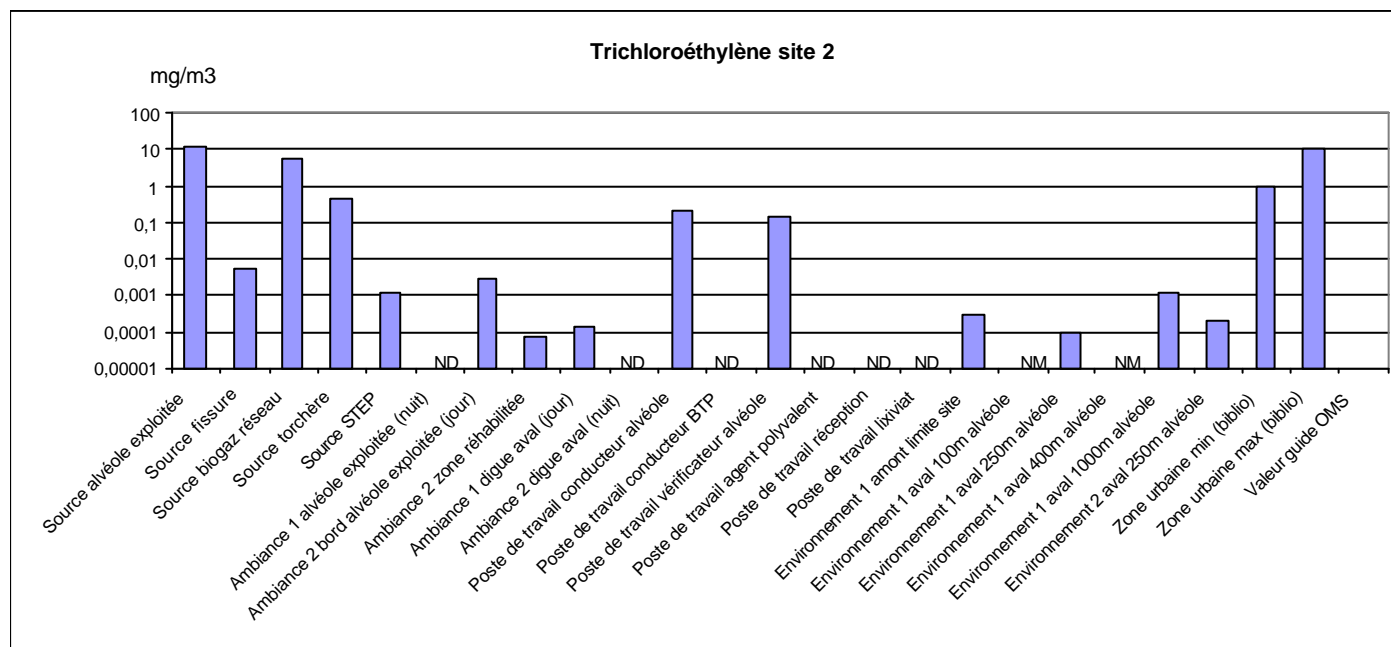


Figure 7 : Le tétrachloroéthylène – SITE 1

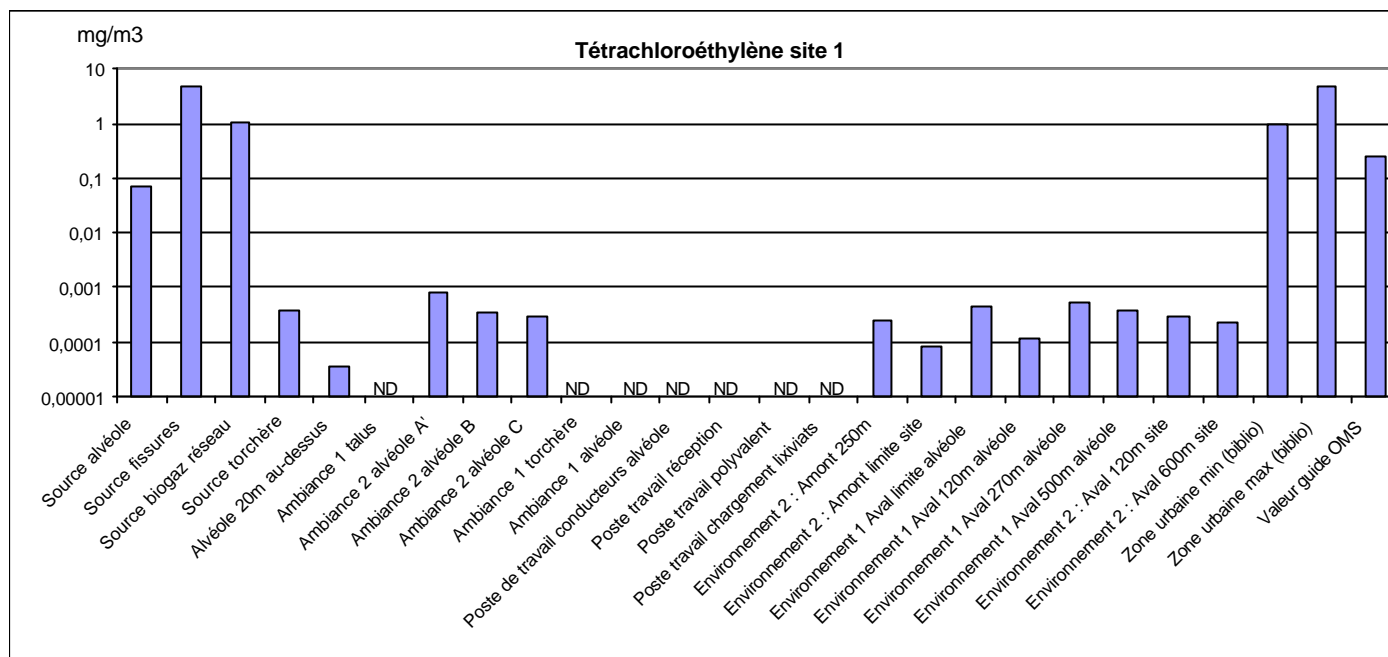


Figure 8 : Le tétrachloroéthylène – SITE 2

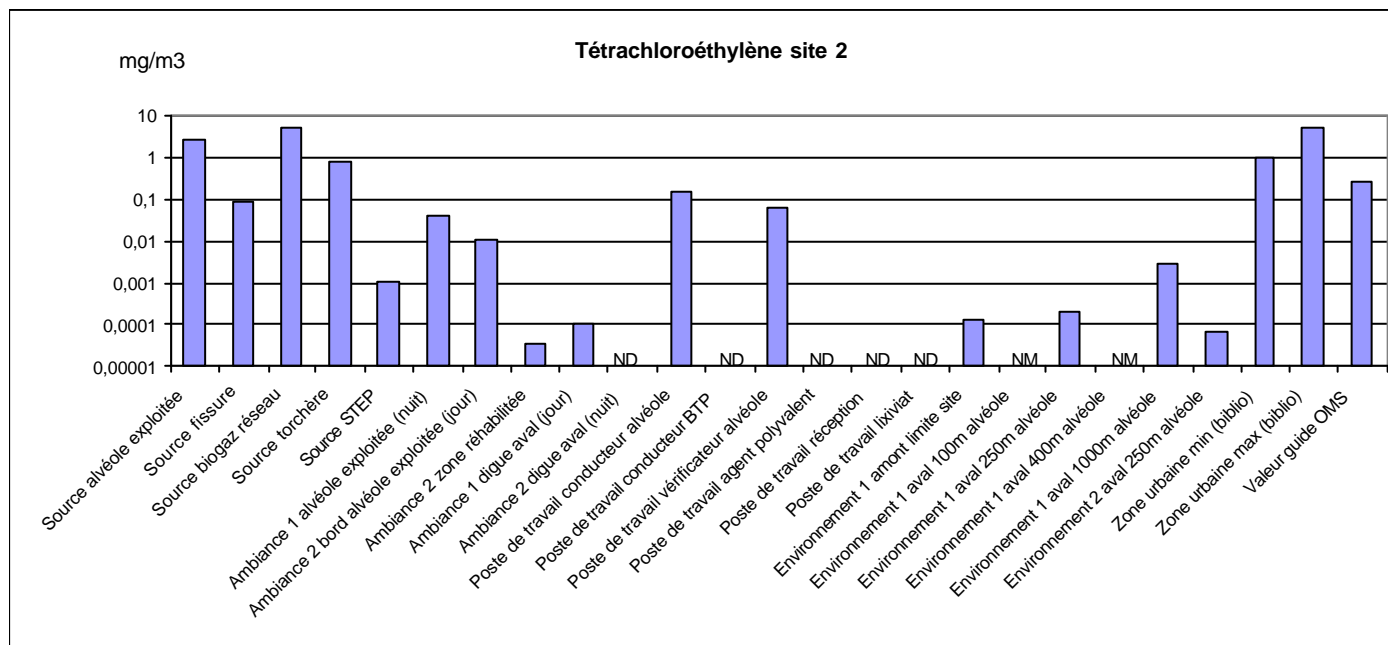


Figure 9 Le formaldéhyde- SITE 1

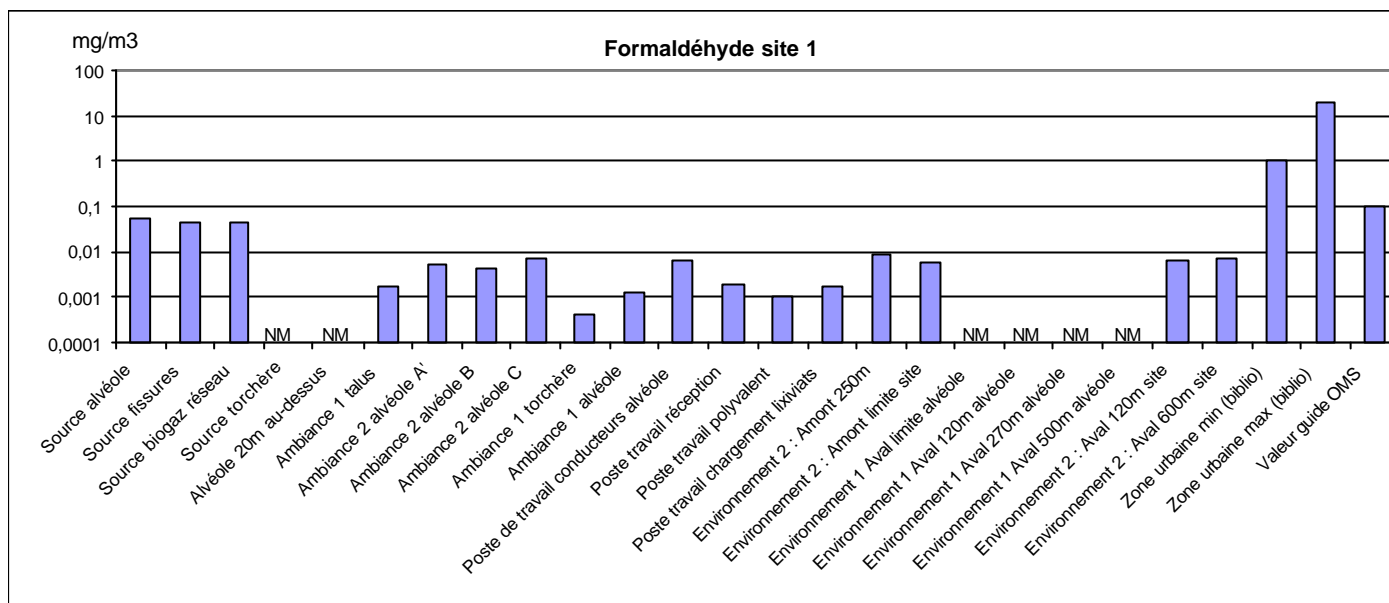


Figure 10 : Le formaldéhyde – SITE 2

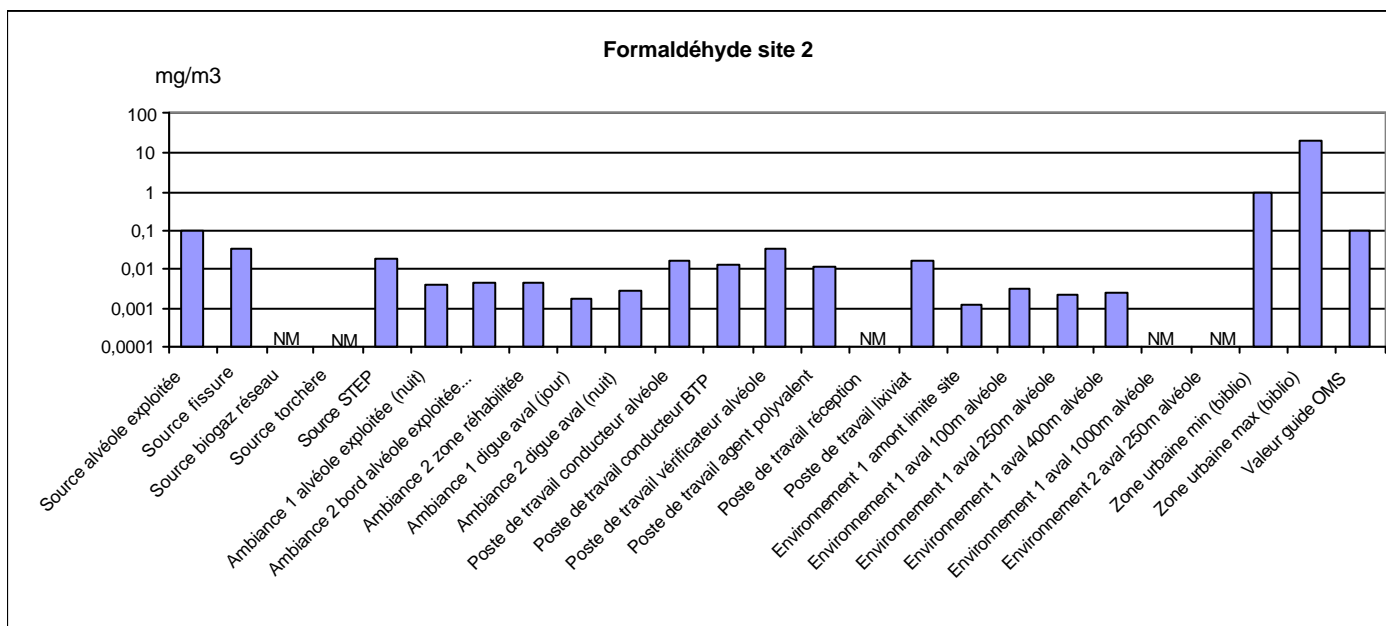


Figure 11 : L'acétone-SITE 1

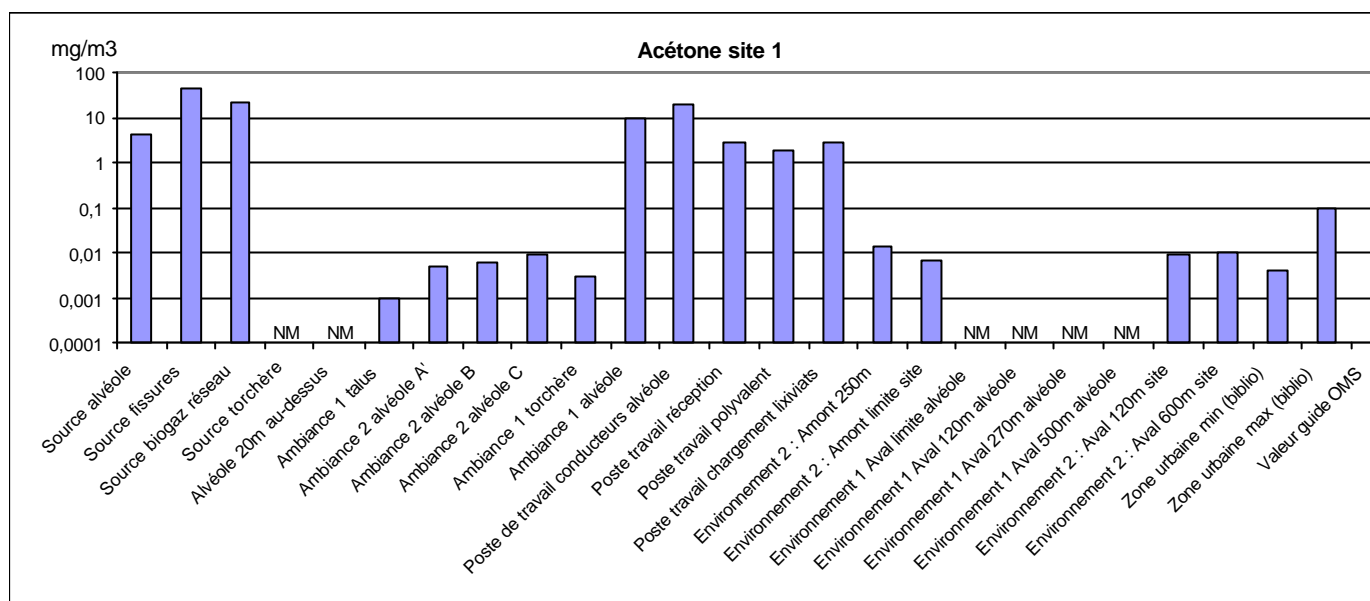


Figure 12 : l'acétone – SITE 2

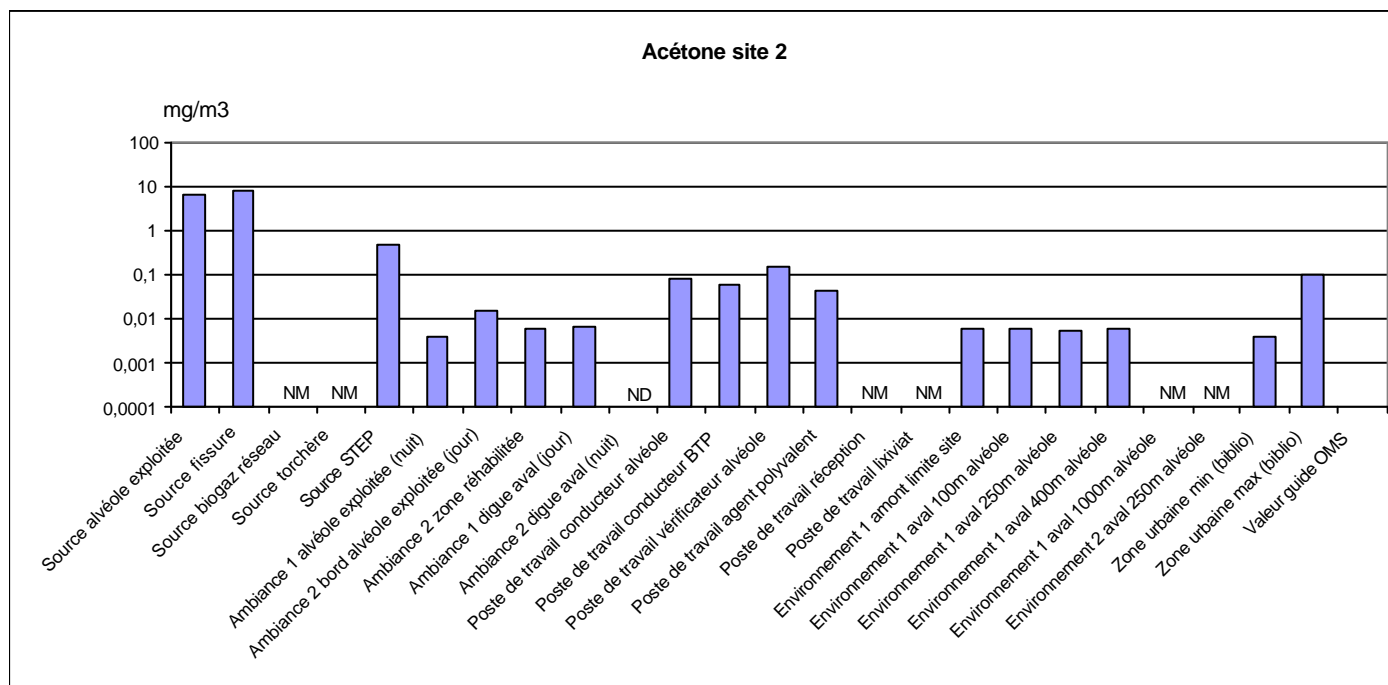


Figure 13 : Les poussières totales – SITE 1

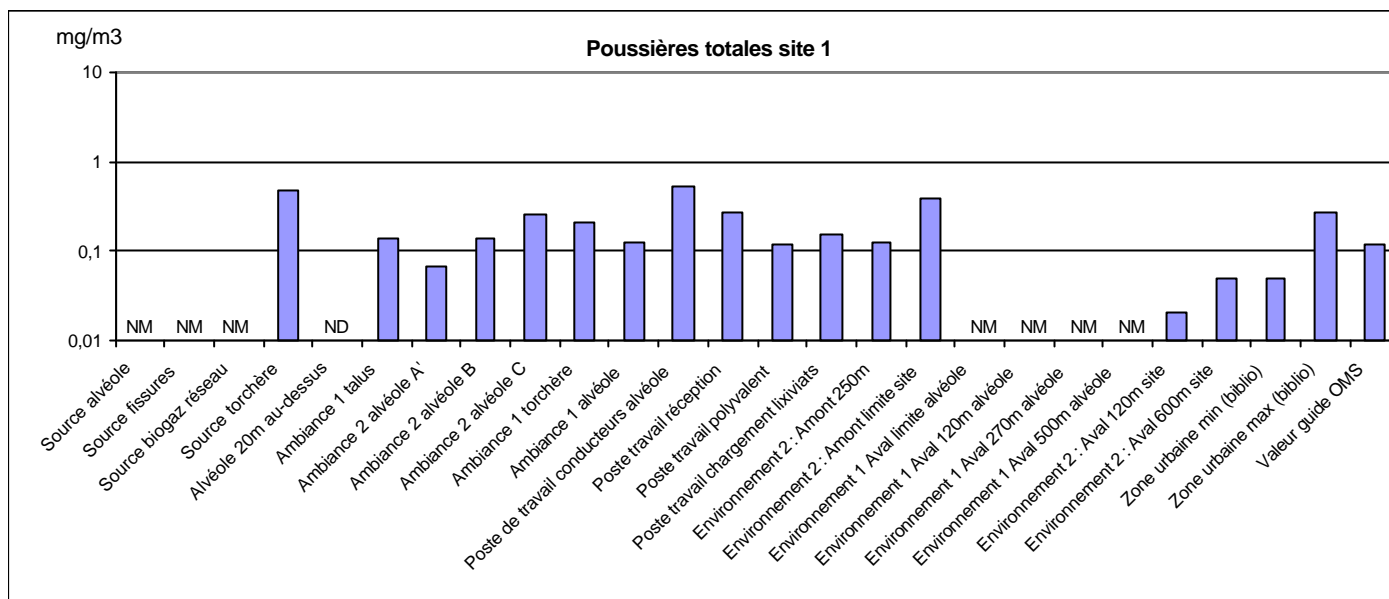


Figure 14 : Les poussières totales – SITE 2

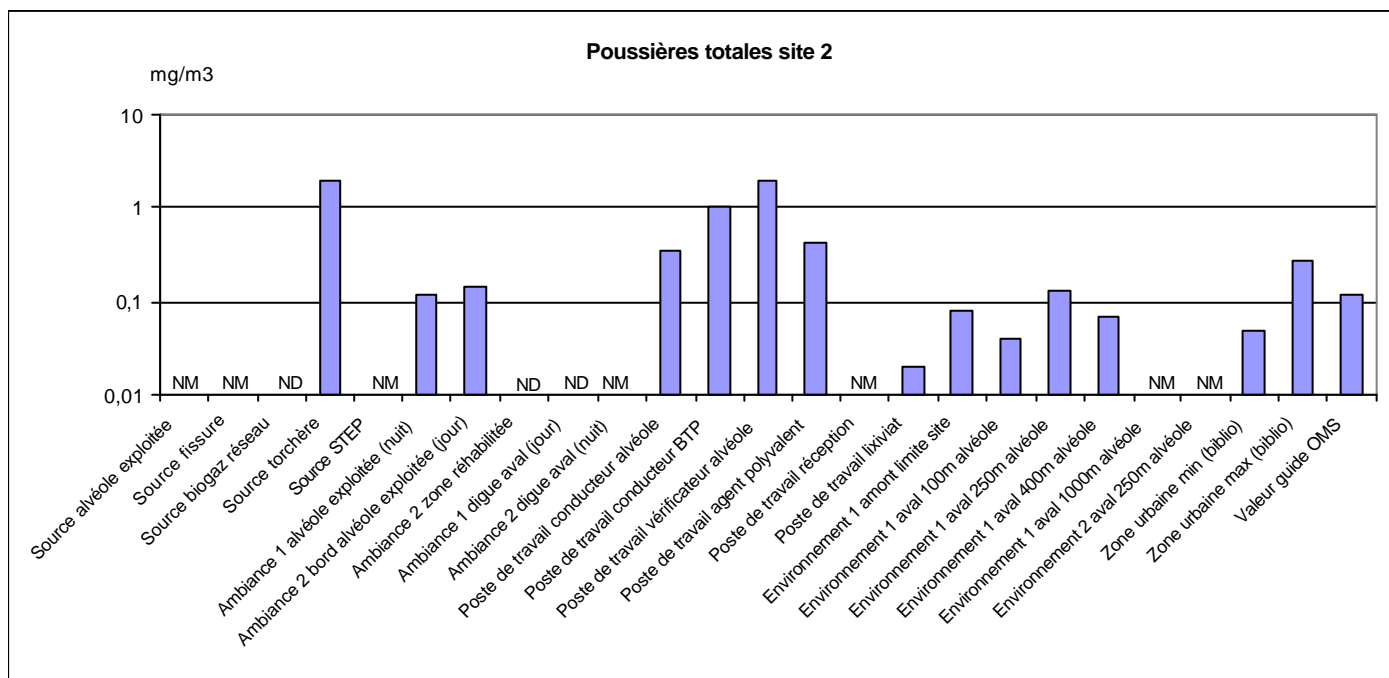


Figure 15 : Manganèse particulaire – SITE 1

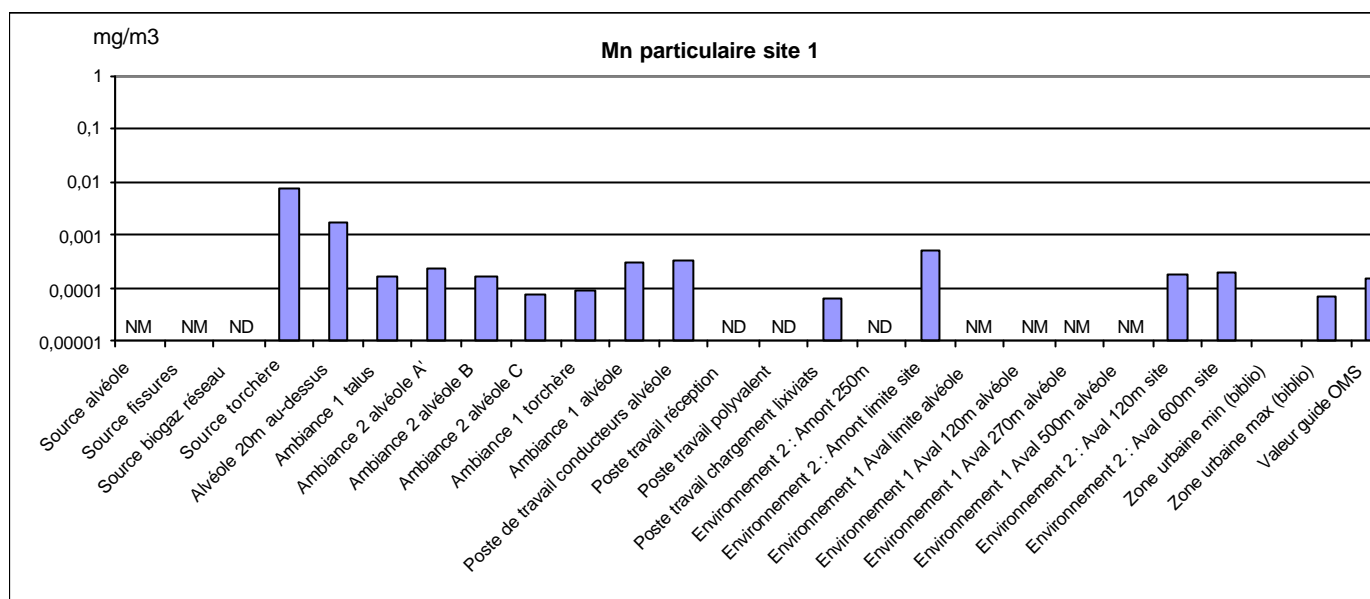


Figure 16 : Manganèse particulaire – SITE 2

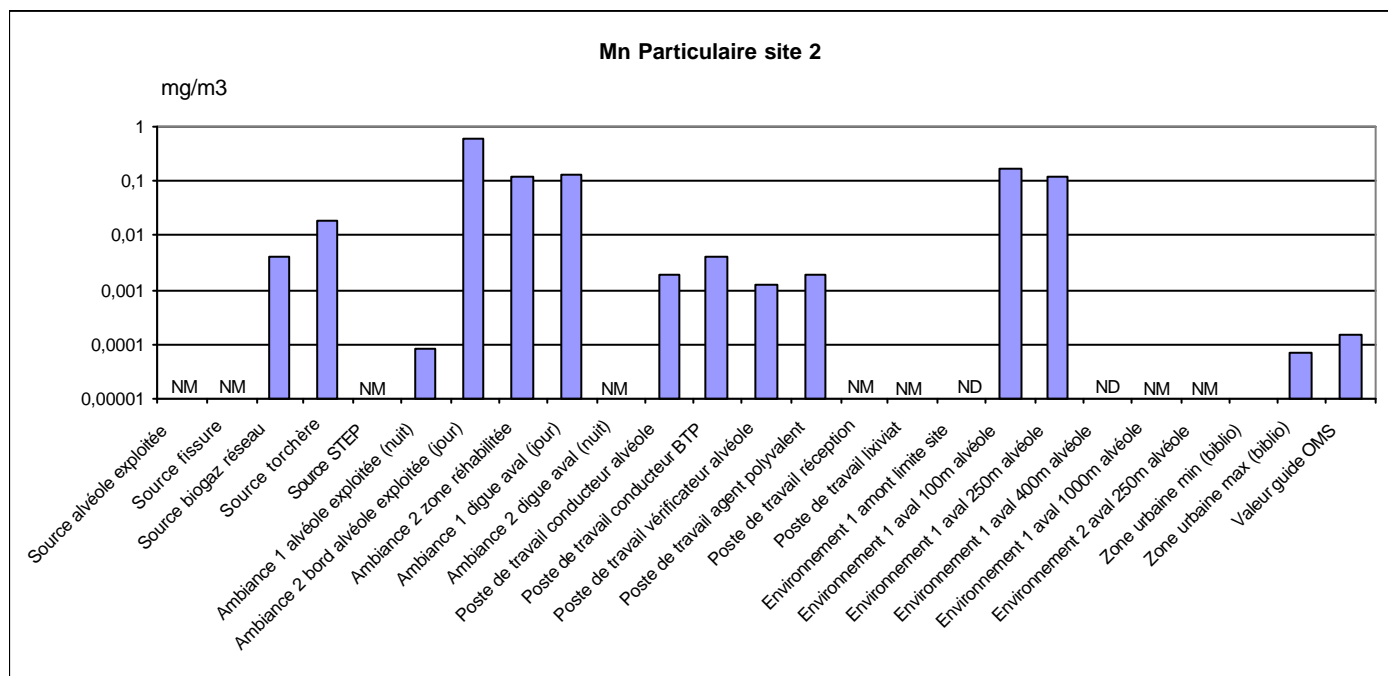


Figure 17 : Fluoranthène particulaire : SITE 1

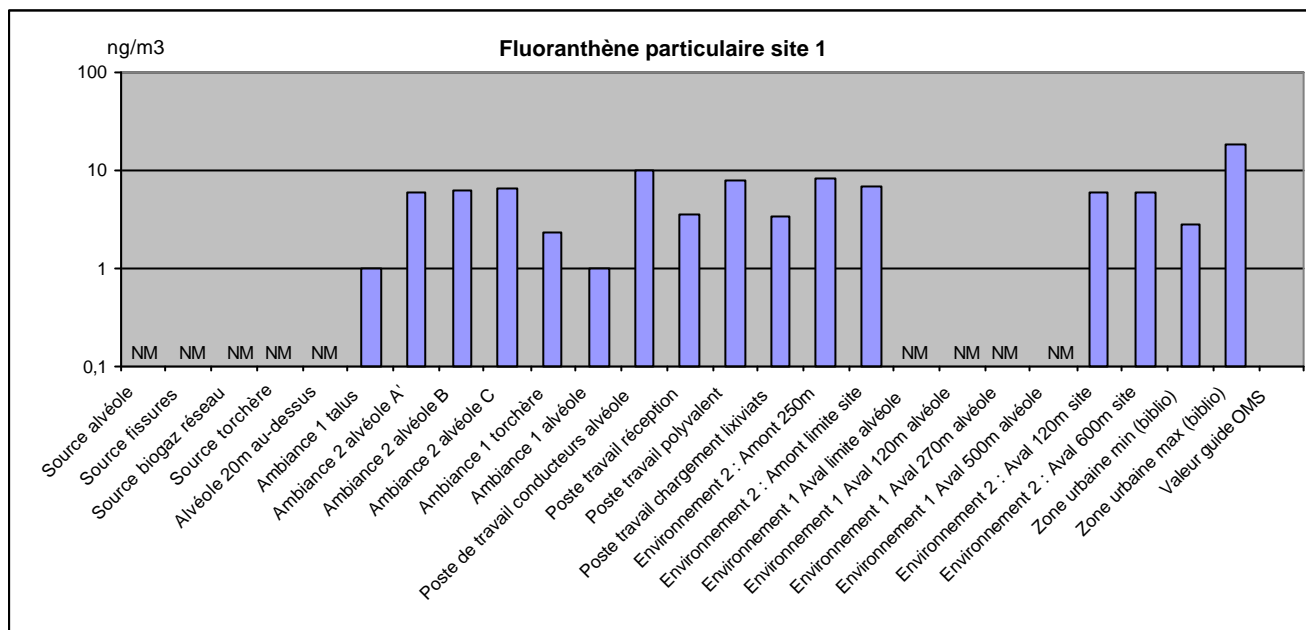


Figure 18 : Fluoranthène particulaire – SITE 2

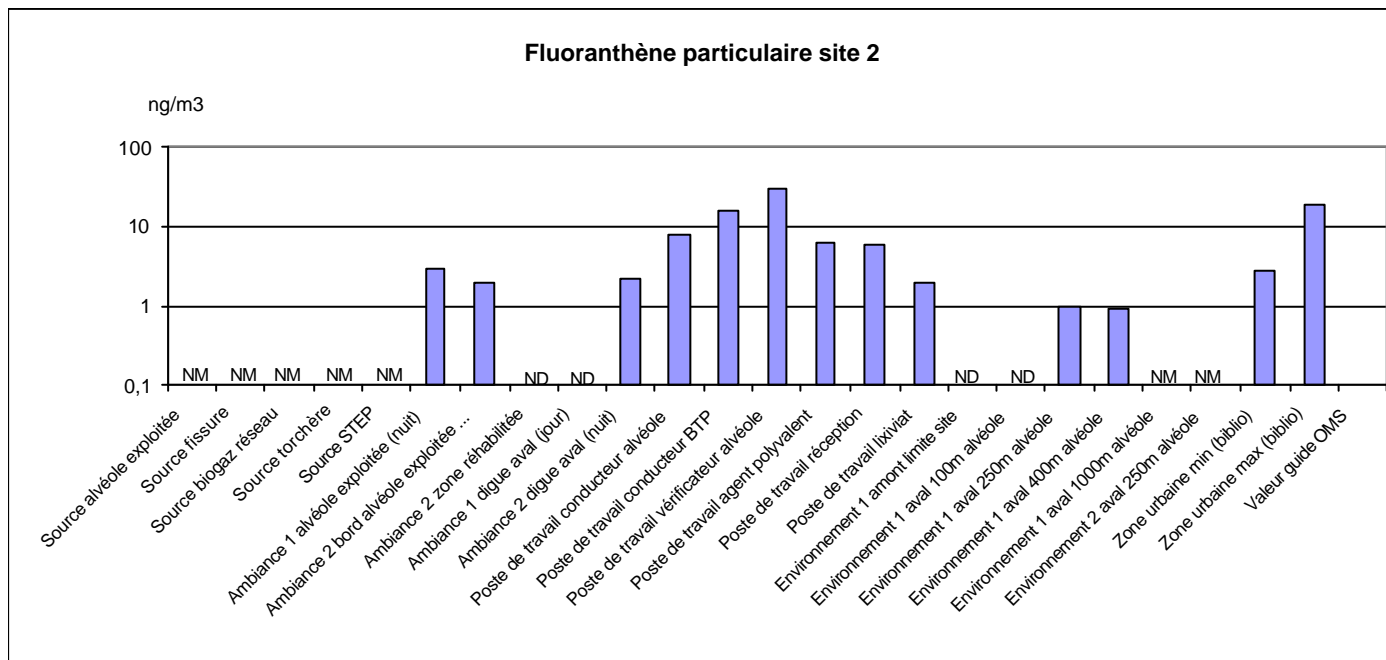


Figure 19 : Limonène – SITE 1

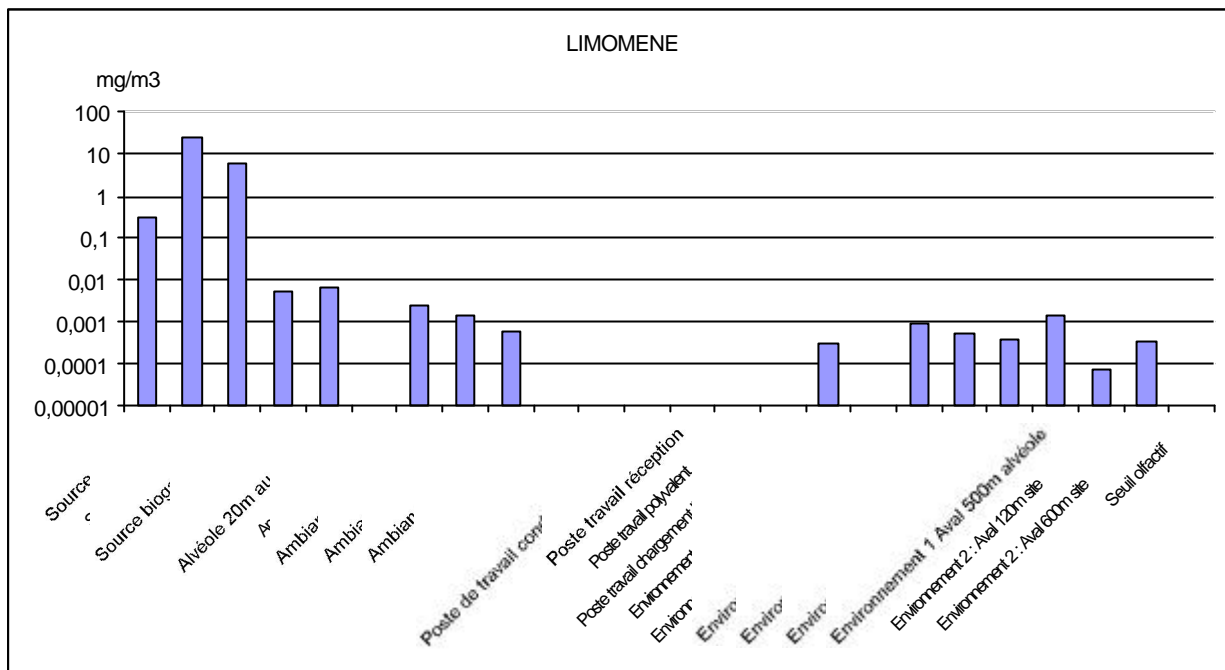
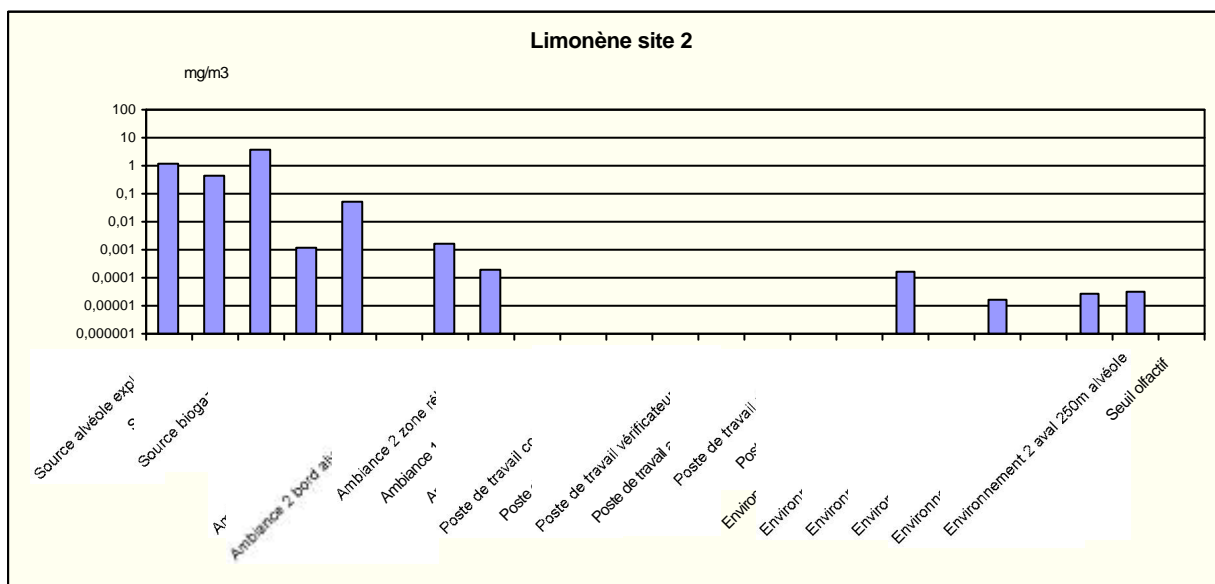


Figure 20 : Limonène – SITE 2



B. Métrologie microbiologique aérienne sur site et dans l'environnement des riverains

1. A l'émission

Les résultats sont synthétisés dans les graphiques ci-après.

1.1. Site 1

(1) Bactéries

Les concentrations bactériennes les plus élevées ($> 10^4$ CFU/m³) sont retrouvées dans le biogaz (réunion des 3 lignes) et en sortie de la fissure de l'alvéole B. En ces 2 points on retrouve une forte proportion de bactéries Gram négatif dont l'impact potentiel sur la santé peut être important par le biais des endotoxines composant la paroi de ces bactéries.

Des concentrations de l'ordre de 10^3 CFU/m³ avec une prédominance de bactéries Gram positif sont retrouvées au niveau de l'alvéole en cours d'exploitation, de la zone où des lixiviats apparaissent à la surface et de la fissure de l'alvéole A'. L'identification de ces bactéries Gram positif ne montre pas de particularités par rapport à d'autres types d'environnements.

Enfin des concentrations plus faibles de l'ordre de 10^2 CFU/m³ sont mesurées au niveau du terrain et en sortie des puits de drainage des biogaz. Pour ces derniers, une forte condensation s'est produite au moment du prélèvement, rendant difficile l'interprétation quantitative des résultats.

Des actinomycètes thermophiles sont détectés en différents points mais à des concentrations relativement peu élevées.

(2) Champignons

Les plus fortes concentrations sont relevées au niveau du biogaz et également au niveau de l'alvéole en cours d'exploitation (déchets de 10 jours). A ces 2 points on note une très nette prédominance de l'espèce *Aspergillus fumigatus*, témoignant de la décomposition des déchets. Au niveau des déchets du jour, les concentrations sont plus basses ($> 10^3$ CFU/m³) et moins monomorphes.

Au niveau des fissures, de la zone avec lixiviats et du terrain, la flore fongique est relativement abondante mais les espèces identifiées sont caractéristiques de l'environnement extérieur en cette saison (prédominance de *Cladosporium* et *Alternaria*).

Au total pour ce site, on retient que le biogaz est une source importante d'émission de bactéries et notamment de Gram négatif, les déchets eux-mêmes étant plutôt une source d'émission de bactéries Gram positif dont l'impact sanitaire est moins important.

En ce qui concerne les champignons, le biogaz mais également les déchets relativement récents (10 jours) sont une source importante d'émission d'*Aspergillus fumigatus*, espèce témoignant de la décomposition des déchets mais dont l'impact sur la santé est également à considérer, puisque ce champignon allergisant peut être responsable de pathologies sévères chez les personnes immuno-déprimées. Aux autres points, les espèces et concentrations retrouvées sont classiques de l'environnement extérieur et ne semblent pas être influencées par l'activité exercée sur le site.

1.2. Site 2

(1) Bactéries

Les concentrations les plus élevées sont retrouvées au niveau de l'alvéole en exploitation ($> 10^5$ CFU/m³) mais là encore il s'agit essentiellement de bactéries Gram positif.

Le biogaz contient là aussi de nombreuses bactéries notamment Gram négatif.

Les mesures effectuées sur l'ancienne décharge et à l'entrée du tunnel montrent des concentrations du même ordre (environ 10^3 CFU/m³) avec présence de Gram négatif ($>10\%$), liées à l'activité du site.

Au niveau de la station d'épuration, des concentrations élevées sont détectées près de la lagune, où un aérosol était émis pendant la mesure par un brassage de l'eau. Aux autres points, les concentrations sont beaucoup plus basses.

(2) Champignons

Comme sur le premier site, l'alvéole en exploitation et le biogaz contiennent une flore fongique importante où prédomine l'*Aspergillus fumigatus*. On retrouve cependant le même type de flore au niveau de l'ancienne décharge et à l'entrée du tunnel, flore qui ne peut pas être attribuée à un environnement extérieur classique.

Au total pour ce site, les émissions sont du même type que sur le premier site. La principale différence observée est l'influence de l'activité exercée qui apparaît sur la flore fongique à l'entrée du tunnel et au niveau de l'ancienne décharge.

1.3. Conclusions

Cette première partie a permis de caractériser les sources d'émission de microorganismes aéroportés des 2 centres étudiés.

Les **biogaz** contiennent des quantités importantes de bactéries et notamment de Gram négatif.

Les **alvéoles** en cours d'exploitation sont une source d'émission de bactéries Gram positif et surtout de champignons de type *Aspergillus fumigatus*.

Les **lixiviats** sont une source importante de bactéries Gram positif mais pas de champignons.

La **station d'épuration** émet en quantité des bactéries lorsque l'eau est brassée.

Rappelons que les mesures ont pour la plupart été effectuées sous bâche, ce qui entraîne une **concentration** des émissions. Le retentissement sur les niveaux réels dans l'air ambiant, sur le site lui-même ou à l'extérieur du site, est dépendant de nombreux autres facteurs : vitesse et direction des vents, humidité, température, précipitations...

En ce qui concerne la **méthodologie** à appliquer pour la suite de l'étude, seul le milieu Chapman sera supprimé puisque les bactéries Gram positif détectées ne présentent pas de particularité par rapport à d'autres types d'environnement et sont aussi détectées sur le milieu pour tous germes Trypticase-Soja. On conservera en revanche le milieu Malt-Agar à 42°C plus spécifique du genre *Aspergillus*, le milieu Rose-Bengale permettant d'isoler d'autres espèces fongiques, le milieu Trypticase-Soja au demi à 52°C puisque des actinomycètes thermophiles ont été retrouvés, et le milieu Drigalski étant donné l'importance des bactéries Gram négatif.

Bien que la plupart des prélèvements de 2 minutes soient saturés dans cette phase de l'étude, on conservera également les durées de prélèvement de 30 secondes et 2 minutes puisque les niveaux dans l'air ambiant seront a priori plus bas car dilués.

Enfin, pour différencier la part d'aérobiocontamination liée au site lui-même de celle de l'environnement extérieur, des points de prélèvement témoins au vent donc non influencés par l'activité du site seront ajoutés.

Figure 23 Concentrations bactériennes au niveau des sources sur le site 1.

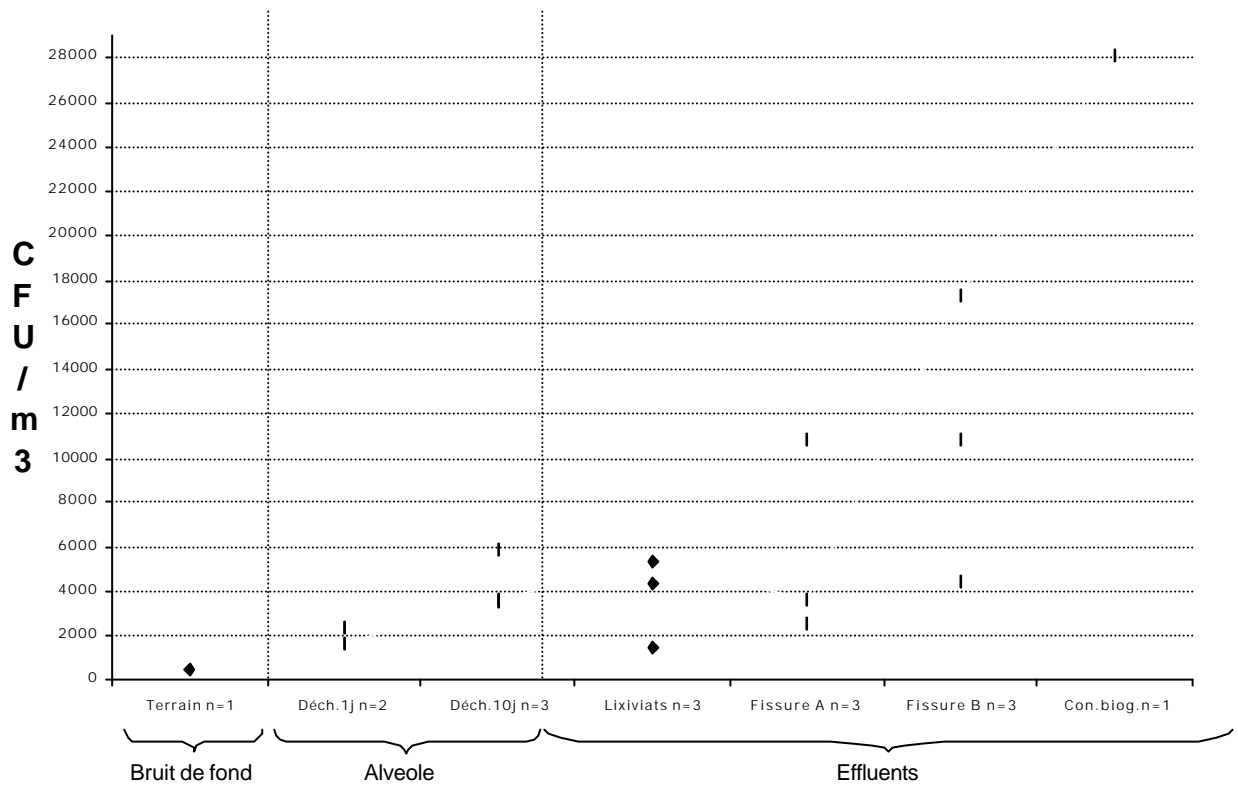


Figure 24 : Concentrations bactériennes au niveau des sources sur le site 2

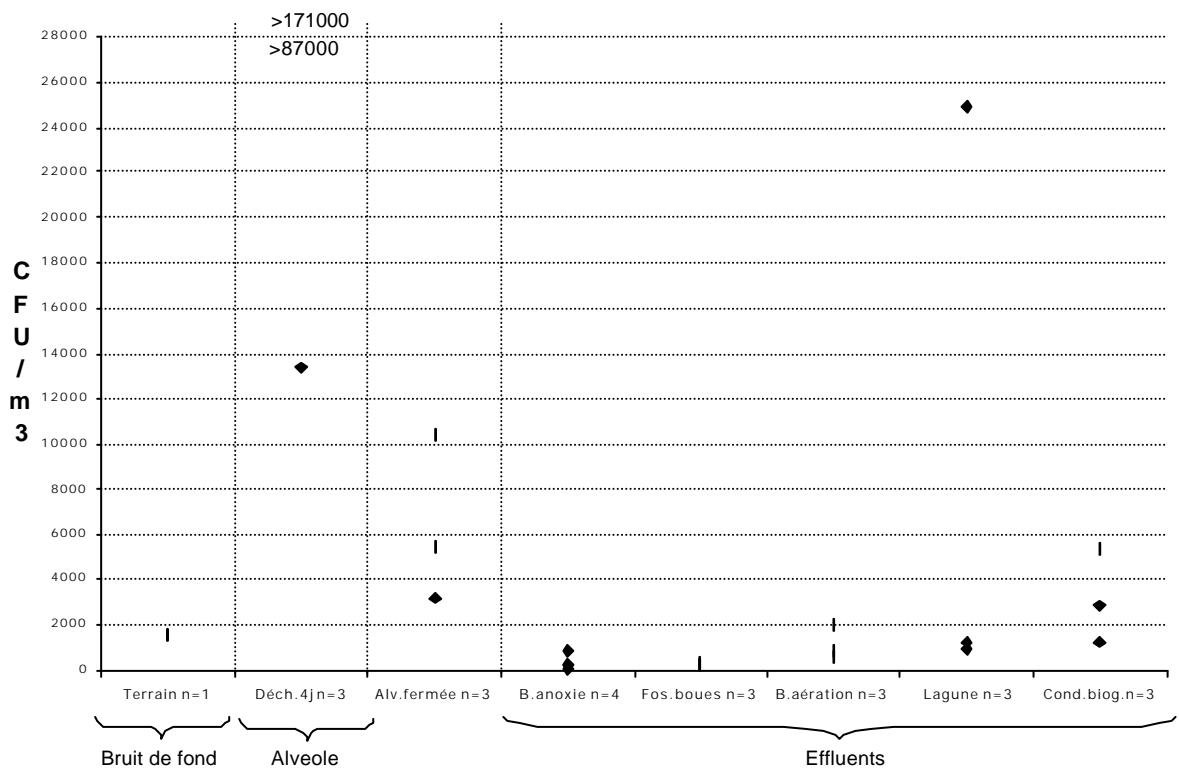


Figure 25 : Concentrations fongiques au niveau des sources sur le site 1.

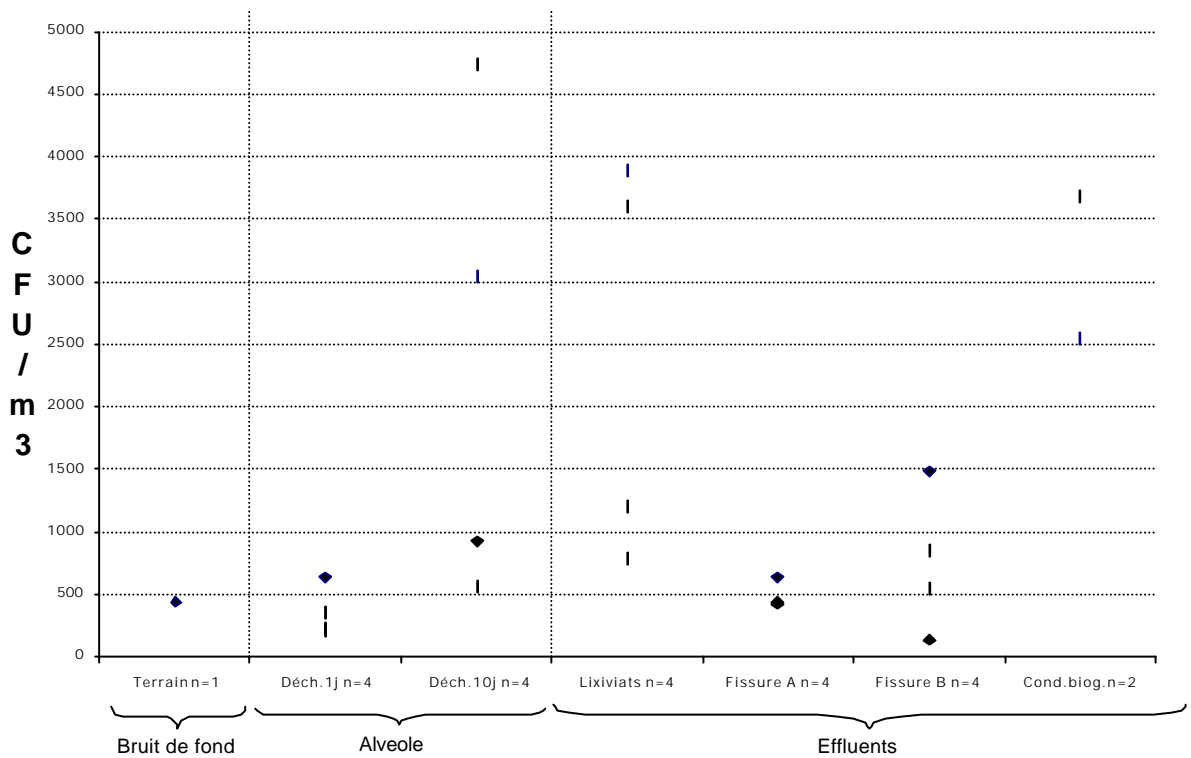
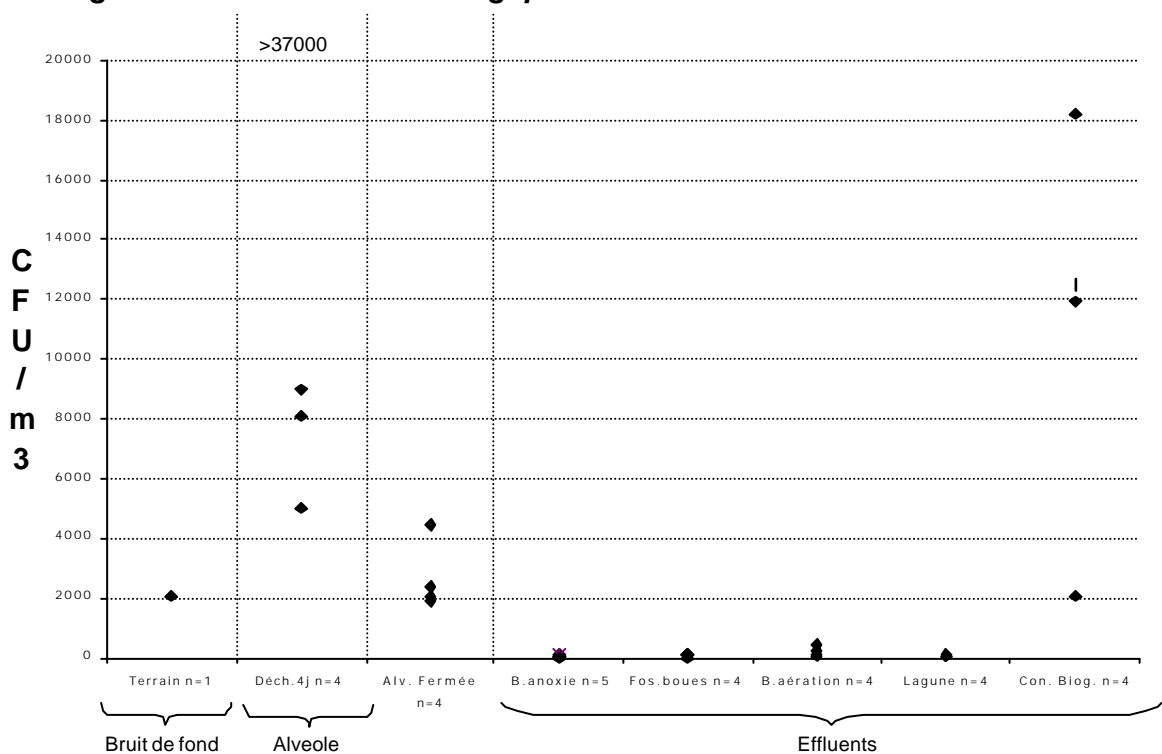


Figure 26 : Concentrations fongiques au niveau des sources sur le site 2.



2. Dans l'ambiance des sites

Les résultats sont synthétisés dans les graphiques ci-après (Annexe B-6).

2.1. Points Témoins

Qualitativement pour les 2 sites, la flore bactérienne retrouvée au niveau des points témoins est polymorphe (microcoques, *Bacillus sp.*, staphylocoques coagulase négative, corynébactéries, présence de quelques bactéries à Gram négatif), tout à fait classique pour un environnement extérieur.

Quantitativement les concentrations bactériennes sont aussi classiques pour le site 1 (moyenne de 4.10^2 CFU/m³) et relativement élevées pour le site 2 (5.10^2 à 2.10^3 CFU/m³).

Pour ce qui concerne les champignons, les concentrations (de l'ordre de 10^2 CFU/m³) sont également classiques pour un environnement extérieur, avec une flore polymorphe, et notamment sur le site 1 une flore caractéristique de l'air extérieur (majorité de *Cladosporium* et *Alternaria*).

2.2. Alvéole

Les concentrations bactériennes sont très variables (3.10^2 à 2.10^4 CFU/m³ sur le site 1, 2.10^3 à 2.10^5 CFU/m³ pour le site 2) mais peuvent atteindre des niveaux très élevés, supérieurs de 100 fois (1000 fois pour le site 2) aux niveaux habituellement retrouvés dans un environnement extérieur classique.

Sur le plan qualitatif on trouve comme à l'émission essentiellement des bactéries à Gram positif, une faible proportion de bactéries à Gram négatif (environ 1%) mais qui peuvent dépasser le seuil communément admis de 1000 CFU/m³ en cas de pic supérieur à 10^5 CFU/m³ de bactéries totales (cas sur le site 2).

Les plus fortes concentrations supérieures à 10^5 CFU/m³ sur le site 2 ont été mesurées pendant le déchargement d'un camion à quelques mètres du point de mesure, ce qui confirme la possibilité d'émission de pics et l'importance des conditions environnementales sur les résultats (activité exercée à proximité, direction et force des vents).

Les mesures effectuées au bord de l'alvéole mais au vent par rapport à la zone de déchargement révèlent des concentrations beaucoup plus basses de l'ordre de 2 à 5.10^3 CFU/m³, sans bactéries à Gram négatif.

Les concentrations de champignons sont de l'ordre de 10^3 sur le site 1 et de 10^4 CFU/m³ sur le site 2. La composition de la flore est variable, avec souvent la prédominance de *Penicillium* ou de levures sur le site 2, et la prédominance d'une espèce ou d'une autre sur le

site 1, dans tous les cas il s'agit d'une flore qualitativement différente d'une flore extérieure classique. Il est probable que la composition varie en fonction des déchets sur lesquels passe l'air avant d'arriver au point de prélèvement.

Les concentrations d'endotoxines sont basses sur les 2 sites ($< 12 \text{ EU/m}^3$), très inférieures aux niveaux considérés comme susceptibles d'engendrer des troubles chez les personnes exposées (50 EU/m^3) (Heederick, 1997). Les prélèvements étant effectués sur plusieurs heures, ces analyses, contrairement à celle des microorganismes viables, ne reflètent pas l'exposition à des pics mais un niveau moyen.

2.3. Réception

Les concentrations bactériennes sur les 2 sites (comprises entre 2 et 7.10^3 CFU/m^3) sont supérieures à celles habituellement retrouvées dans l'air intérieur.

Les concentrations fongiques sont variables, variant entre 2.10^2 et $3,5.10^3 \text{ CFU/m}^3$. Sur le plan qualitatif on trouve des prédominances variables (90% d'*Aspergillus fumigatus* lors d'un prélèvement par exemple), témoignant de l'influence d'éléments extérieurs variables et non d'une source interne (qui donnerait une contamination plus constante qualitativement).

La proximité du passage des camions lors de la pesée et l'ouverture fréquente des portes est probablement responsable des niveaux mesurés.

2.4. Lixiviats

Les mesures effectuées pendant le pompage des lixiviats sur le site 1 révèlent des concentrations bactériennes de l'ordre de 10^3 CFU/m^3 (500 pour les champignons) puis sont multipliées par 30 (10 pour les champignons) au moment de l'arrêt du pompage. Au moment de ce pic les espèces bactériennes et fongiques sont classiques de l'environnement extérieur (majorité de Gram positif, flore fongique polymorphe) et ne sont pas caractéristiques des lixiviats (environ 40% de Gram négatif pendant le pompage ou en aval de la STEP du site 2).

Il s'agit probablement d'un phénomène d'appel d'air au moment de l'arrêt de la pompe.

Sur le site 2, le prélèvement réalisé au vent par rapport à la lagune de la STEP révèle une concentration bactérienne de $1,7. 10^3 \text{ CFU/m}^3$ composée uniquement de bactéries Gram positif. Le point situé sous le vent, où la concentration est deux fois plus importante, comprend près de la moitié de bacilles Gram négatif polymorphes (*Comamonas testoroni*, *Moraxella sp.*, *Acinetobacter lwoffii*, *Burkholderia cepacia*).

Les concentrations fongiques sont comparables (de l'ordre de 4.10^2 CFU/m^3) avec une flore polymorphe.

Les concentrations d'endotoxines mesurées sous le vent sont de 1,5 et 1,7 EU/m³.

2.5. Biogaz

A proximité des effluents de biogaz sur le site 2, les concentrations en bactéries totales varient de $2 \cdot 10^3$ à $1,2 \cdot 10^4$ CFU/m³ avec des concentrations relativement importantes de bacilles Gram négatif polymorphes, atteignant 10^3 CFU/m³ (*Pasteurella pneumotropica*, *Ochrobactrum anthropi*, *Stenotrophomonas maltophilia*).

Les concentrations de levures et champignons varient entre $2 \cdot 10^3$ et $1,2 \cdot 10^4$ CFU/m³. Qualitativement, le genre *Penicillium* est prédominant mais non isolé.

Figure 27 : Concentrations bactériennes d'ambiance sur le site 1.

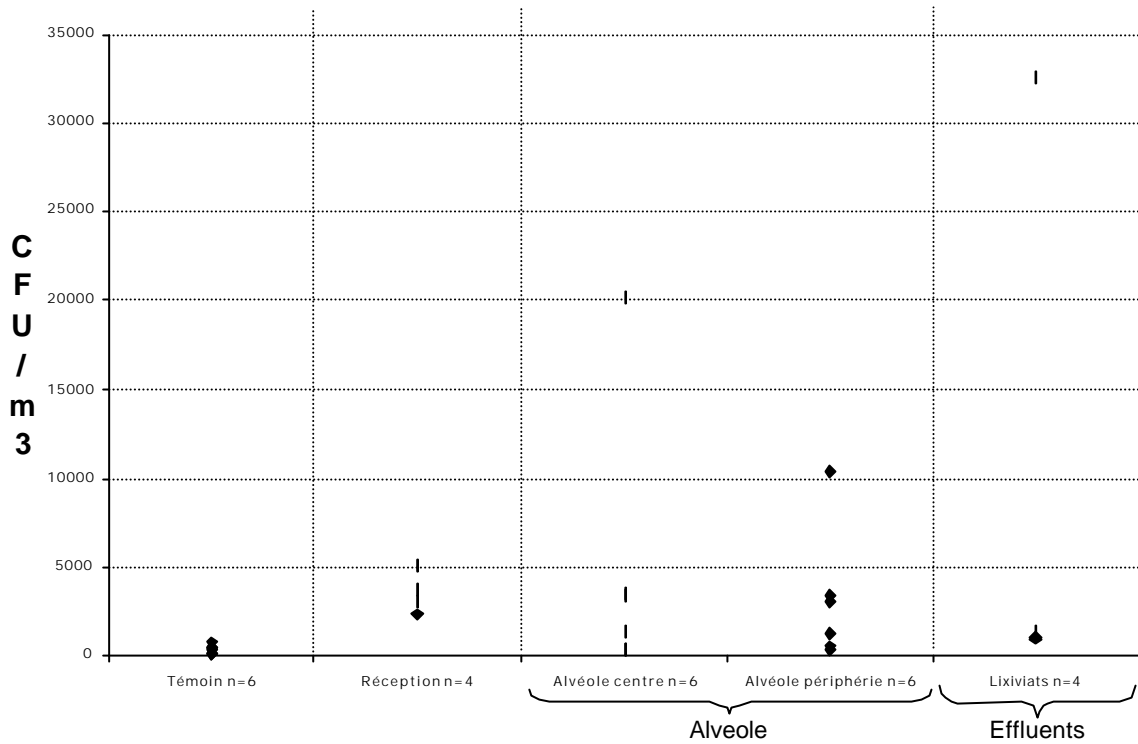


Figure 28 : Concentrations bactériennes d'ambiance sur le site 2.

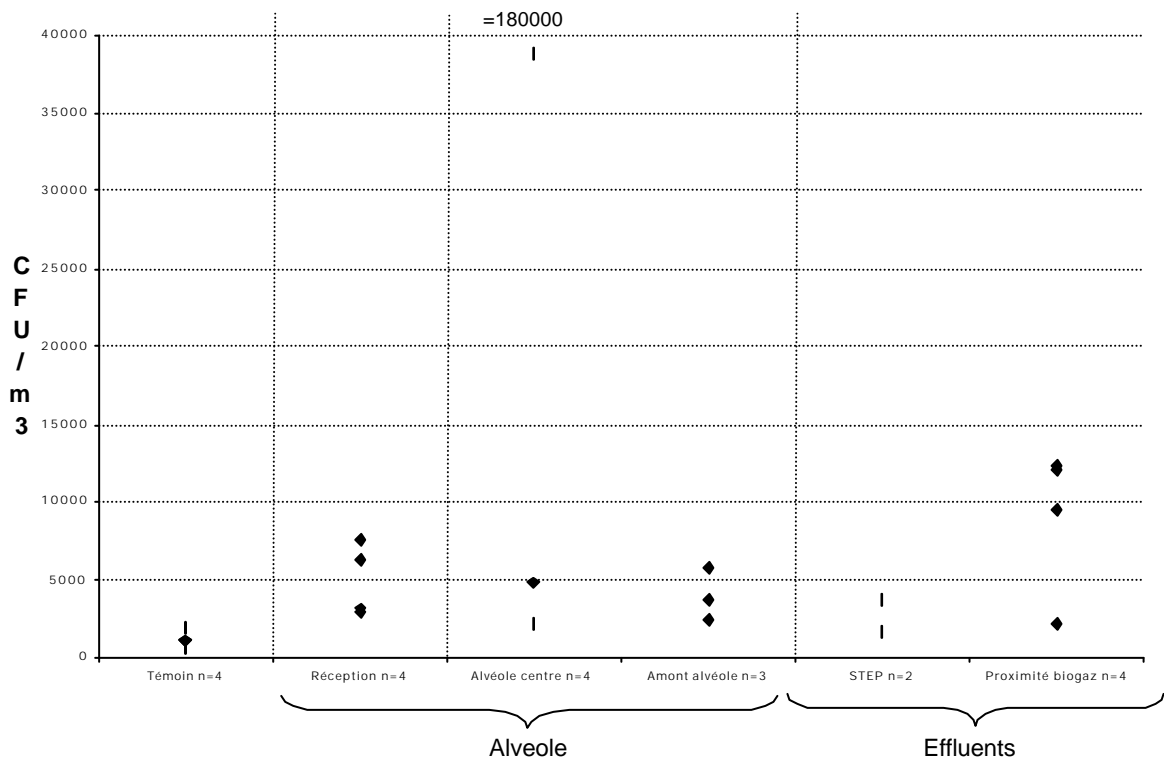


Figure 29 : Concentration fongique d'ambiance sur le site 1.

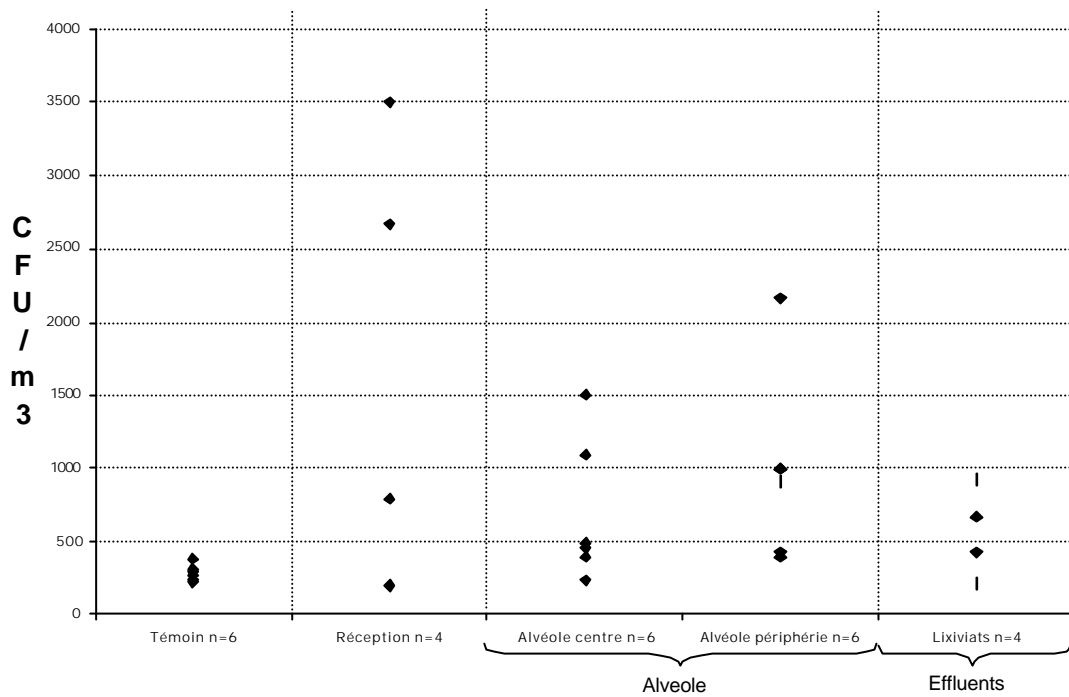


Figure 30: Concentration fongique d'ambiance sur le site 2.

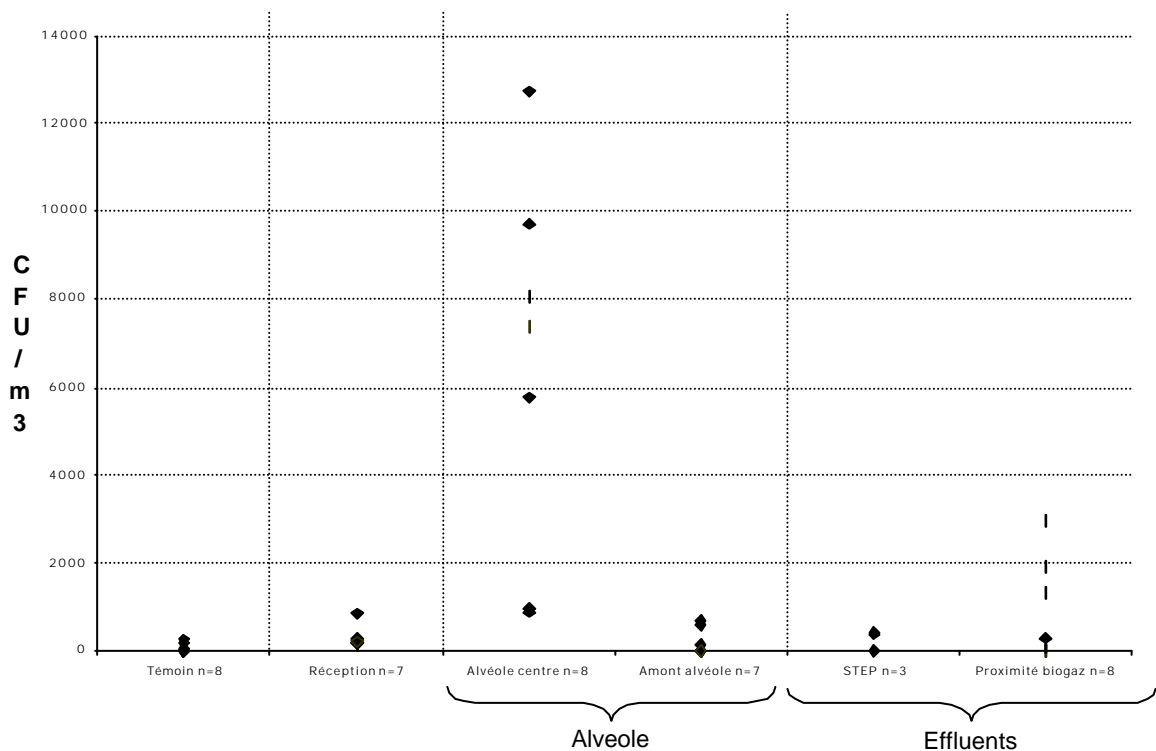
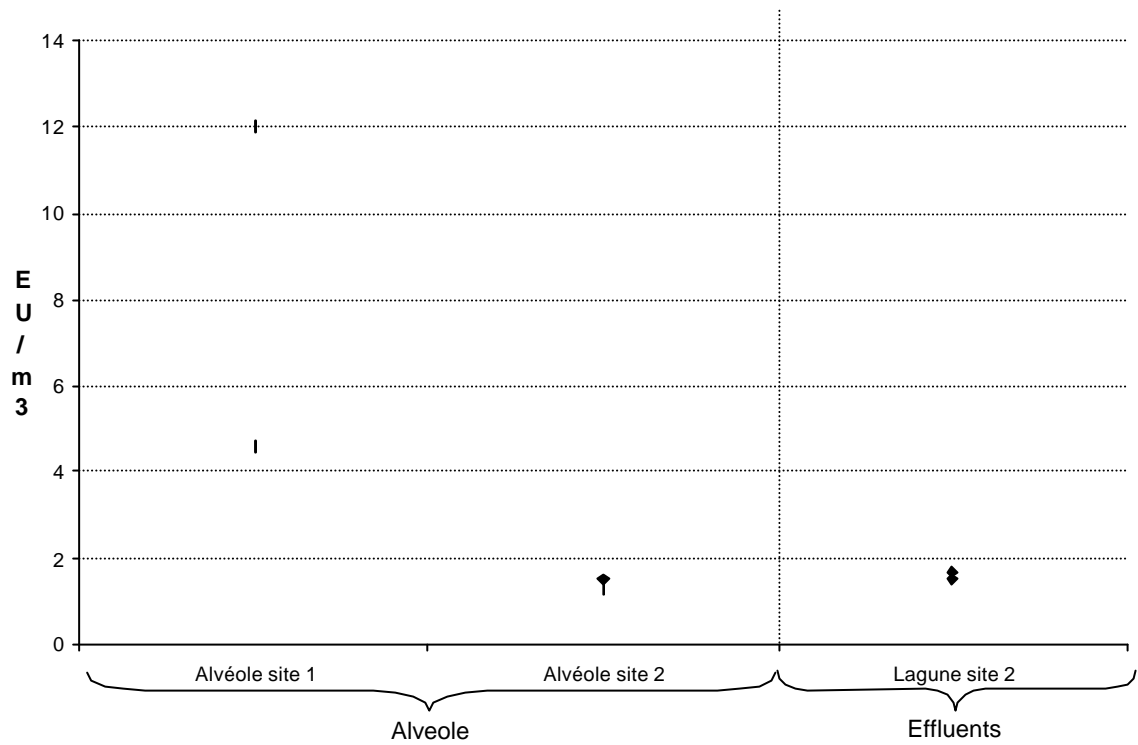


Figure 31: Concentrations d'endotoxines sur les sites 1 et 2.



3. Dans l'environnement en amont et en aval vers les riverains

Les résultats sont synthétisés dans les graphiques ci-après.

3.1. Site 1

Les mesures effectuées en aval par rapport au vent (vers les riverains) révèlent des concentrations bactériennes relativement basses, inférieures à 200 CFU/m³, avec des espèces tout à fait classiques d'un environnement extérieur. Ces résultats se retrouvent même lorsque les prélèvements ont été effectués au même moment qu'un déchargement d'ordures ménagères ou de boues de lixiviats par des camions sur l'alvéole. Ces concentrations sont supérieures à celles mesurées en amont (37 CFU/m³) mais restent correctes pour de l'air extérieur.

Les concentrations de champignons sont plus élevées, entre 500 et 1300 CFU/m³ mais restent équivalentes à celles mesurées en amont du site et surtout sont représentées par des espèces caractéristiques de l'air extérieur (majorité de *Cladosporium*, *Alternaria*) et peu par des espèces caractéristiques du site (*Aspergillus fumigatus*, *Penicillium*). Ces niveaux sont en relation avec l'environnement très verdoyant où ont été effectuées les mesures et la saison.

Cependant au cours d'un déchargement d'ordures ménagères, des concentrations importantes de levures ont été mesurées (9000 CFU/m³), provenant très probablement du site.

Au total, il est très probable que les microorganismes émis sur le site de la décharge soient emportés vers l'extérieur du site (notamment au moment du déchargement des camions).

Cependant du fait de l'importante dilution dans l'air extérieur, le retentissement quantitatif sur l'environnement des riverains semble rester faible au vu de ces premiers résultats.

Notons que sur ce site le jour des mesures, la direction du vent était changeante. Les courtes durées de prélèvements permettent néanmoins de prélever au moment précis où la direction du vent est bien celle correspondant au point de prélèvement.

3.2. Site 2

Sur ce site le jour des mesures, la direction du vent était constante. Hormis le point au bord de l'alvéole, on observe bien une décroissance des concentrations en fonction de l'éloignement du point de prélèvement pour les bactéries et les champignons.

Sur le plan qualitatif on retrouve bien les mêmes espèces bactériennes que sur l'alvéole (Gram positif essentiellement) ; pour les champignons, la plus forte concentration (722

CFU/m³ au point aval 85 m) est essentiellement liée à la présence d'*Aspergillus fumigatus*. (80%), caractéristique de l'alvéole également.

Au total les mesures sur le site 2 confirment qu'un retentissement est bien mesurable dans l'environnement des riverains sous le vent de l'alvéole. Les concentrations restent cependant peu élevées par rapport à celles mesurées sur l'alvéole et du même ordre que celles habituellement retrouvées dans l'air extérieur.

Ces mesures représentent une première approche du retentissement microbiologique d'un CET sur l'environnement des riverains. Par des durées d'échantillonnage nécessairement brèves, elles montrent l'existence de pics de concentration monomorphes ou à large prédominance, caractéristiques de l'alvéole.

Des mesures en continu (répétées fréquemment) permettraient de mieux évaluer la fréquence de ces pics et leur importance, et de les mettre en relation avec les différentes conditions extérieures (vitesse du vent) ou d'activités du site (par exemple un déchargement de camion).

Figure 32: Concentrations bactériennes dans l'environnement des riverains - SITE 1

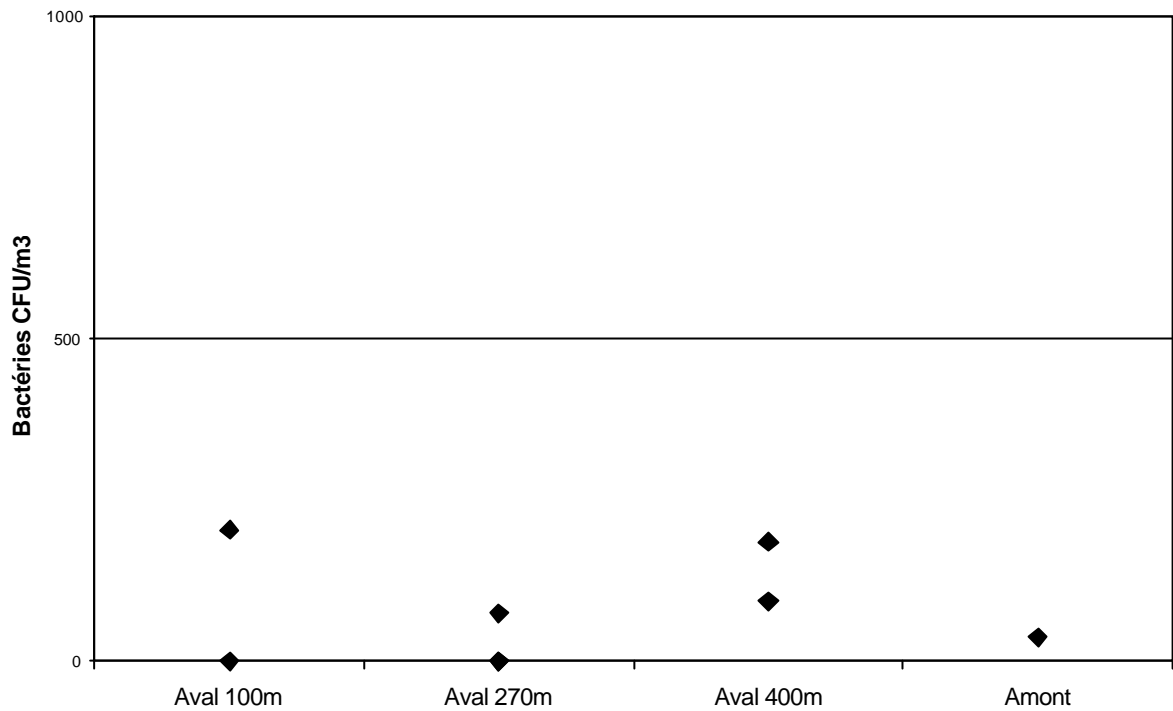


Figure 33: Concentrations fongiques dans l'environnement des riverains –SITE 1

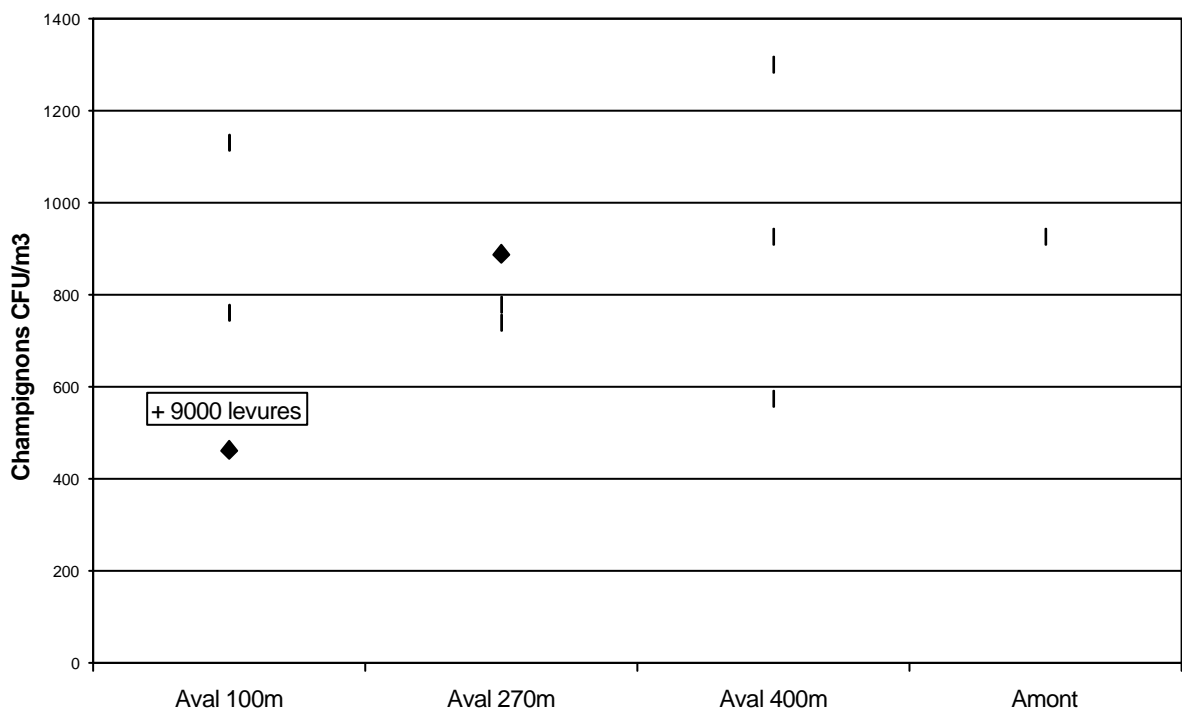


Figure 34 : Concentrations bactériennes dans l'environnement des riverains - SITE 2

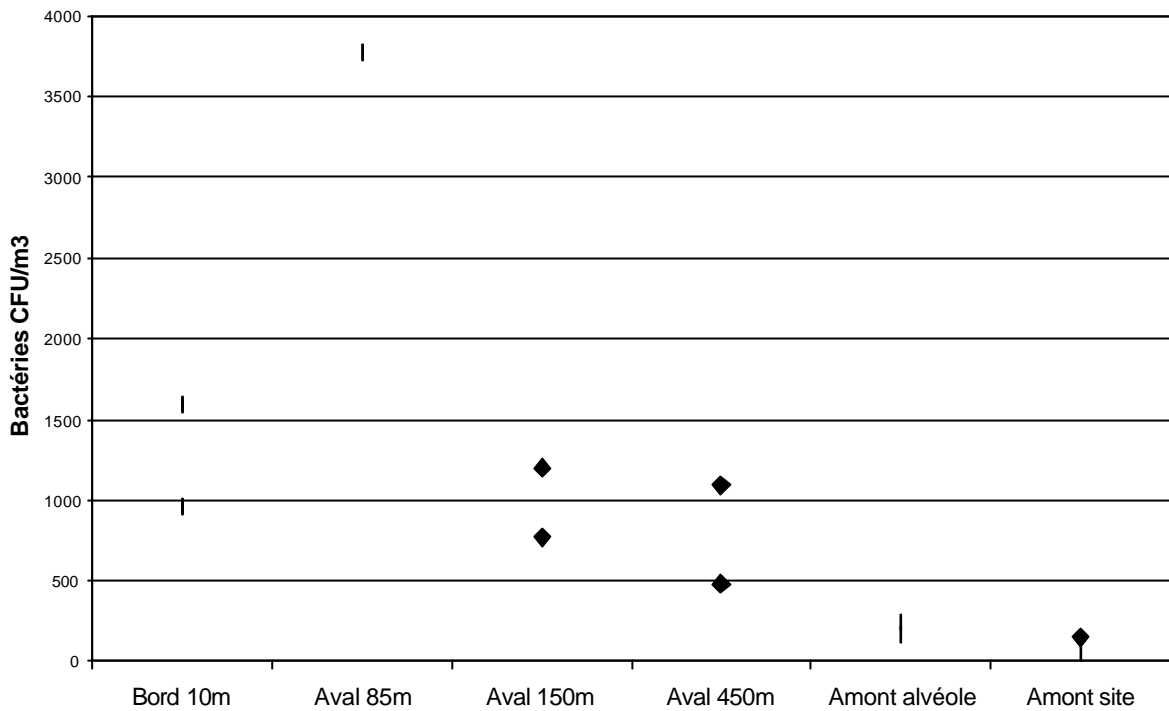
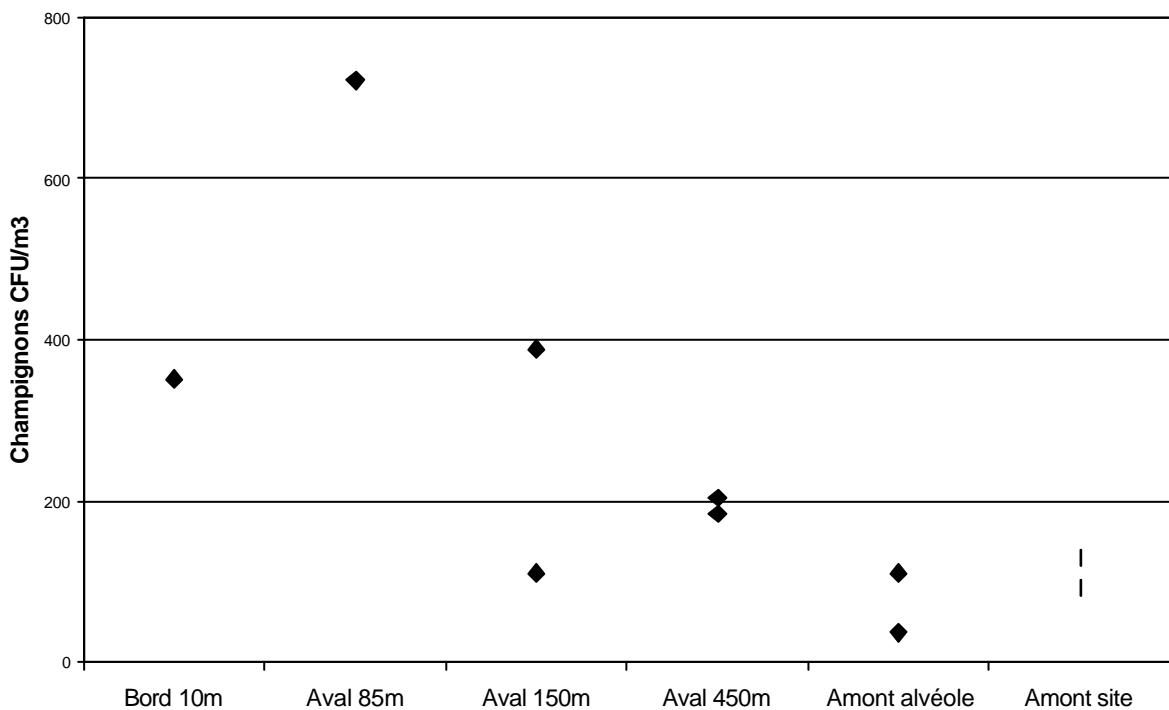


Figure 35: Concentrations fongiques dans l'environnement des riverains - SITE 2



C. L'étude des salariés

1. Caractérisations des expositions aux postes de travail

1.1. Les particules totales.

Pour le site 1.

Les taux de particules totales retrouvés varient entre 0,12 et 0,58 mg/m³.

Les salariés les plus exposés sont les conducteurs d'engins avec un taux maximum qui atteint 5,8 % de la VME (10mg/m³). Pour l'agent réception, le taux atteint 3% de la VME .

Tous les autres salariés ont une exposition inférieure à 3% de la VME.

Pour le site 2.

Sur ce site, les concentrations sont globalement plus élevées que sur le site 1.

En ambiance, les niveaux sont de 0,12 mg/m³ sur l'alvéole de nuit pour varier de 1,5 à 7,5 mg/m³ sur la même alvéole de jour.

Pour les prélèvements individuels, les taux les plus élevés sont retrouvés auprès du vérificateur en poste sur l'alvéole avec un chiffre qui atteint plus de 53% de la VME. Viennent ensuite les conducteurs d'engins BTP et de l'alvéole avec des taux maximum respectifs de 14% de la VME et de 8% de la VME. Pour les agents réception et polyvalent, l'exposition est d'environ 5% de la VME.

Il n'existe pas de différence significative entre les niveaux d'exposition des conducteurs d'engins de l'alvéole des deux sites.

Par contre, sur le site 2, les conducteurs BTP ont une exposition significativement plus importante que les conducteurs d'engins de l'alvéole ($p < 0,05$).

Pour les 2 sites témoins.

Les concentrations varient entre 0,02 et 0,17 mg/m³.

1.2. Les particules alvéolaires.

Pour le site 1.

Les concentrations varient entre 0,04 et 0,31 mg/m³.

Les plus élevées atteignent 5 à 6% de la VME (5mg/m³) pour les conducteurs d'engins de l'alvéole. Au niveau des autres points de prélèvements, les taux sont inférieurs à 2% de la VME.

Pour le site 2.

Les concentrations varient entre 0,01 et 0,43 mg/m³.

Les plus élevées sont retrouvées sur l'alvéole de jour et auprès du vérificateur, elles représentent 5% de la VME. Au niveau des autres points de prélèvements, les taux sont inférieurs à 1% de la VME.

Pour les 2 sites témoins.

Les concentrations varient entre 0,02 et 0,06 mg/m³.

1.3. La répartition granulométrique.

La répartition granulométrique effectuée sur le site 2, au niveau de l'alvéole de jour et de nuit et auprès de l'agent vérificateur, met en évidence une exposition essentiellement due à des particules de grande taille (57 à 63% de particules supérieures à 15 µm).

Figure 36 : Concentrations en particules totales sur le site 1.

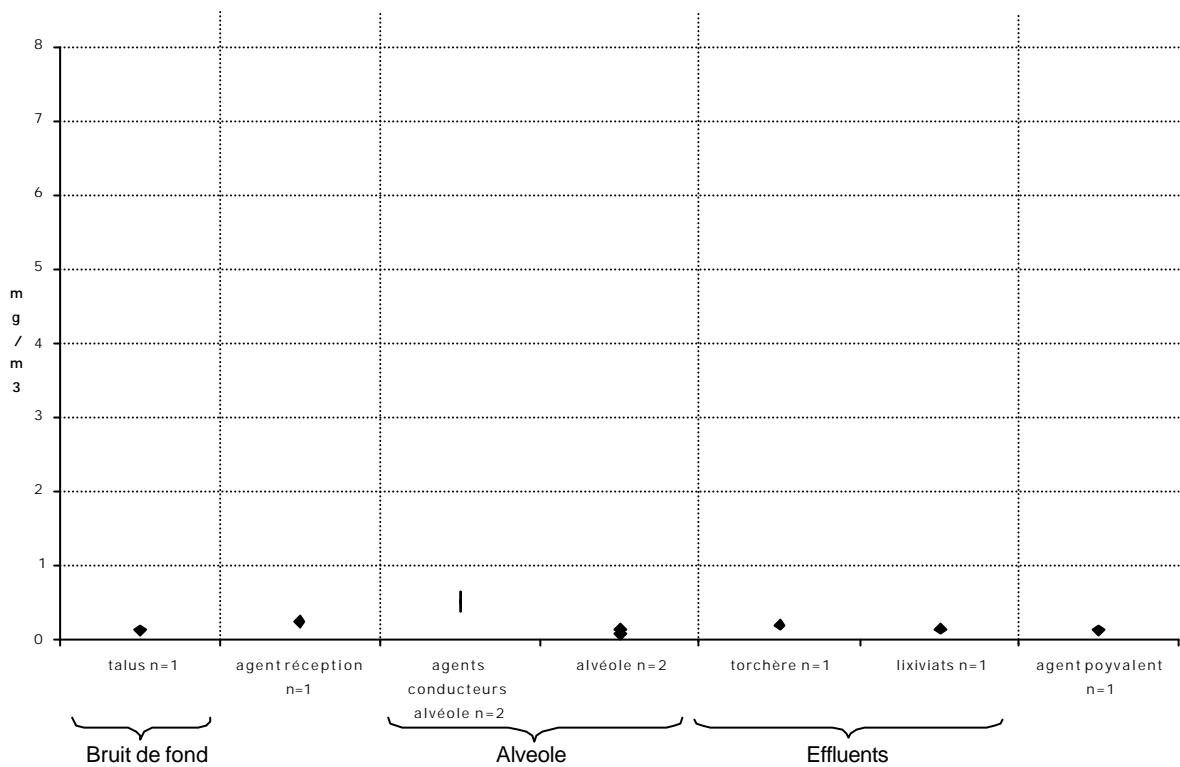


Figure 37 Concentrations en particules totales sur le site 2.

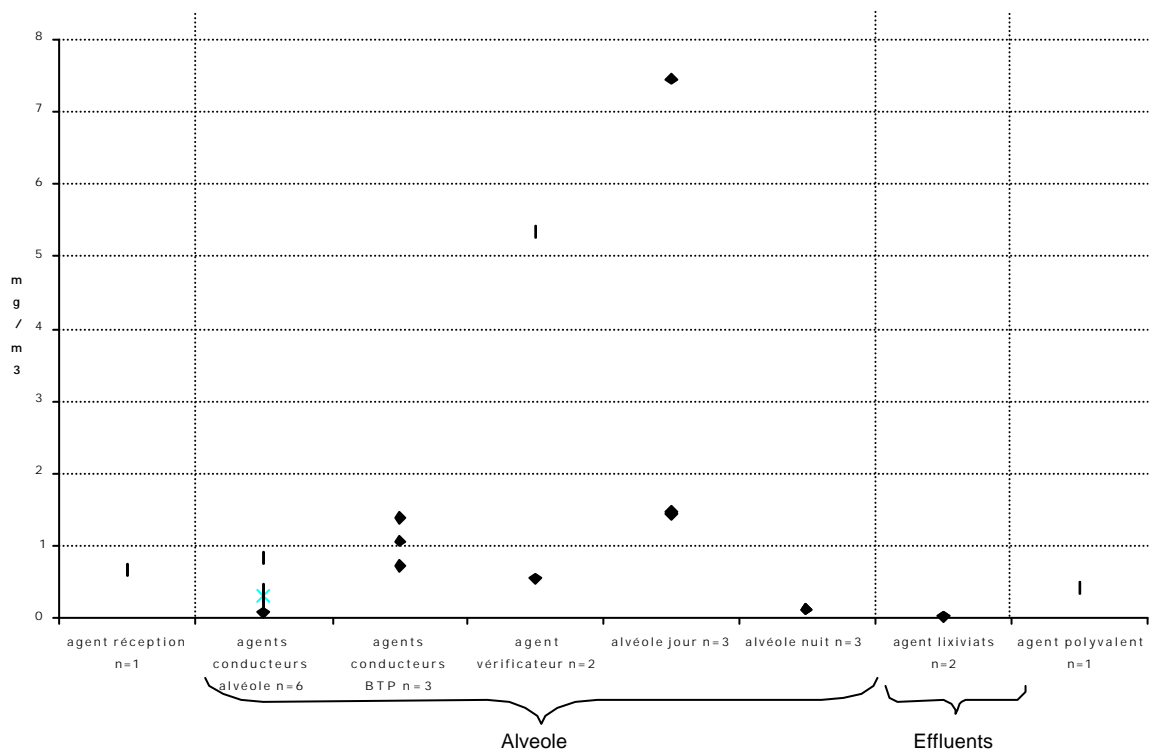
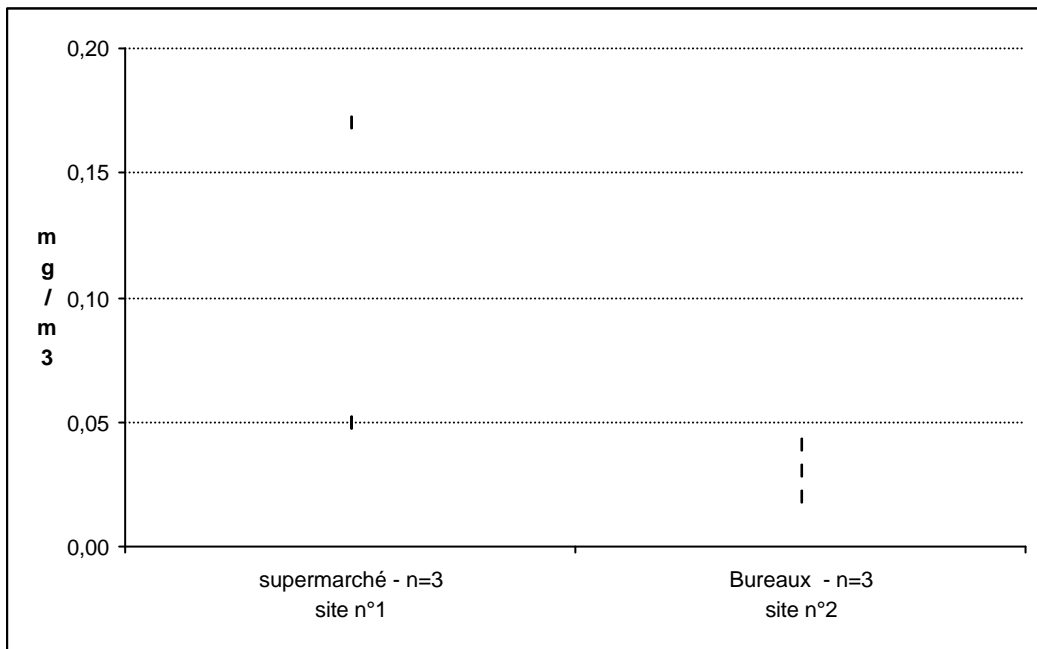


Figure 38: Concentrations en particules totales sur les deux sites témoins.



1.4. Les métaux.

Au niveau des deux sites, il n'est pas retrouvé d'arsenic. Le plomb et le manganèse sont les éléments majoritaires.

Pour le site 1.

Pour le plomb, tous les prélèvements sont inférieurs à $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, à l'exception du prélèvement réalisé auprès de l'agent polyvalent, retrouvé à $1,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ce qui est inférieur à 0,1% de la VME.

Pour le manganèse, tous les prélèvements sont inférieurs à $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, à l'exception d'un prélèvement réalisé auprès des conducteurs de l'alvéole et qui représente 0,7% de la VME.

Pour le site 2.

Pour le plomb, les concentrations varient entre 0,05 et $1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Les taux les plus importants sont retrouvés au niveau des conducteurs BTP et de l'agent polyvalent mais n'atteignent pas 0,1% de la VME.

Pour le manganèse, les taux les plus élevés se situent auprès des conducteurs BTP et de l'alvéole mais sont là encore, inférieurs à 0,7% de la VME.

De nuit, sur l'alvéole, il n'est retrouvé ni chrome, ni nickel, ni cadmium. Pour le plomb et le manganèse, les taux moyens sont respectivement près de cinq et 25 fois moins importants que les concentrations moyennes retrouvées auprès des conducteurs d'engins.

Il n'existe pas de différence significative pour les concentrations atmosphériques mesurées entre les conducteurs d'engins des deux sites.

Par contre, en dehors du manganèse, pour tous les métaux retrouvés (plomb, chrome, nickel et cadmium), les conducteurs BTP sont significativement plus exposés que les conducteurs d'engins sur le site 2. (Tableau 21).

Tableau 21: Comparaison des résultats des prélèvements atmosphériques des métaux des conducteurs de l'alvéole et des conducteurs BTP du site 2.

| | p |
|-----------|--------|
| plomb | < 0,05 |
| manganèse | NS |
| chrome | < 0,05 |
| nickel | < 0,05 |
| cadmium | < 0,05 |

Pour les 2 sites témoins

Sur les deux sites témoins, les éléments majoritaires sont le plomb et le nickel.

Pour le plomb les concentrations se situent entre 0.03 et 0.14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, concentrations peu différentes de celle qui est mesurée la nuit sur l'alvéole.

Pour le manganèse, elles varient entre 0.01 et 0.07 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ce qui représente la concentration mesurée la nuit sur l'alvéole.

Figure 39 : Concentrations en plomb et en manganèse sur le site 1.

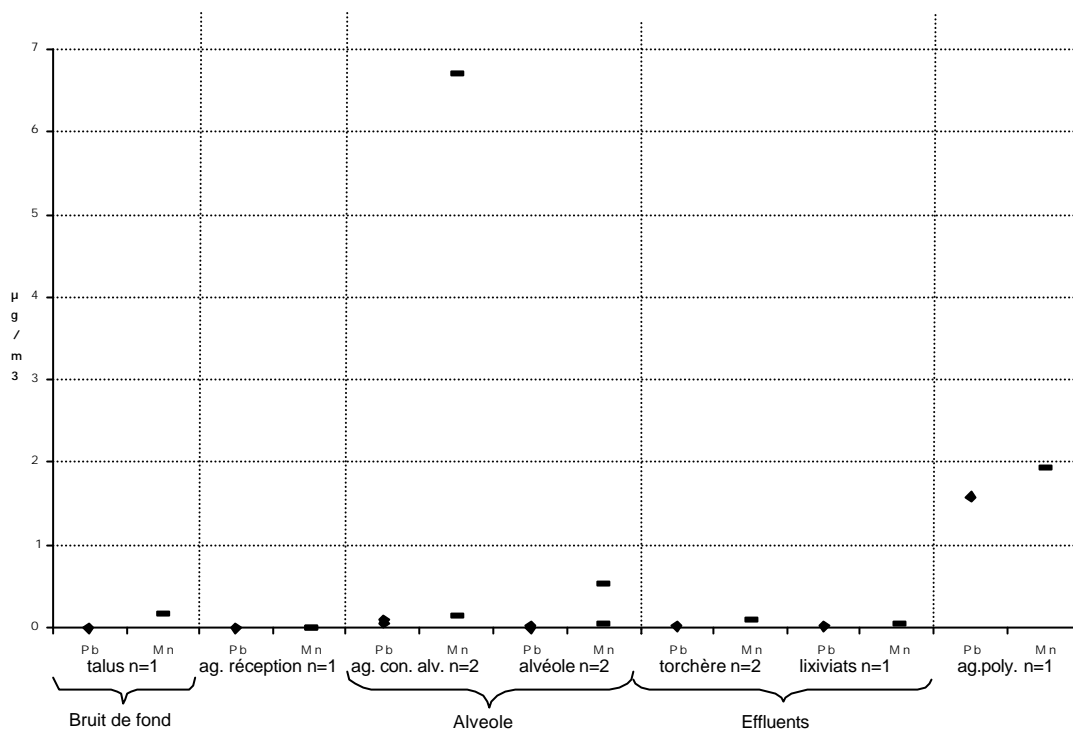


Figure 40: Concentrations en plomb et en manganèse sur le site 2.

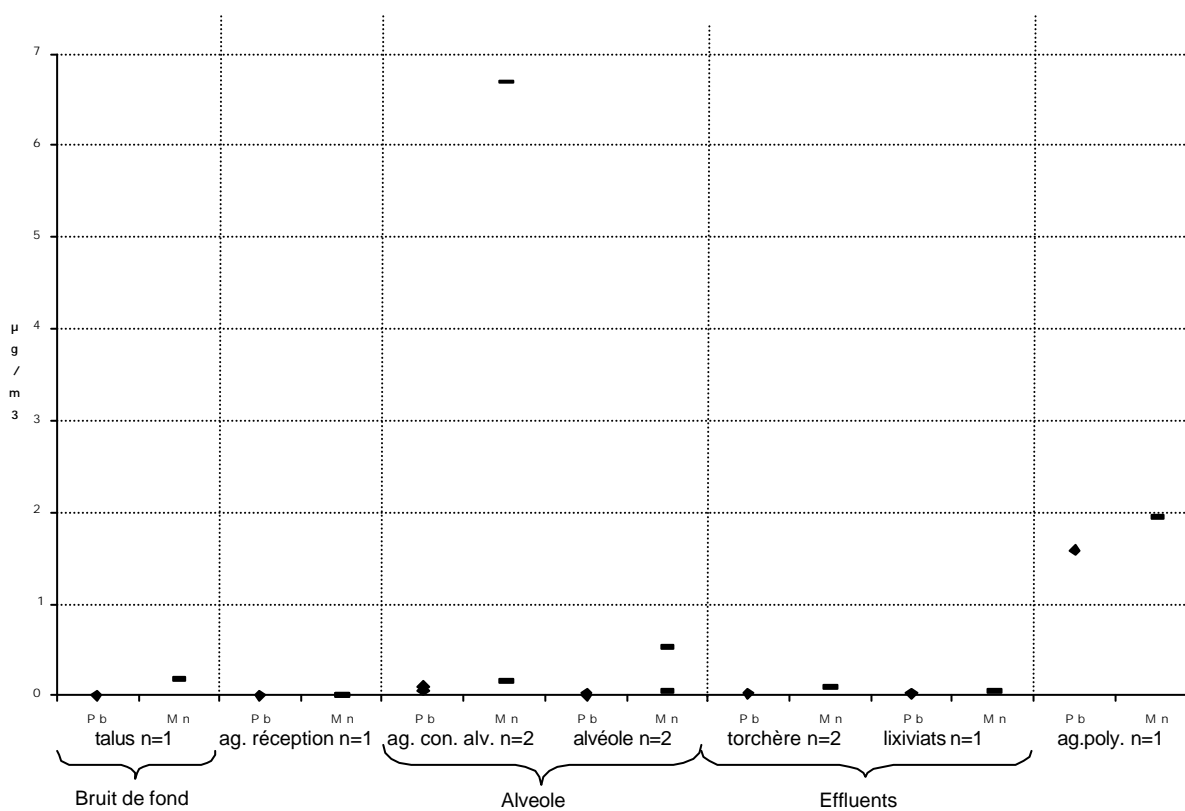


Figure 41: répartition des expositions aux métaux – SITE 1

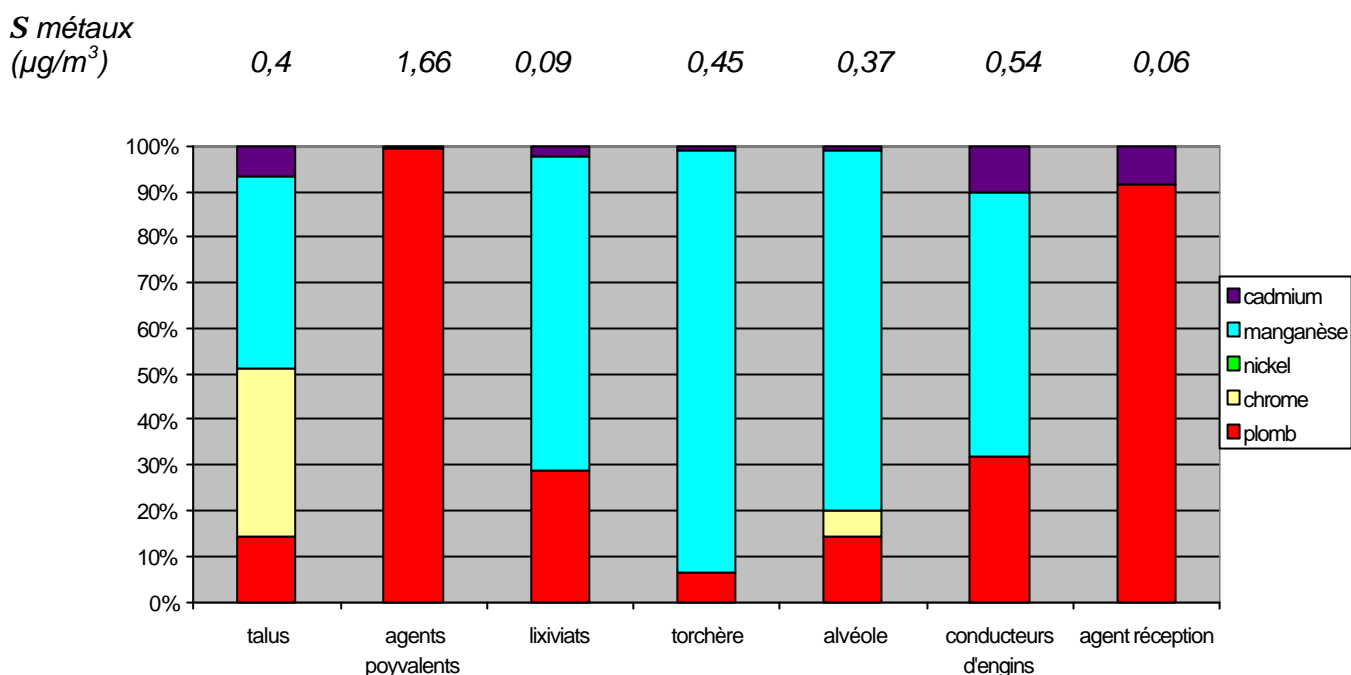


Figure 42: répartition des expositions aux métaux – SITE 2

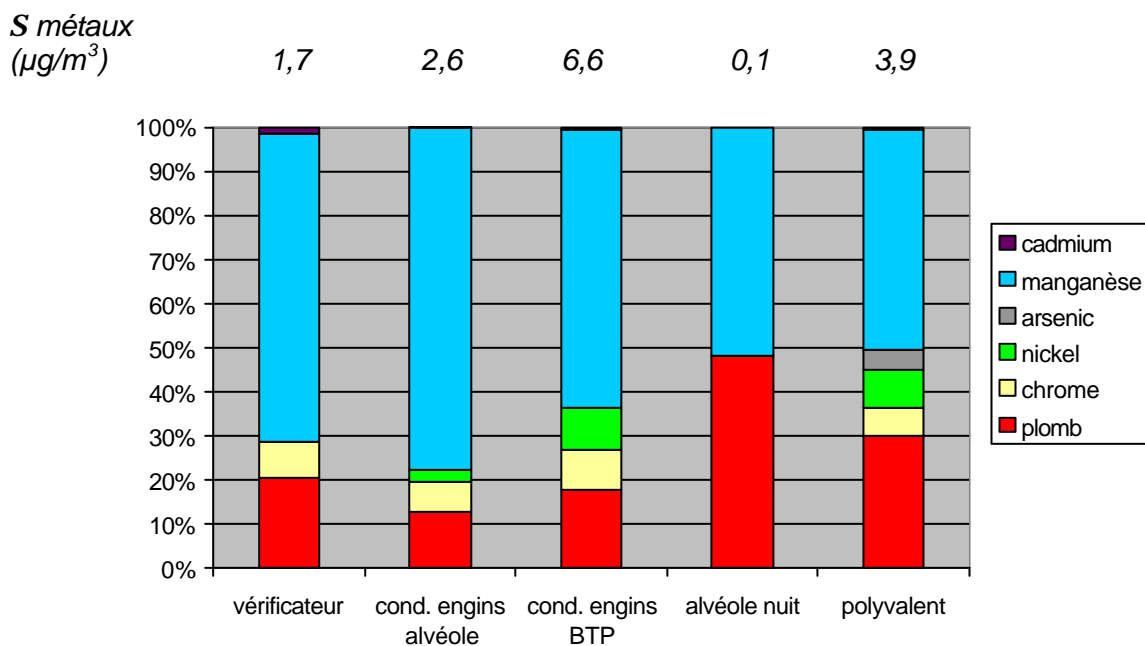


Figure 43 : Concentrations en plomb et en manganèse sur les deux sites témoins.

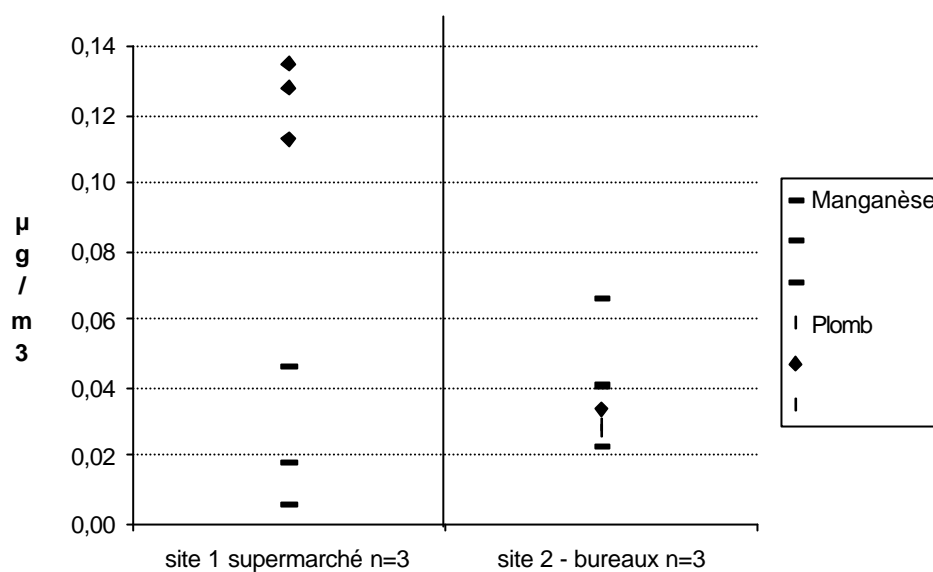
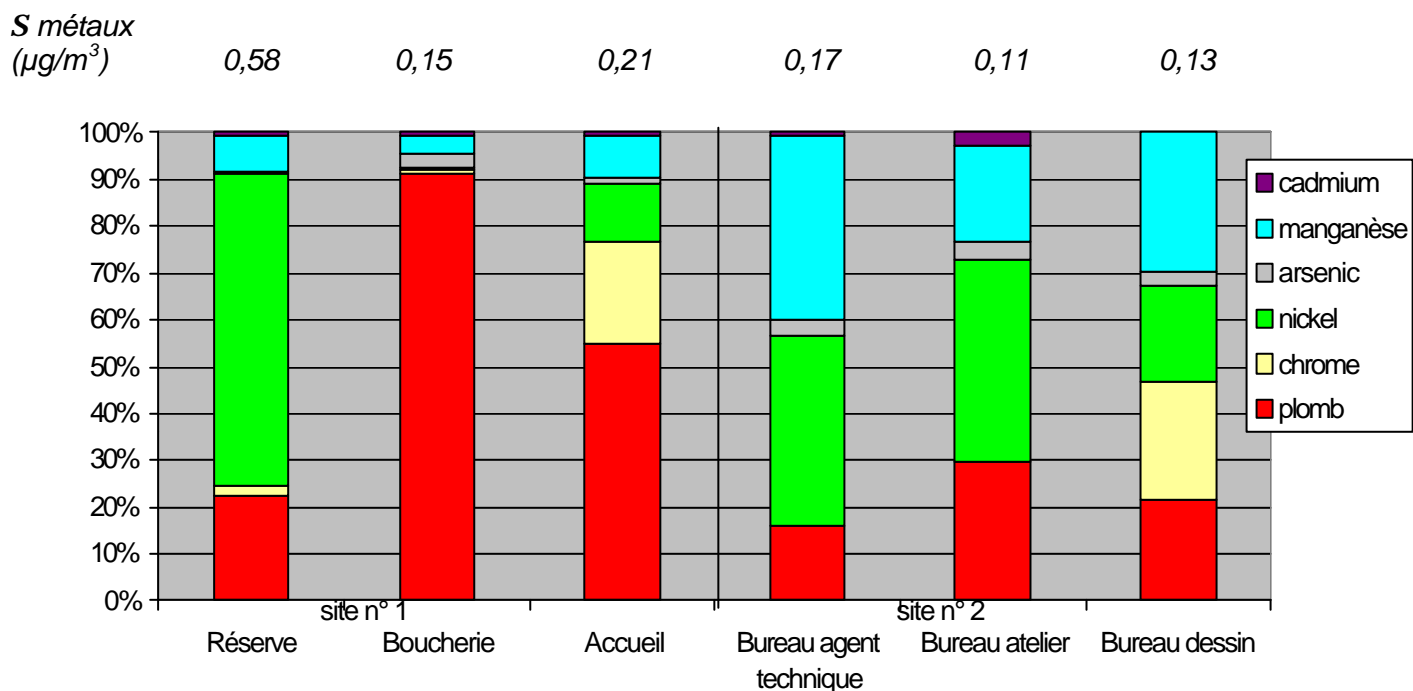


Figure 44 : sites témoins : répartition des expositions aux métaux



1.5. Les HAP.

Sur les deux sites, le pyrène et le fluoranthène sont les deux HAP majoritairement retrouvés.

Pour le site 1.

Les HAP sont essentiellement retrouvés aux postes des agents réception, conducteurs d'engins, lixiviats et polyvalents. Les concentrations sont comprises entre 20 et 67 ng/m³. Au niveau des autres points de prélèvements, les niveaux sont inférieurs à 7 ng/m³.

Pour le B(a)P, les concentrations atteignent 5,6% du taux recommandé par la CNAM (150 ng/m³), chez les agents conducteurs de l'alvéole et les agents polyvalents. Au niveau des lixiviats, ce taux est de 1,6%. Pour les autres prélèvements, les taux sont inférieurs à 0,5%.

Pour le site 2.

Les concentrations les plus élevées sont relevées auprès des agents réception, des conducteurs d'engins de l'alvéole et BTP et du vérificateur. Les valeurs sont comprises entre 10 et 52 ng/m³. Pour les autres points de prélèvements, les niveaux sont inférieurs à 10 ng/m³.

La concentration moyenne en HAP totaux est cinq fois plus élevée pour le vérificateur que sur l'alvéole de nuit.

Les concentrations en B(a)P sont faibles. Elles atteignent 1,9% du taux recommandé auprès des conducteurs d'engins de l'alvéole et BTP. Pour les autres prélèvements les taux sont inférieurs à 0,6%.

Pour les conducteurs d'engins de l'alvéole des deux sites, seul un résultat est à la limite de la significativité ($p=0,05$), il concerne le Benzo(a)Pyrène - B(a)P.

La comparaison des conducteurs d'engins de l'alvéole et du BTP du site 2, ne met en évidence aucune différence significative pour les concentrations atmosphériques en HAP.

Figure 45 : Concentrations en HAP et B(a)P - site 1.

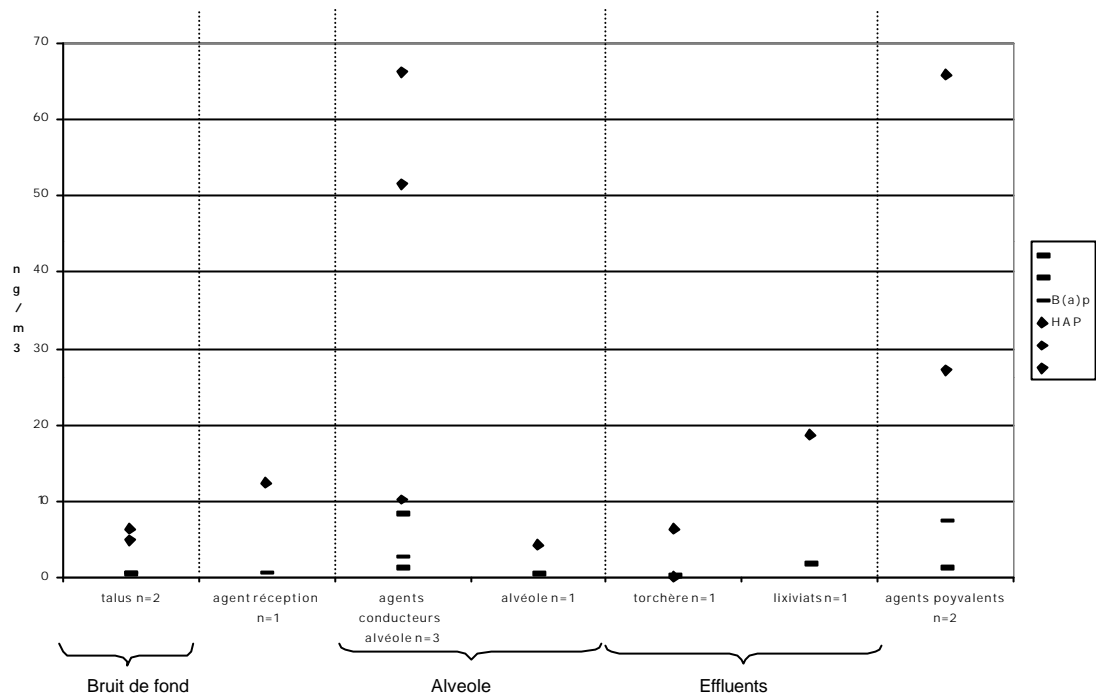


Figure 46: Concentrations en HAP et B(a)P - site 2.

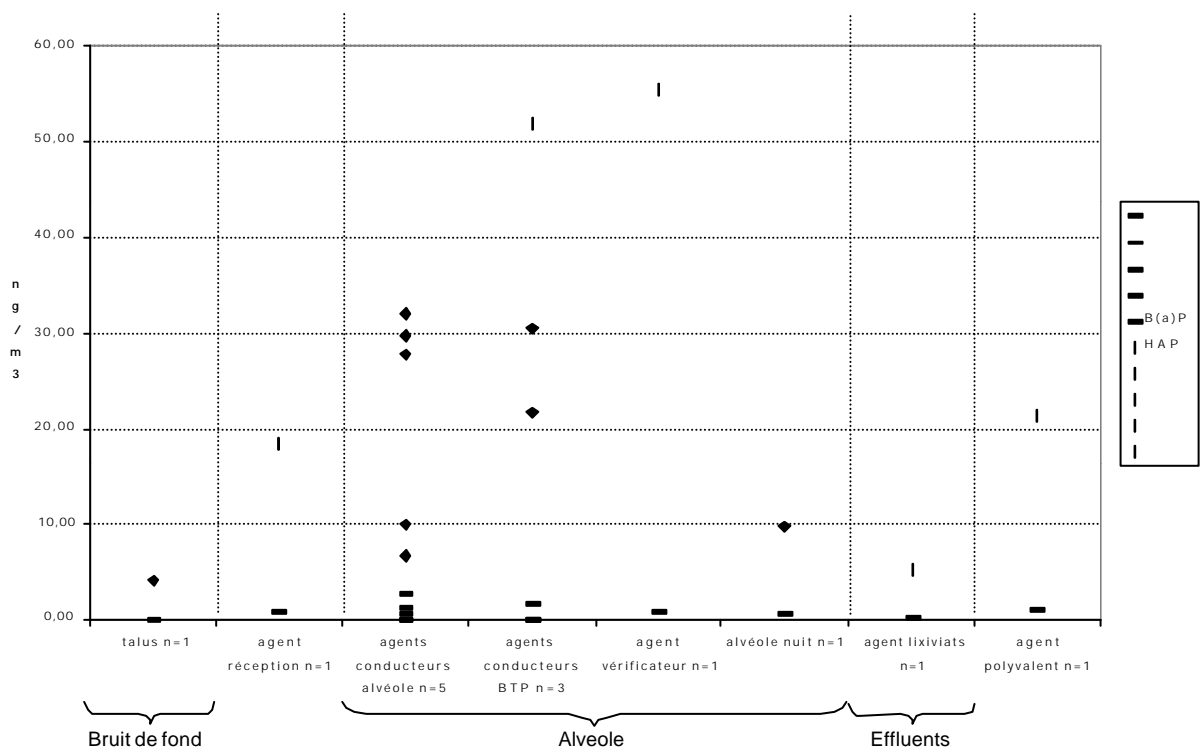


Figure 47 : Répartition des HAP sur le site 1.

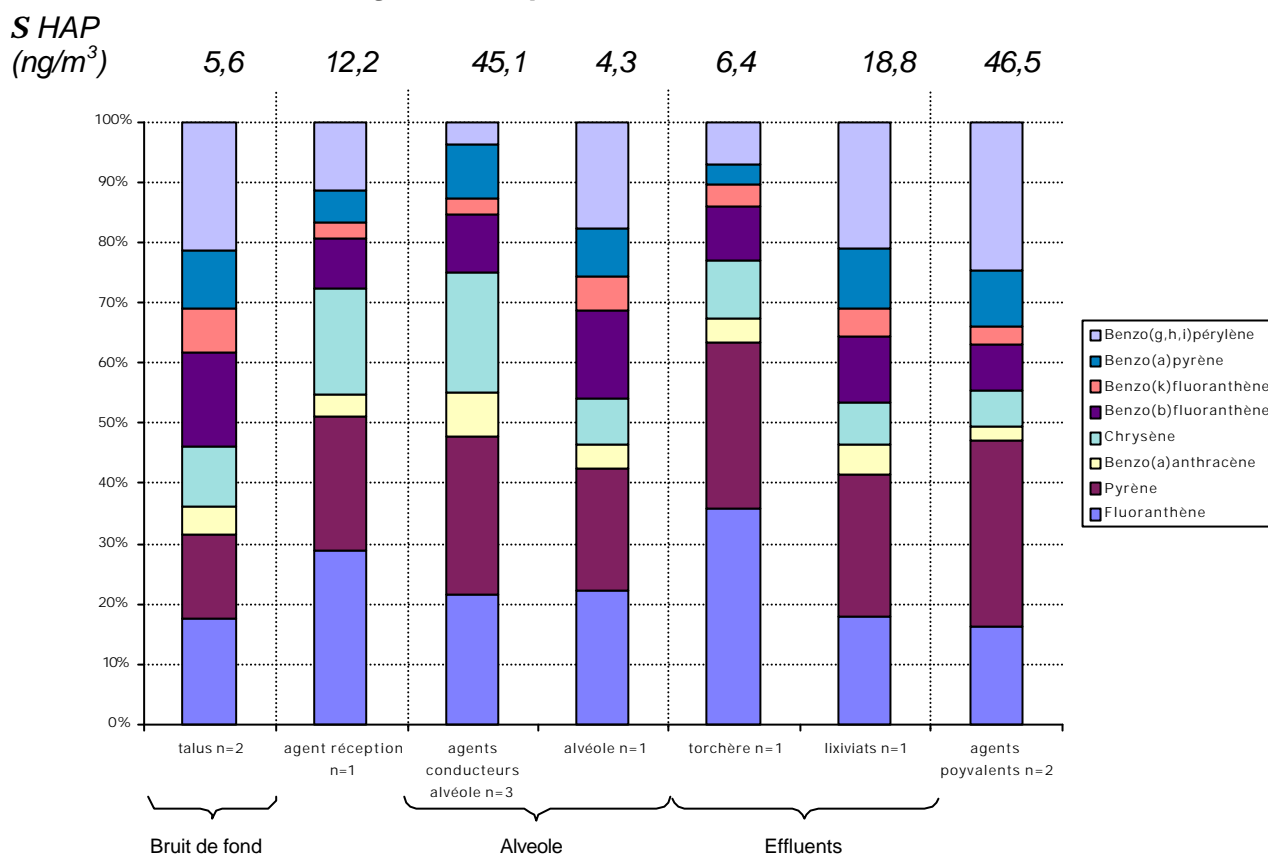
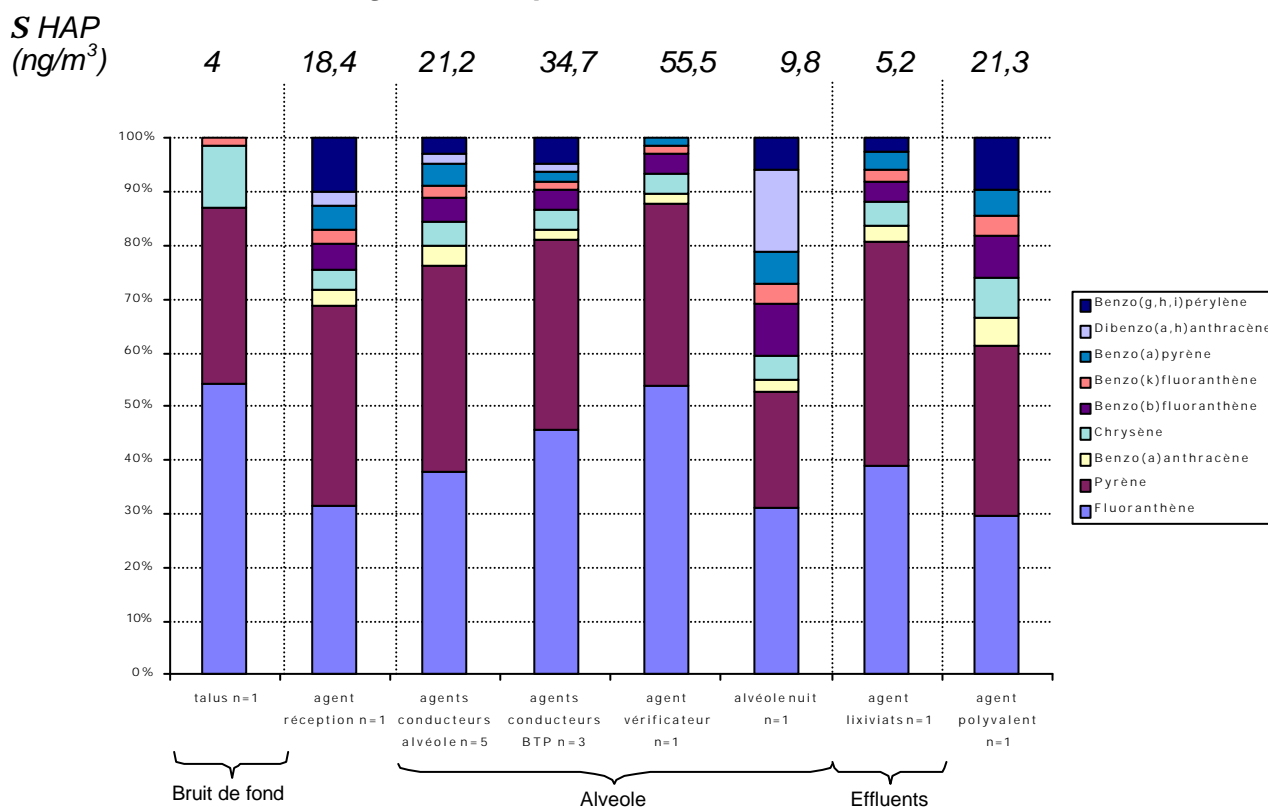


Figure 48 : Répartition des HAP sur le site 2.



Pour les 2 sites témoins

Les concentrations les plus forte en HAP se trouvent au niveau du bureau Dessin.

Figure 49 : Concentrations en HAP et B(a)P sur les 2 sites témoins

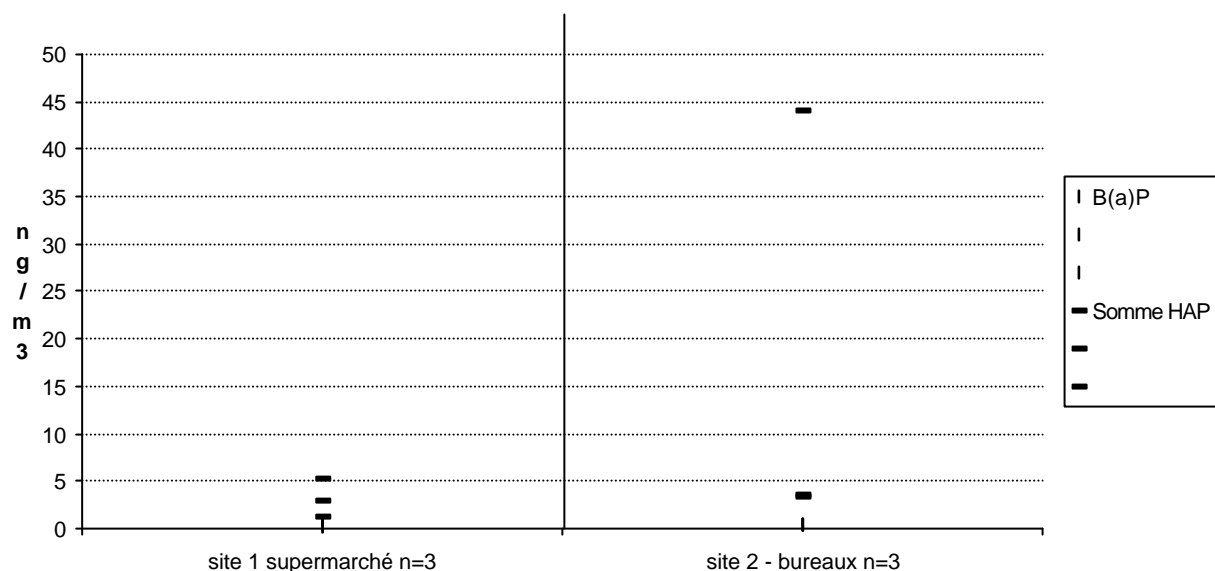
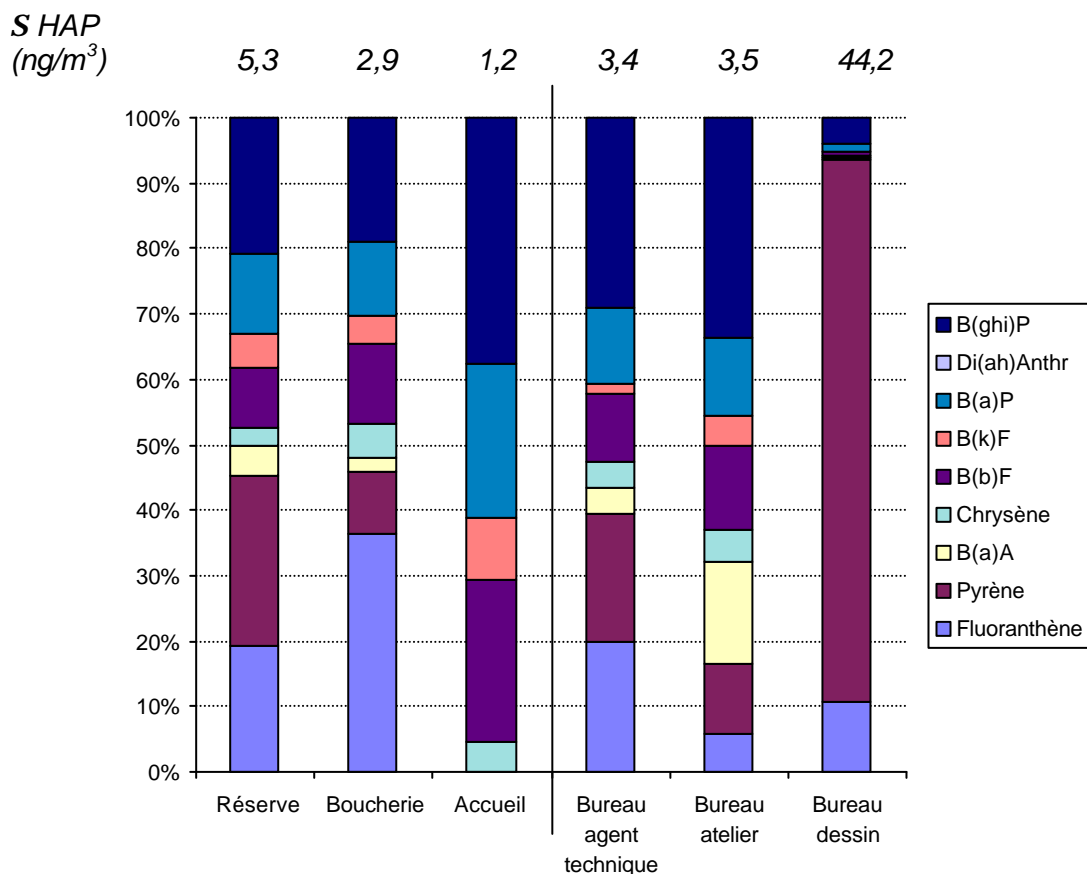


Figure 50: Répartition des HAP sur les deux sites témoins.



1.6. Les COV.

Pour le site 1.

Les concentrations les plus élevées sont retrouvées au niveau de l'alvéole (2,3 mg/m³) et des conducteurs d'engins de l'alvéole (13 mg/m³). A tous les autres postes, les valeurs sont inférieures à 1 mg/m³.

Sur ce site, il n'est retrouvé aucun hydrocarbure chloré, aliphatique ou cyclique.

Le méthanol est retrouvé seulement dans les prélèvements réalisés sur l'alvéole et auprès des conducteurs d'engins, ce qui contribue à retrouver majoritairement des alcools à ces postes.

Pour le benzène, les taux les plus élevés sont mis en évidence sur l'alvéole (0,045 mg/m³) et au niveau des conducteurs d'engins (0,121 mg/m³), ils sont inférieurs à 5% de la VME.

Pour le site 2.

Les concentrations les plus importantes sont relevées auprès des conducteurs d'engins (13,4 mg/m³). Viennent ensuite les postes des agents réception, conducteurs BTP, vérificateur et polyvalent où les taux sont de l'ordre de 2,5 à 3 mg/m³.

La nuit, sur l'alvéole, les taux sont inférieurs à 0,8 mg/m³.

Sur ce site, il n'est retrouvé aucun hydrocarbure aliphatique ou cyclique.

Hormis l'agent polyvalent où les composés majoritaires sont représentés par les HAM, ce sont les alcools qui sont retrouvés de façon prédominante dans tous les prélèvements. Le méthanol est retrouvé dans les prélèvements réalisés sur l'alvéole, auprès des conducteurs d'engins de l'alvéole et BTP ainsi que chez l'agent polyvalent.

Le seul poste où du benzène a été détecté est celui du vérificateur, il est inférieur à 0,5% de la VME.

Par contre des hydrocarbures chlorés sont mis en évidence pour les agents conducteurs d'engins de l'alvéole et BTP, et au niveau des prélèvements réalisés sur l'alvéole de jour comme de nuit. Les taux maximum respectifs de trichloroéthylène et de tétrachloroéthylène sont retrouvés chez les conducteurs d'engins de l'alvéole. Ils sont respectivement inférieurs à 0,3% et à 0,2% de la VME.

Les concentrations de benzène, 3 éthylbenzène et 1,2,4 triméthylbenzène observées chez les conducteurs d'engins du site 1 sont significativement plus élevées que celles des conducteurs d'engins du site 2 (respectivement $p < 0,01$, $p < 0,05$, $p < 0,01$).

Entre les conducteurs d'engins et BTP du site 2, aucune différence significative dans les prélèvements n'est notée.

Pour les sites témoins.

Les concentrations de COV sont comprises entre 0,01 et 0,46 mg/m³. Les concentrations les plus élevées sont notées sur le site n° 2 où les composés majoritaires sont l'éthanol et l'acétone.

Sur le site n° 1, les composés chlorés et les alcools sont majoritaires (perchloréthylène, éthanol).

Figure 51: Concentrations en COV - site 1

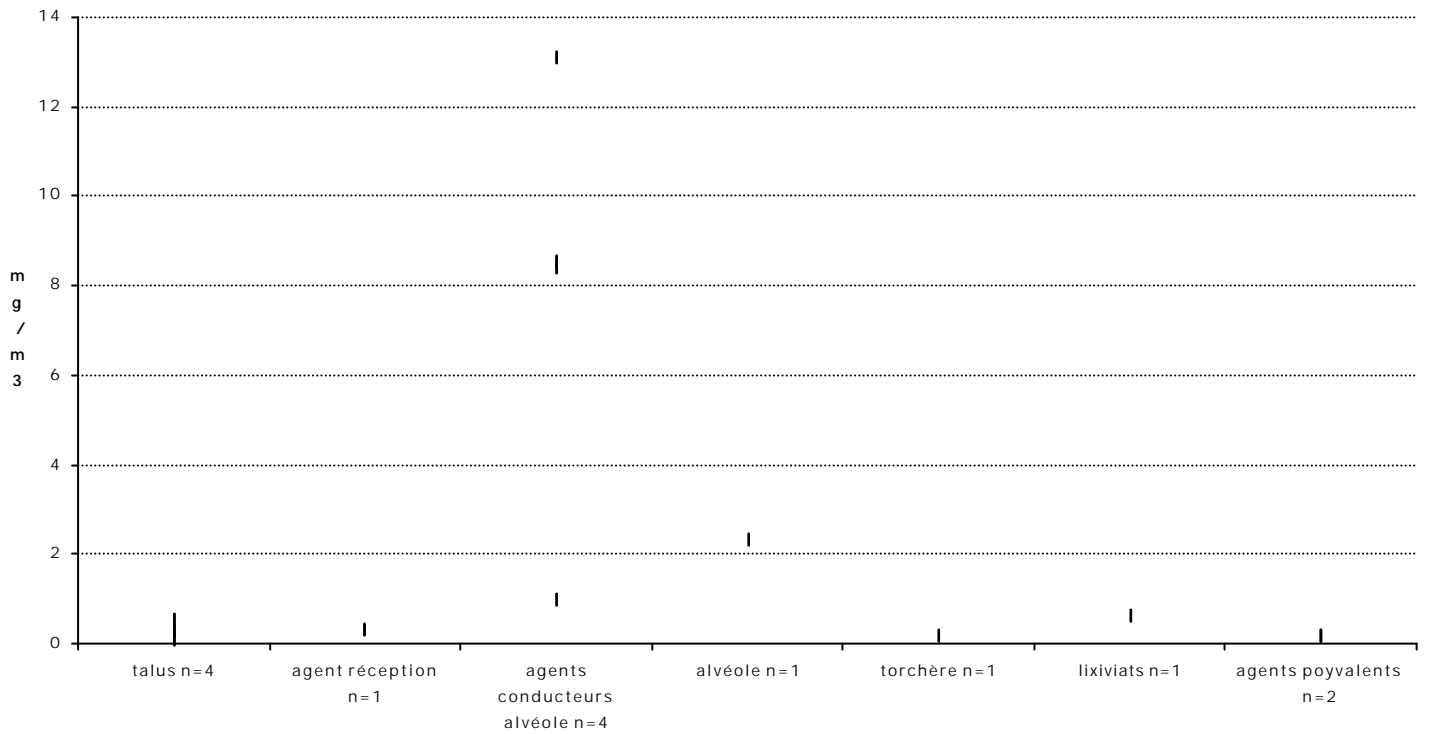
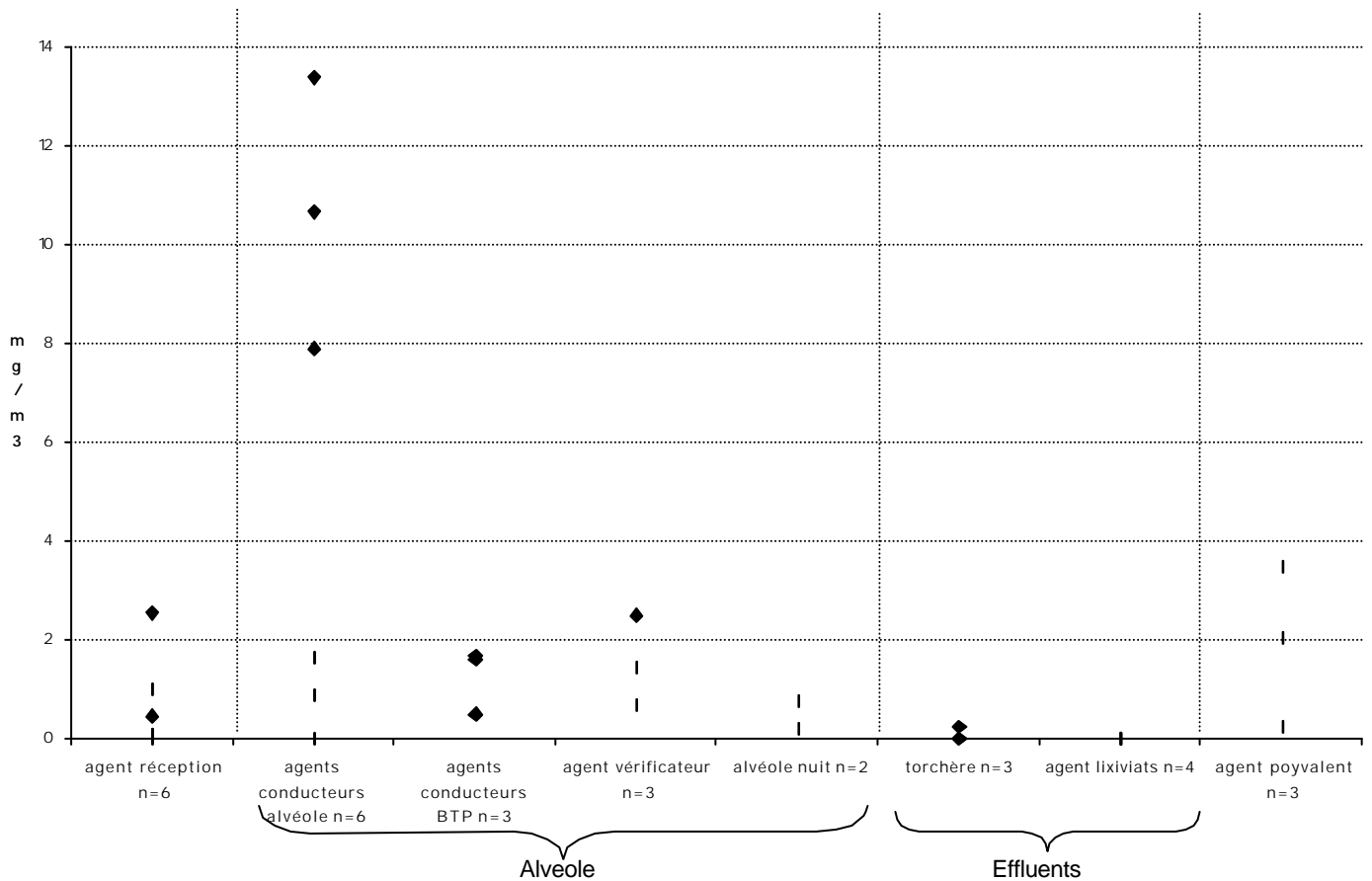


Figure 52 : Concentrations en COV - site 2.



Confidentialité : 6 mois

124

Novembre 2000

Figure 53: Répartition des COV -site 1.

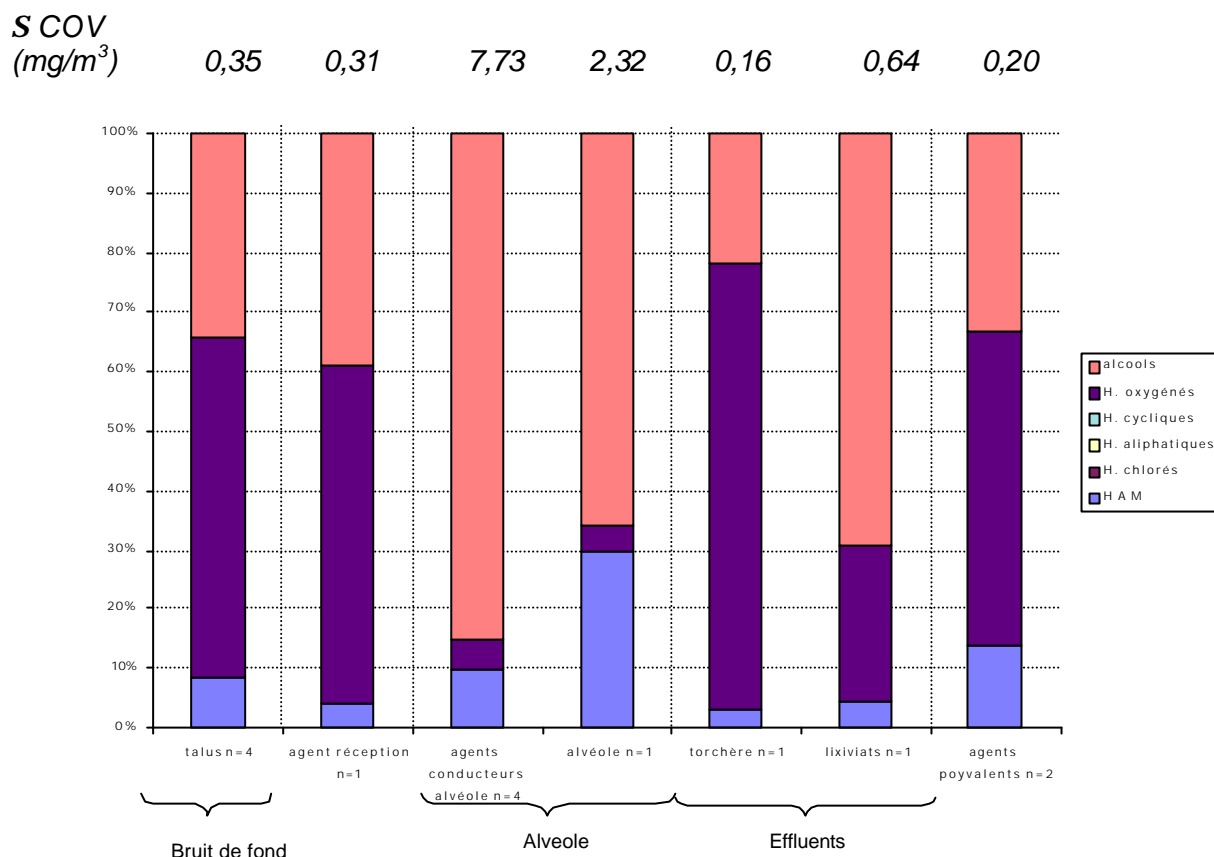


Figure 54 : Répartition des COV -site 2.

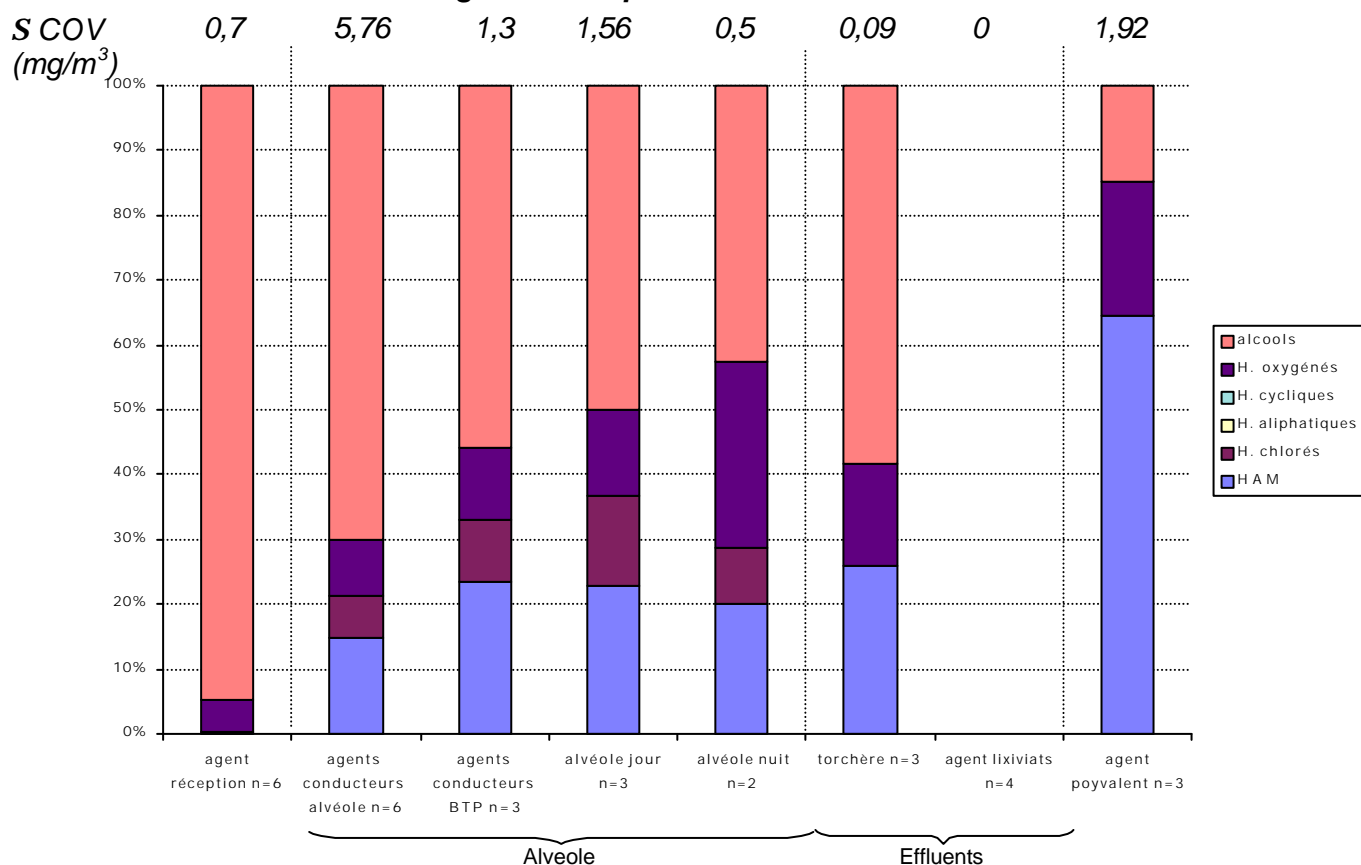


Figure 55: Concentrations en COV sur les 2 sites témoins

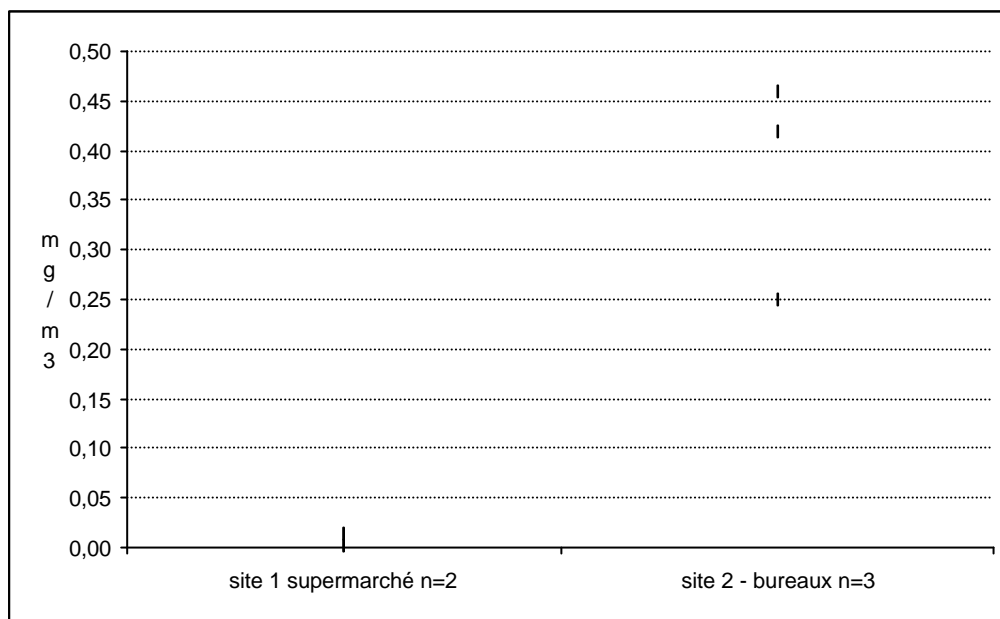
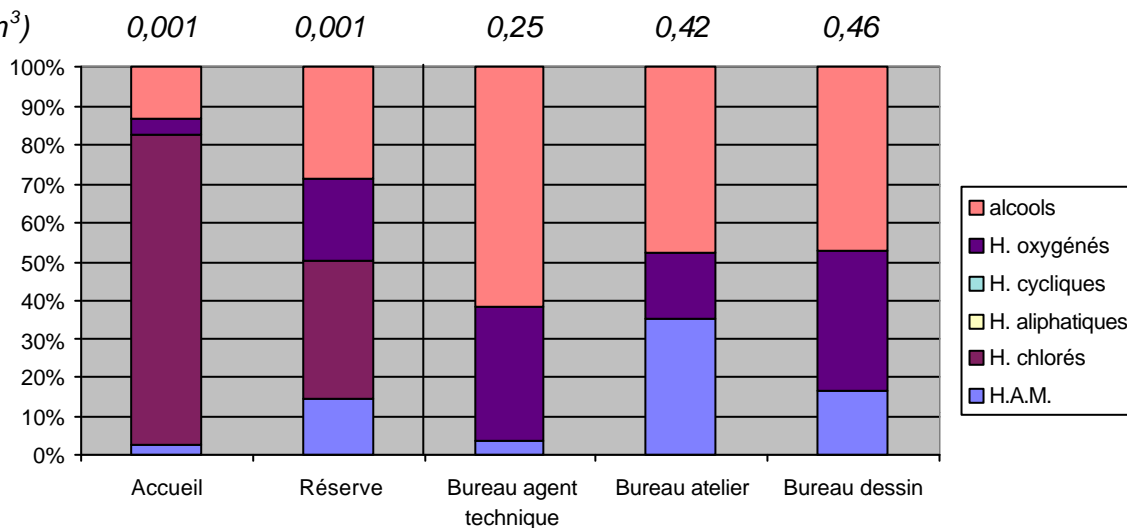


Figure 56: Répartition des COV sur les 2 sites témoins.

S COV

(mg/m³)



1.7. Les aldéhydes.

Pour le site 1.

Les concentrations les plus importantes (jusqu'à 0,05 mg/m³) sont mises en évidence sur le site 1, auprès des conducteurs d'engins. Pour bus les autres prélèvements, elles sont inférieures à 0,005 mg/m³.

Seuls quatre aldéhydes différents sont retrouvés : l'acétaldéhyde, le formaldéhyde, l'acroléine et le propionaldéhyde. L'acétaldéhyde et le formaldéhyde sont très majoritaires.

Pour le site 2.

Les concentrations sont jusqu'à trois fois plus importantes que celles retrouvées sur le site 1. Les plus élevées sont mises en évidence auprès des conducteurs d'engins de l'alvéole (0,17 mg/m³) et des agents vérificateur et lixiviats (0,15 mg/m³).

Sur ce site les aldéhydes retrouvés sont plus nombreux, par contre on ne met pas en évidence d'acroléine. On retrouve, comme pour le site 1, une prédominance d'acétaldéhyde et de formaldéhyde.

Pour le vérificateur, le taux de formaldéhyde représente 5% de la VME. Pour tous les autres prélèvements, les taux sont inférieurs à 3% de la VME.

Le taux d'acétaldéhyde est inférieur à 0,1% de la VME, aussi bien pour les prélèvements individuels qu'en ambiance.

Entre le site 1 et le site 2, pour les conducteurs d'engins, il existe une différence significative pour la concentration en acroléine ($p < 0,01$) et en aldéhydes totaux ($p < 0,05$).

Pour les deux sites témoins.

Les concentrations sont comprises entre 0,06 et 0,28 mg/m³. Le formaldéhyde et l'acétaldéhyde sont les éléments majoritaires.

Pour le formaldéhyde elles se situent entre 0,01 et 0,04 mg/m³ sur le site 1, entre 0,03 et 0,05 mg/m³ sur le site 2.

Pour l'acétaldéhyde elles se situent entre 0,05 et 0,26 mg/m³ mg/m³ sur le site 1, entre 0,01 et 0,02 mg/m³ sur le site 2.

Figure 57: Concentrations en aldéhydes sur le site 1.

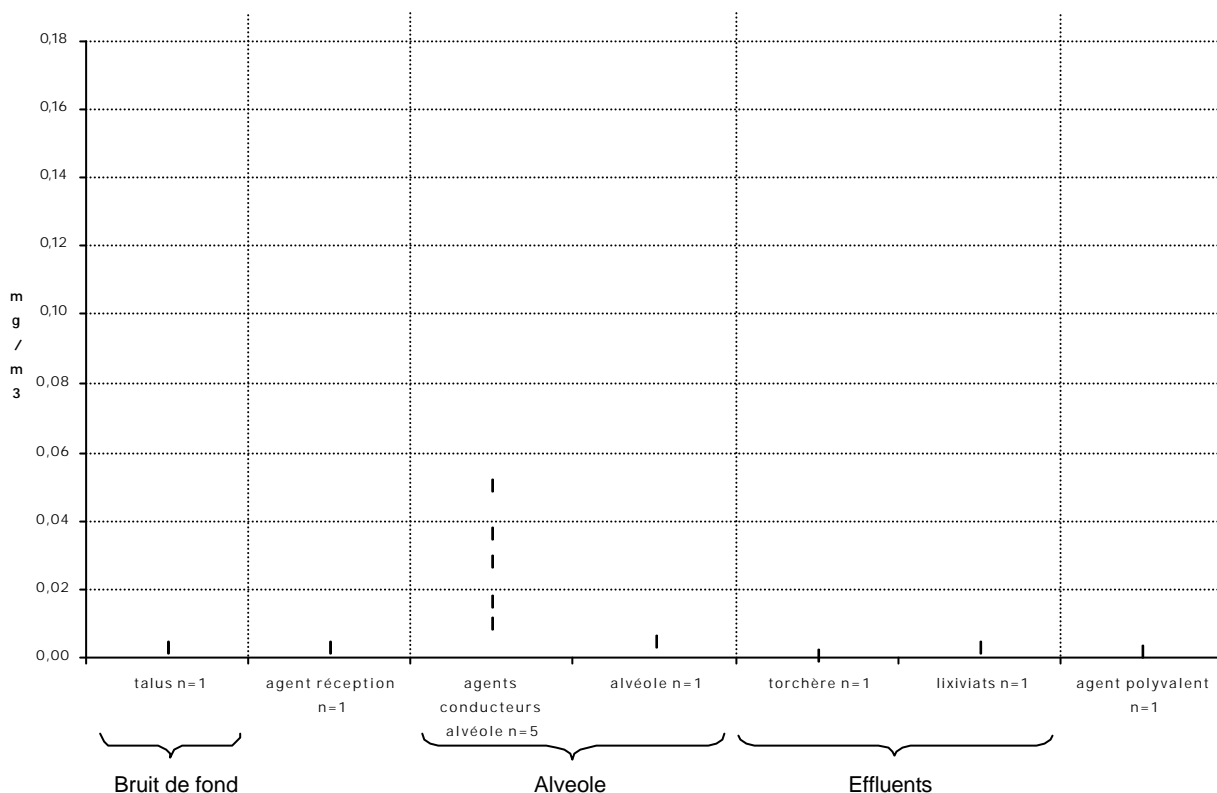


Figure 58: Concentrations en aldéhydes sur le site 2.

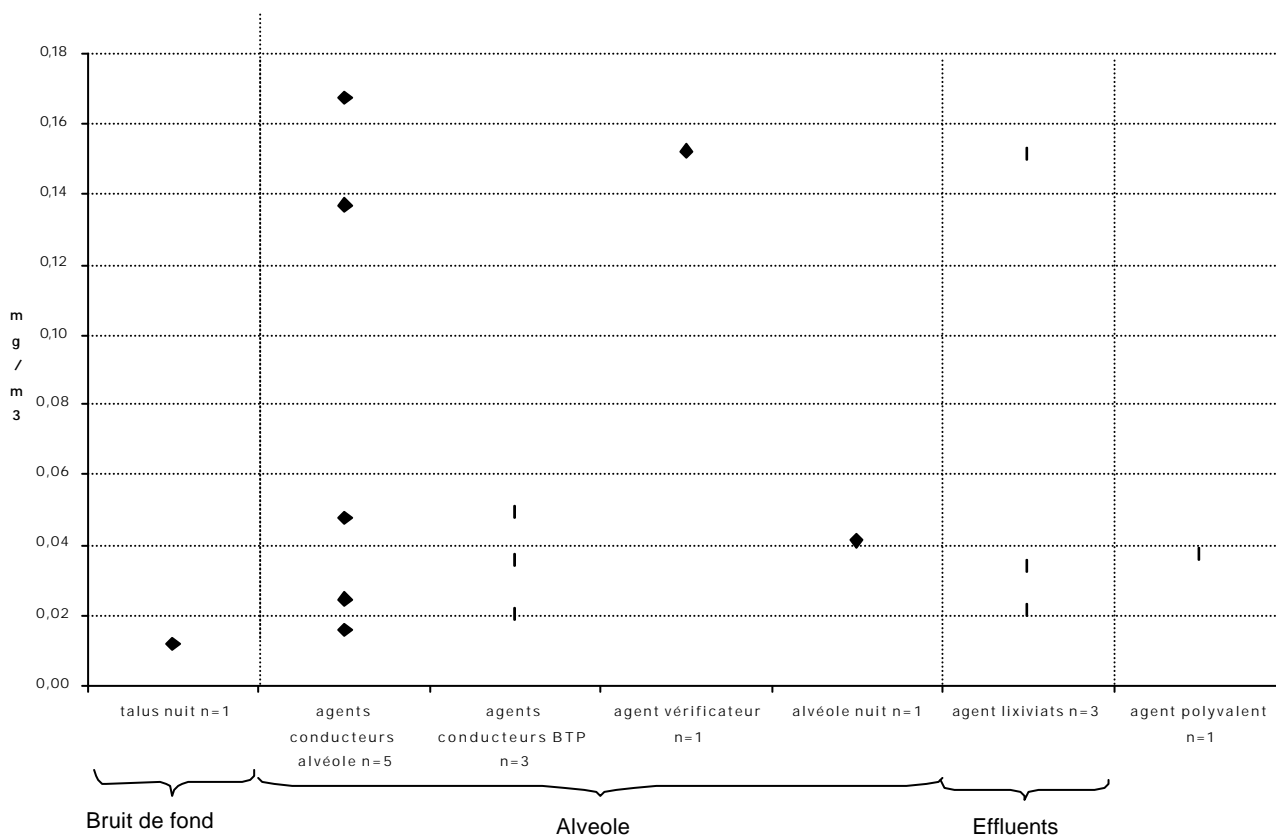


Figure 59 : Répartition des aldéhydes sur le site 1.

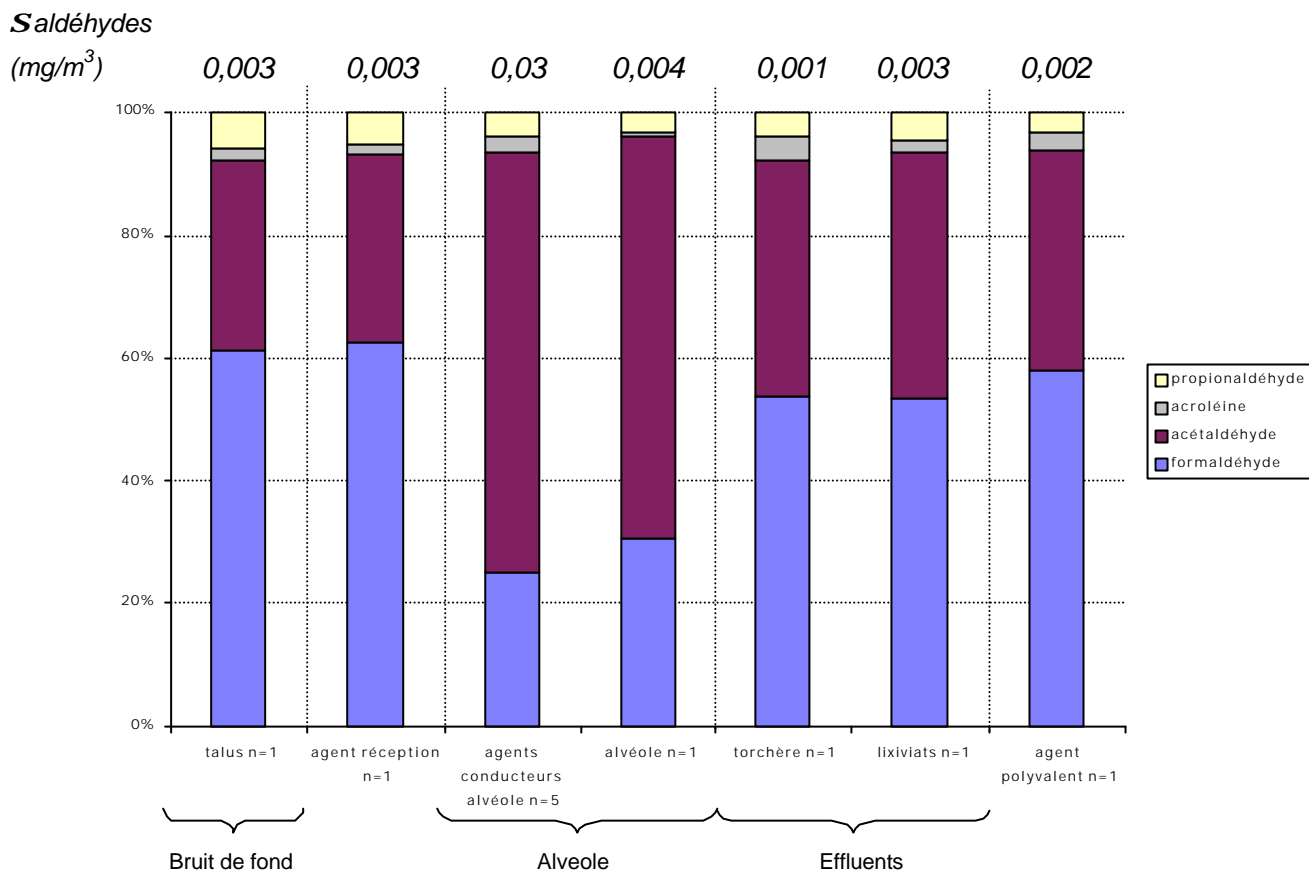


Figure 60: Répartition des aldéhydes sur le site 2.

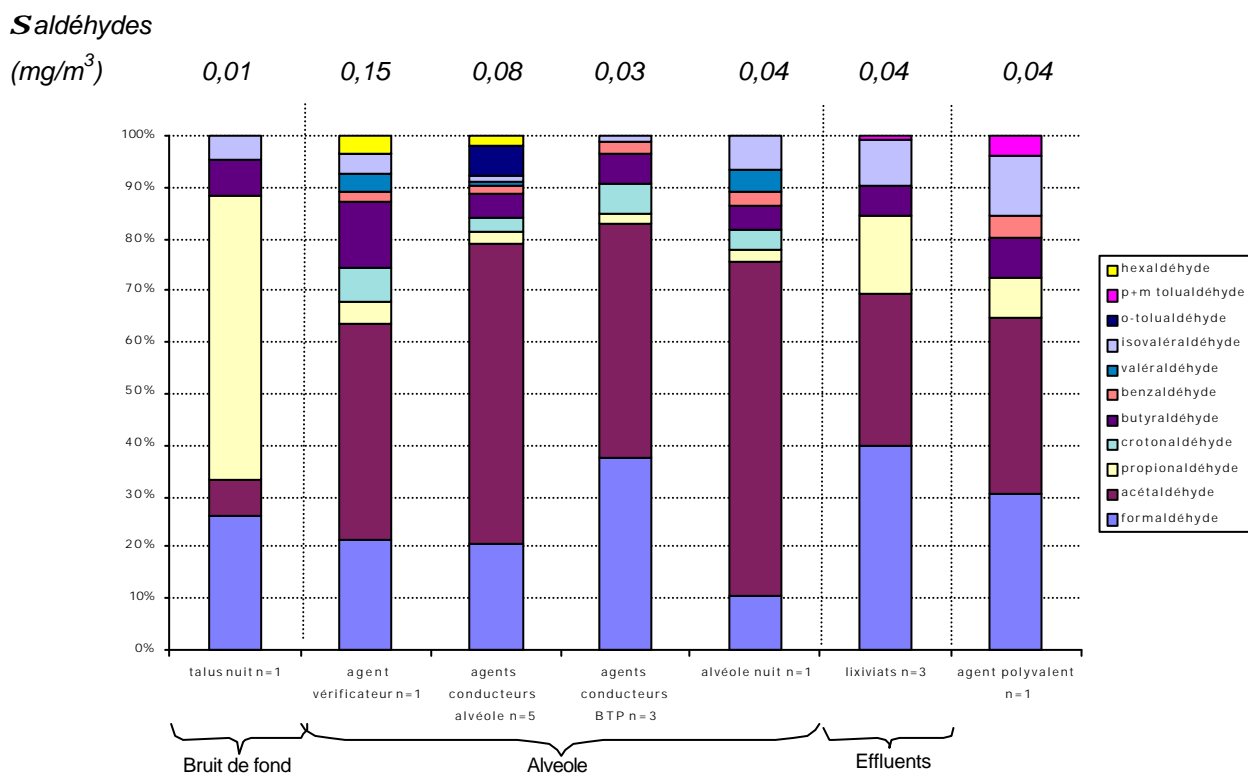


Figure 61 : Concentration en aldéhydes sur les deux sites témoins

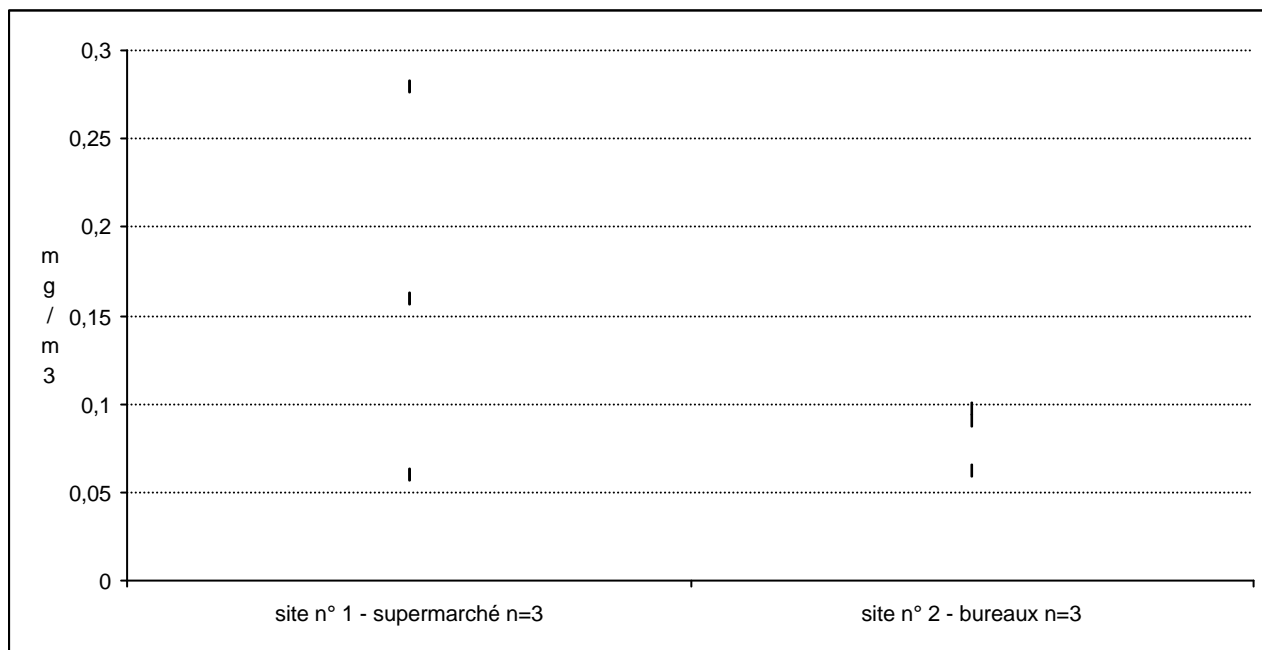
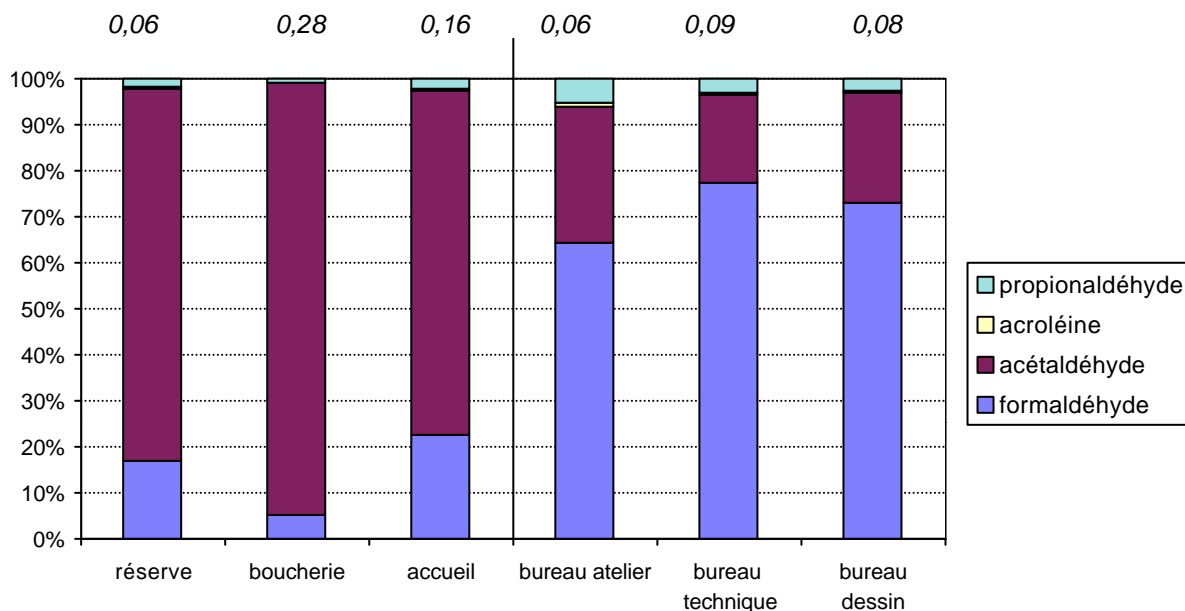


Figure 62 : Répartition des aldéhydes sur les deux sites témoins

Saldéhydes
(mg/m³)



1.8. Surveillance biologique des salariés

Les concentrations sont représentées sous forme de box-plots.

(1) Eléments métalliques urinaires

Il n'y a pas de différence significative entre les concentrations de début et fin de poste pour l'arsenic, le cadmium, le mercure, le manganèse, le nickel.

Figure 63: Concentrations de cadmium, chrome, mercure dans les urines de début et fin de poste.

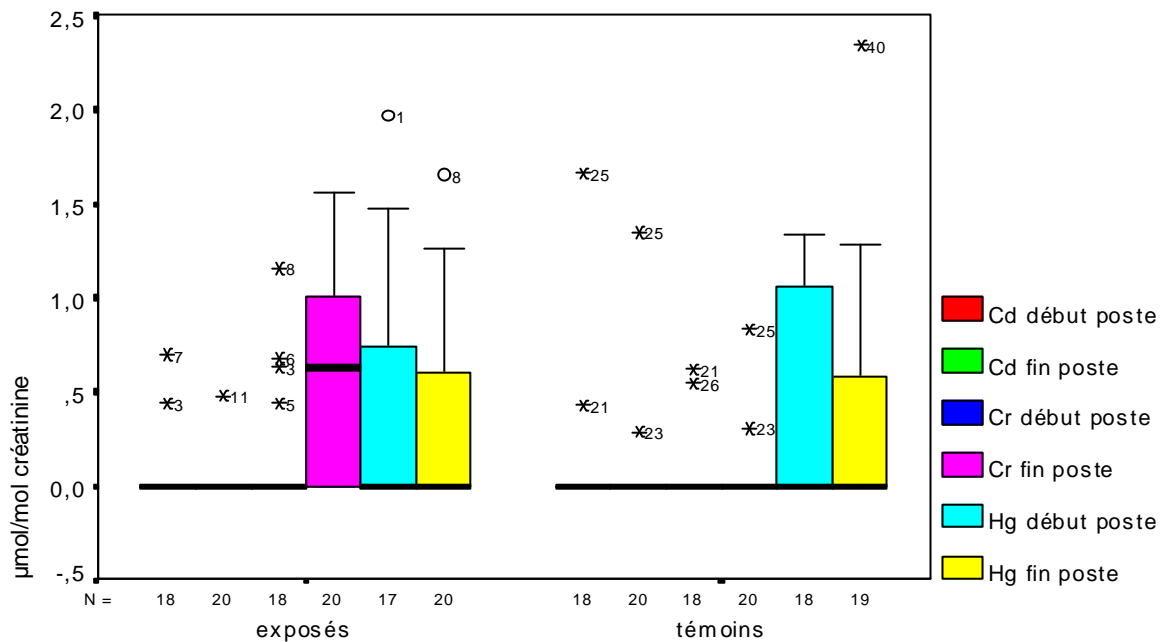
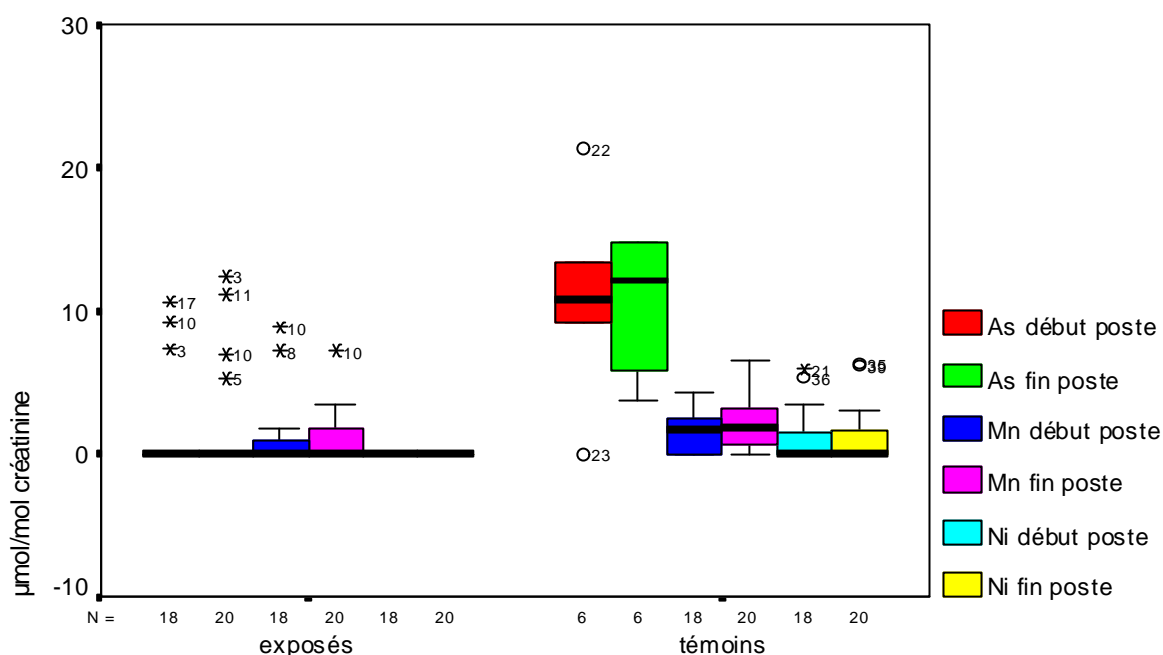


Figure 64 : Concentrations d'arsenic, manganèse, nickel dans les urines de début et fin de poste.



Pour le chrome il existe une différence significative entre début et fin de poste chez les sujets exposés ($p < 0,01$).

Les concentrations de fin de poste sont plus importantes chez les sujets exposés que chez les témoins pour le chrome ($p < 0,001$). Elles sont également plus importantes si l'on ne prend en compte que les sujets fumeurs ($p < 0,01$).

Les concentrations de chrome en fin de poste sont plus importantes chez les fumeurs ($p < 0,05$) que chez les non-fumeurs.

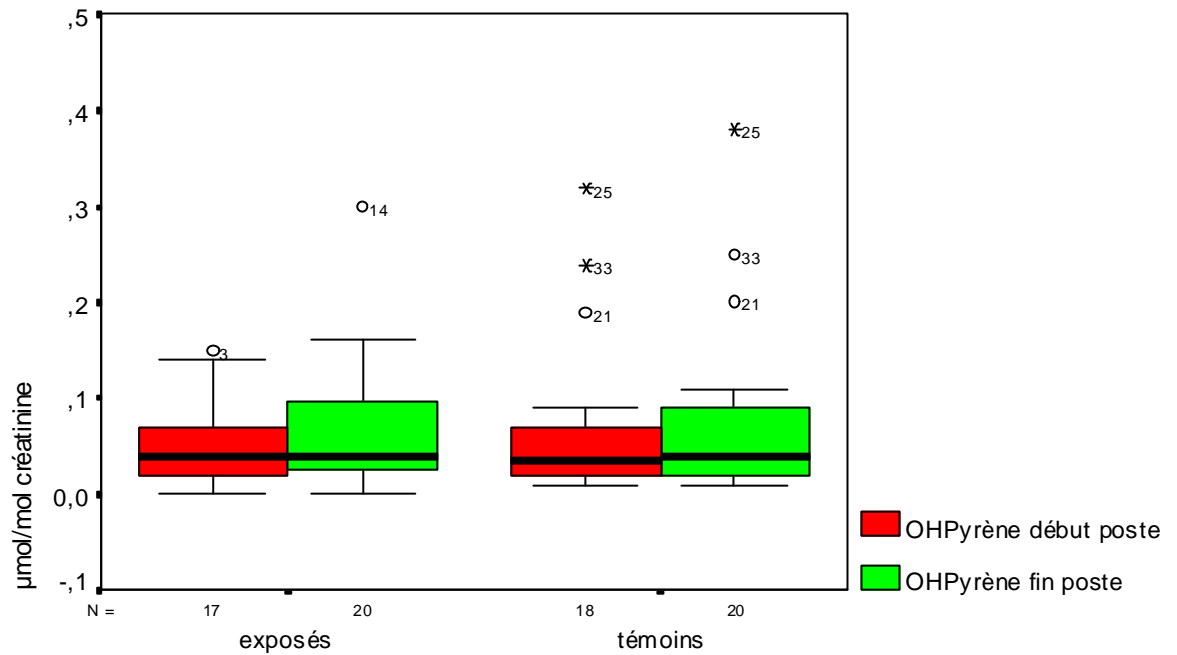
Elles sont également plus importantes chez les conducteurs d'engins ($P < 0,001$).

Pour l'arsenic ($p < 0,001$) le nickel ($p < 0,01$) et le manganèse ($p < 0,05$) les concentrations de fin de poste sont plus élevées chez les témoins.

(2) Hydroxypyrrène urinaire

Pour l'hydroxypyrrène, il n'existe pas de différence significative entre les concentrations de début et fin de poste.

Figure 65 : Concentrations d'hydroxypyrrène dans les urines de début et fin de poste



Les concentrations de fin de poste ne sont pas significativement différentes entre les sujets exposés et les témoins, même si l'on ne prend en compte que les sujets non fumeurs.

Les concentrations d'hydroxypyrrène en fin de poste sont plus importantes chez les fumeurs ($p < 0,01$). Elles ne le sont pas chez les conducteurs d'engins.

2. L'étude sur la santé des salariés

Sur 27 salariés des centres de stockage, 20 personnes ont accepté de participer à l'étude (dont 1 femme), plus 2 salariés d'une entreprise de terrassement extérieure. Le groupe de comparaison comprend 9 salariés de la grande distribution (dont 1 femme) et 13 salariés d'une société de distribution d'eau. L'appariement en terme d'âge (âge moyen exposés = 40,7 ans \pm 7,5 ; non -exposés = 41 ans \pm 7,9) et de catégorie socio-professionnelle a été respecté (les niveaux de diplômes des salariés non – exposés sont plus élevés, mais de façon non significative). Il n'existe pas de différence entre les deux groupes en terme de caractéristiques générales (Tableau 22) et d'habitudes de vie déclarées par les deux groupes. Une remarque cependant doit être faite en ce qui concerne la consommation d'alcool : il n'y a pas de différence si l'on considère la déclaration des salariés sur le fait de consommer régulièrement ou non de l'alcool ; cependant, les niveaux de consommation pour un très petit nombre de salariés sont plus élevés dans le groupe CET.

Tableau 22: Caractéristiques générales des deux groupes étudiés

| | | CET | | Groupe de comparaison | | test Chi ² |
|--|----------------------------------|-----|------|-----------------------|------|-----------------------|
| | | n | % | n | % | |
| sexe | hommes | 21 | 95,5 | 21 | 95,5 | |
| | femmes | 1 | 4,5 | 1 | 4,5 | |
| Niveau d'étude | Primaire | 5 | 22,7 | 3 | 13,6 | ns |
| | Collège | 10 | 45,5 | 8 | 36,4 | |
| | Lycée | 4 | 18,2 | 8 | 36,4 | |
| | > BAC | 3 | 13,6 | 3 | 13,6 | |
| Tabac | Non fumeur | 8 | 36,4 | 9 | 40,9 | ns |
| | Ex-fumeur | 9 | 40,9 | 8 | 36,4 | |
| | Fumeur | 5 | 22,7 | 5 | 22,7 | |
| Quantité fumée par les fumeurs et ex-fumeurs | de 0,01 à 10 pqt.an ⁵ | 4 | 18,2 | 5 | 22,7 | ns |
| | plus de 10 pqt.an | 9 | 40,9 | 8 | 36,4 | |
| Alcool | Jamais | 4 | 18,2 | 2 | 9,1 | ns |
| | Occasionnellement | 8 | 36,4 | 5 | 22,7 | |
| | Régulière | 10 | 45,5 | 15 | 68,1 | |

⁵ Paquet*an = produit du nombre d'année de tabagisme à une dose de cigarette équivalente à 1 paquet par jour ; ainsi une personne qui a fumé 10 ans à raison de 1 paquet /j, a fumé 10 paquets*an, de même qu'une personne qui aurait fumé 5 ans à 2 paquets par jour (il s'agit d'une façon commode d'exprimer le tabagisme cumulé d'un individu)

3 salariés des CET et 1 salarié du groupe « non-exposé » ont eu dans leurs antécédents médicaux une hépatite virale (2 type A, 1 type B pour les CET ; 1 type A pour l'autre groupe). La répartition des emplois des salariés des CET qui ont accepté l'enquête est représentée dans le Tableau 23.

Tableau 23 : Répartition des salariés des CET qui ont accepté de participer à l'étude en fonction des postes de travail

| Postes de travail | site 1 | site 2 |
|---------------------------------|---|---|
| Réception : | 1 salarié (sexe féminin) | 1 salarié sur 4 |
| Alvéoles : | 4 salariés sur 4 | 5 salariés sur 7 (dont 1 sur l'alvéole amiante / ciment 1 jour par semaine) |
| Terrassement/ alvéole : | | 2/2 |
| Vérificateur (sur alvéole) : | 1/1 (s'occupe aussi de la déchetterie) | 1/1 |
| Traitement des eaux : | 1/1 | 3/3 |
| Réseau biogaz – polyvalent : | 1/1 | 1/2 |
| Chef d'exploitation : | 1/1 | 0/1 |

2.1. Signes fonctionnels⁶

Les salariés des centres d'enfouissement technique présentent significativement plus d'épisodes de symptômes respiratoires que les salariés du groupe de comparaison. En particulier, ces troubles se traduisent par des épisodes de toux ($p_{\chi^2} < 0,01$), de troubles rhino-pharyngés ($p_{\chi^2}=0,01$) ou des états grippaux plus fréquents ($p_{\chi^2}=0,03$). Il faut noter que les salariés des CET se plaignent de troubles rhino-pharyngés en hiver, au printemps et en été, alors que les non exposés n'en signalent (en fréquence moindre) qu'à la période hivernale. Il y a 2 fois plus de salariés exposés (10/21) que de salariés non-exposés (4/21) décrivant des symptômes d'allergie des voies respiratoires (à type de sinusites ou de rhinorrhée allergique, mais pas d'asthme).

Ces symptômes (toux et syndrome grippal) persistent même après la prise en compte du tabagisme, des antécédents personnels allergiques et du fait de travailler en extérieur, lors de l'analyse en régression logistique (Tableau 24). Il existe une tendance positive avec l'ancienneté d'emploi en CET ($p < 0,01$).

⁶ un signe fonctionnel est une plainte rapportée par une personne au sujet d'un trouble ressenti par elle (dans le cadre de l'étude au cours de l'année précédant l'enquête).

Tableau 24: Calcul de l'odds ratio de prévalence⁷ de différents symptômes en fonction du statut des salariés suivant une procédure de régression logistique.

(Suivant la variable analysée, le statut tabac, ou le type de consommation d'alcool sont rentrés de façon automatique ; les autres variables sont rentrées suivant une logique conditionnelle descendante ; seules sont conservées celles pour qui le test de Wald à un niveau de significativité inférieur à 0,10)

| Signes étudiés | fonctionnels | variables dans le modèle | modalités | ORP ⁸ | IC 95% ⁹ | degré de significativité |
|---------------------------------|--------------------|--|---|------------------|---------------------|--------------------------|
| TOUX | Nb expo = 13/22 | tabac (actuel ou passé / jamais) | oui ¹⁰ | 4,34 | 0,75 – 25,99 | – 0,10 |
| | non – expo = 3/22 | Antécédents respiratoire | d'allergie oui ³ | 6,82 | 1,10 – 42,07 | – 0,04 |
| | | statut | travailleurs CET ¹¹ | 9,59 | 1,74 – 52,74 | - < 0,01 |
| état grippal | Nb expo = 15/21 | tabac (actuel ou passé / jamais) | oui ³ | 1,67 | 0,45 – 6,26 | 0,44 |
| | non – expo = 8/21 | statut | travailleurs CET ⁴ | 4,05 | 1,10 – 14,90 | – 0,04 |
| état nauséux | Nb expo = 7/22 | statut | travailleurs CET ⁴ | 2,40 | 0,51 – 11,25 | – 0,27 |
| signes neurologiques chroniques | Nb expo = 18/22 | travail extérieur ¹² | Travail 50% en extérieur, 50 % en intérieur | 3,99 | 0,63 – 25,28 | – 0,27 |
| | | | extérieur 100% | 1,45 | 0,09 – 04,50 | – |
| | non – expo = 10/22 | statut | travailleurs CET ⁴ | 4,68 | 0,41 – 54,09 | – 0,16 |
| | | Consommation régulière d'alcool | oui | 2,00 | 0,45 - 9,09 | 0,36 |
| HTA ¹³ | Nb expo = 13/22 | consommation alcool ⁵ régulière | oui | 7,40 | 1,30 – 42,2 | 0,02 |
| | non – expo = 6/22 | statut | travailleurs CET ⁴ | 9,30 | 1,69 – 51,05 | – 0,01 |

Les laryngites et angines ne sont pas plus fréquentes dans un groupe par rapport à l'autre.

⁷ L'odds - ratio de prévalence est un rapport de « cotes » qui permet de comparer le fait d'avoir un trouble de santé et d'être exposé à un facteur sur le fait de ne pas présenter ce trouble et de ne pas être exposé à ce même facteur. Un ORP de 1 correspond au fait qu'il n'existe pas de relation entre le facteur et le trouble de santé. Un ORP > 1 témoigne d'une relation positive qui sera significative si la valeur de p est inf. ou égale à 0,05. L'intervalle de confiance donne l'intervalle dans lequel la vraie valeur de l'odds-ratio a 95 % de chance de se trouver.

Dans une étude transversale, l'odds - ratio ne permet pas de dire que la relation testée est causale.

⁸ ORP : Odds-ratio de prévalence

⁹ IC 95% : Intervalle de confiance bilatéral à 95 %

¹⁰ non : classe de référence

¹¹ non –exposés : statut de référence

¹² les variables « travail en extérieur » et « consommation d'alcool » ont été forcées dans le modèle , bien que le niveau de significativité était plus grand que 0,10 , car elles faisaient varier l'odds-ratio de plus de 10 %

¹³ HTA : hypertension artérielle

Il existe plus fréquemment des signes d'irritation oculaire (yeux rouges, yeux qui piquent...)($p_{\chi^2}= 0,05$) et des symptômes cutanés (démangeaisons, éruptions ou rougeurs) ($p_{\chi^2}=0,06$).

Il n'existe pas d'augmentation significative des symptômes de la sphère digestive, même si les salariés des CET signalent plus souvent l'existence d'épisodes de nausées (7/22) que les salariés non – exposés (4/22) (non significatif).

Il n'existe pas de signes fonctionnels cardiaques en excès dans l'un ou l'autre groupe.

Il existe une différence significative ($p= 0,01$) entre les deux groupes quand on compare les pourcentages de personnes se plaignant de tous types de signes neurologiques chroniques [il s'agit essentiellement de troubles de la mémoire ($p=0,05$), mais aussi un peu plus souvent une irritabilité excessive (NS) ou des troubles du sommeil (NS)]. L'analyse en régression logistique ne révèle par contre aucune relation entre le fait de présenter un ou des signes neurologiques généraux et divers facteurs (comme le fait de travailler en CET, de boire régulièrement de l'alcool).

Par ailleurs, 5 salariés des CET signalent avoir eu des épisodes de vertiges associés à des céphalées lors de certaines tâches (1 seul salarié non exposé signale avoir eu un épisode de céphalée lors d'une tâche professionnelle) ; il s'agit des deux salariés de la station d'épuration sur le site 2 et des deux vérificateurs, le dernier étant un conducteur d'engins.

2.2. Signes cliniques¹⁴

Pour une taille moyenne identique (172 cm), il existe un surpoids significatif dans le groupe exposé (CET : poids moyen 76,4 kg \pm 13,5 ; 54-107 ; non –exposés : poids moyen. : 71,7 kg \pm 10,5 ;51-95) (indice de masse corporelle supérieur dans un groupe % à l'autre).

Les salariés exposés ont deux fois plus souvent d'hypertension artérielle (définie suivant les règles actuellement admises comme une tension systolique supérieure ou égale à 140 mm Hg et /ou une tension diastolique supérieure ou égale à 90 et / ou un traitement pour hypertension) que les non –exposés ($p=0,03$) (Tension artérielle systolique : CET = 134 mm Hg \pm 15,1 ; non – exposés : 126,4 mm Hg \pm 11,2. Tension artérielle diastolique : CET = 88 mm Hg \pm 8,2 ; non – exposés : 75,7 mm Hg \pm 10,8). Lors de l'analyse en régression logistique, seuls la consommation régulière d'alcool et le fait de travailler sur un CET sont en lien avec l'existence d'une possible hypertension. Il n'y a pas d'interaction entre le fait de consommer régulièrement de l'alcool et le fait de travailler en CET.

¹⁴ on appelle signe clinique un signe observé par le médecin lors de l'examen clinique.

L'examen clinique ne révèle pas de fréquence plus importante de signes cliniques cardiaques, pulmonaires, neurologiques ou même cutané - muqueux dans un groupe par rapport à l'autre.

2.3. Signes paracliniques

(1) L'exploration fonctionnelle respiratoire

L'étude des divers paramètres de l'exploration fonctionnelle respiratoire ne révèle aucune différence significative des performances respiratoires des deux groupes de salariés, en dépit d'une performance moins élevée du groupe CET pour les paramètres suivants : dem75¹⁵ et dem 25.

(2) Les paramètres biologiques

Les enzymes hépatiques sont significativement plus élevés ($p = 0,05$) chez les salariés des CET (Tableau 25). Cependant, ils sortent des normes seulement pour 6 salariés sur 22 dans les CET et 2 salariés sur 22 dans le groupe non exposé. Lorsque l'on prend en compte le niveau de consommation d'alcool déclaré par les salariés, les enzymes hépatiques sont au même niveau dans les deux groupes.

En ce qui concerne la numération et la formule sanguine, il n'existe aucun examen hors des zones de normalité définies par les laboratoires.

L'analyse des distributions des résultats des deux groupes montre l'existence d'une distribution similaire entre les deux groupes des paramètres concernant la lignée rouge (globules rouges) (Tableau 26). En ce qui concerne la lignée blanche, le nombre moyen de globules blancs (Leucocytes) est plus important dans le groupe des salariés exposés. Cette augmentation n'est cependant pas significative.

L'analyse de la formule sanguine montre que cette augmentation est essentiellement le fait d'une augmentation des polynucléaires neutrophiles (à la limite du seuil de significativité). Les polynucléaires basophiles sont pour leur part diminués dans le groupe des salariés exposés (diminution toutefois non significative).

Les plaquettes sont également augmentées dans le groupe exposé (limite du seuil de significativité).

Le taux de plombémie est supérieur (mais la différence n'est pas significative) chez les salariés du groupe non – exposé, ce qui est lié à quelques niveaux très élevés dans un des

¹⁵ DEM 75 : débit à 25 % de la Capacité pulmonaire vitale

DEM 25 : débit à 75 % de la capacité pulmonaire vitale

Ces deux paramètres font partie des paramètres diminués lors de l'existence de troubles respiratoires de type obstructif (atteintes des voies respiratoires)

deux groupes professionnels de comparaison (Tableau 27). Après enquête, il semble que ces quelques taux importants soient liées à certaines tâches spécifiques (plombage de compteur, travail sur vieilles tuyauteries). Quelques plombémies dans le groupe des salariés des CET sont supérieures à 100 µg/l (réception, un vérificateur, un salarié s'occupant plus spécifiquement des boues).

Il n'existe par contre pas d'augmentation des PPZ¹⁶ dans aucun des deux groupes (cette molécule est en général augmentée pour des niveaux de plombémie plus élevés (supérieurs à 200 µg/l) (WHO Air quality guidelines, 2000).

Tableau 25: Caractéristiques du bilan hépatique des salariés des deux groupes

| statut | | gGT (UI/l) | SGOT (UI/l) | SGPT (UI/l) |
|---------------------------|-----------------|---------------|----------------|-----------------|
| salariés des CET | moyenne ± écart | - 59,73 | ± 29,73 | ± 36,95 ± 32,66 |
| | type | 79,12 | 14,92 | |
| | mini - maxi | 13 - 368 | 14 - 77 | 14 - 135 |
| non - exposés | moyenne ± écart | - 26,32 | ± 22,59 ± 5,30 | 22,59 ± 11,11 |
| | type | 17,41 | | |
| | mini - maxi | 10 - 75 | 15 - 35 | 10 - 54 |
| <i>Normes laboratoire</i> | | <i>7 - 64</i> | <i>5 - 42</i> | <i>7 - 47</i> |

¹⁶ PPZ : proto - porphyrine Zinc : protéine augmentée lors d'intoxication au plomb : elle permet de caractériser l'ancienneté de la contamination.

Tableau 26 : Caractéristiques de la numération et de la formule sanguine des salariés des CET et du groupe témoins

| Paramètre de la formule sanguine | Statut | Moyenne ± écart - type | Normes labo | p (test de t) | |
|---------------------------------------|---|-----------------------------------|----------------------------|------------------|------|
| Hématies (Globules rouges) | Nombre (T/l) | salariés CET non exposés | 4,95 ± 0,35 5,05 ± 0,28 | 4,50 – 5,50 | NS |
| | Hémoglobine (g/l) | salariés CET | 151,5 ± 11,13 | 130 - 160 | NS |
| | | non exposés | 153,14 ± 7,89 | | |
| Volume Globulaire Moyen (VGM) (fl) | salariés CET | 90,31 ± 4,34 89,69 ± 4,39 | 82 - 98 | NS | |
| | non exposés | - | | | |
| Leucocytes (Globules blancs) | Nombre (G/l) | salariés CET | 7,92 ± 2,27 6,79 ± 2,09 | 4 – 10 | 0,09 |
| | | non exposés | - | | |
| | Polynucléaires neutrophiles (G/l) | salariés CET | 4,81 ± 1,71 3,89 ± 1,46 | 1,5 – 7,5 | 0,06 |
| non exposés | | - | | | |
| Polynucléaires éosinophiles (G/l) | salariés CET | 0,15 ± 0,11 0,19 ± 0,13 | 0 – 0,5 | NS | |
| | non exposés | - | | | |
| Polynucléaires basophiles (G/l) | salariés CET | 0,03 ± 0,04 0,08 ± 0,12 | 0 – 0,1 | 0,08 | |
| | non exposés | - | | | |
| Lymphocytes (G/l) | salariés CET | 2,39 ± 0,71 2,16 ± 0,64 | 1 - 4 | NS | |
| | non exposés | - | | | |
| Monocytes (G/l) | salariés CET | 0,54 ± 0,20 0,52 ± 0,16 | 0,4 - 1 | NS | |
| | non exposés | - | | | |
| Plaquettes | Nombre (G/l) | salariés CET | 245,95 ± 50,27 | 150 - 400 | 0,07 |
| | | non - exposés | 219,45 ± | | |
| | | 41,95 | | | |

Tableau 27 : Plombémie et protoporphyrine-zinc des salariés des différents groupes professionnels, suivant les sites

| statut | | Plombémie ¹⁷ (µg/l) | PPZ (µg/g d'Hb) |
|---------------|------------------|---------------------------------------|-----------------------|
| SITE 1 | salariés des CET | moyenne ± écart - 57,78 ± 26,11 | 2,3 ± 0,84 |
| | n = 9 | type mini - maxi | 30 - 115 1,5 – 4,3 |
| | non exposés | - moyenne ± écart - 43,33 ± 12,75 | 1,8 ± 0,43 |
| | n = 9 | type mini - maxi | 20 - 60 1,3 – 2,5 |
| SITE 2 | salariés des CET | moyenne ± écart - 64,09 ± 36,32 | 2,01 ± 0,51 |
| | n = 11 | type mini - maxi | 30 - 140 1,4 – 2,7 |
| | non exposés | - moyenne ± écart - 100,38 ± 77,34 | 1,95 ± 0,44 |
| | n = 13 | type mini - maxi | 30 - 295 1,2 – 2,5 |

(3) Les résultats des tests psychomoteurs

Après analyse en aveugle des résultats du test MMSE par les psychologues, il a été décidé d'éliminer d'emblée un salarié (qui s'est avéré être un des salariés du groupe non -exposé) dont le score trop mauvais témoignait d'une atteinte d'ordre psychiatrique importante, ce qui perturbait fortement tous ses autres tests.

Les performances dans les divers tests psychomoteurs sont un peu moins bonnes dans le groupe des salariés des CET. Toutefois, seuls les tests analysant la fonction cognitive (tests de Stroop) sont significativement moins bons dans le groupe CET¹⁸ (Tableau 28).

L'analyse plus fine montre que ces performances moins bonnes ne sont pas en relation avec un état anxieux plus important dans le groupe CET ; ni avec les résultats du MMSE. Par contre, une analyse a été réalisée en séparant les personnes qui ne boivent pas ou occasionnellement de l'alcool, et les salariés qui disent en boire régulièrement : Dans le

¹⁷ Au delà d'une plombémie de 80 µg/l, on estime qu'il existe une exposition au plomb soit environnementale, soit professionnelle.

¹⁸ fonction cognitive = fonction cérébrale permettant à un individu de prendre, de recevoir, d'analyser les informations provenant de l'extérieur

groupe des salariés ne buvant pas d'alcool, les performances des tests de Stroop sont identiques dans les deux groupes ; alors que dans le groupe des consommateurs réguliers, les résultats des salariés des CET sont inférieurs. Lors de cette même analyse, les performances de dextérité manuelle (en particulier le test de Purdue à deux mains) sont également moins bonnes dans ce groupe ($p=0,02$). Il existe une relation linéaire entre la quantité de verres de vin consommés et les résultats du test de dextérité manuelle (PURDUE) ($p : 0,02$); il existe également une relation ($p = 0,01$) entre les taux des enzymes hépatiques et les scores obtenus au test de Stroop. Les scores obtenus aux différents tests ne sont, par contre, pas liés au taux de plombémie.

Tableau 28 : Résultats des tests psychomoteurs dans les deux groupes de salariés

| tests | | Salariés CET | des Salariés non exposés | - p (test de Mann-Whitney) ou (test de χ^2) |
|--|--------------------|----------------------------|--------------------------------|--|
| MMSE ¹⁹ | médiane (min-max) | 27,0 (21-30) ²⁰ | 27,5 (23-30) | NS (test de Mann-Whitney) |
| Catell ²¹ | flegmatique | 6 (28,6 %) | 6 (30,0 %) | NS (test de χ^2) |
| | normal | 5 (23,8 %) | 10 (50 %) | |
| | anxieux | 9 (42,9 %) | 4 (20 %) | |
| Benton ²² | médiane (min-max) | 13,0 (6 – 15) | 13,0 (9 – 15) | NS (test de Mann-Whitney) |
| Stroop ²³ A | médiane (min-max) | 100 (66 – 140) | 101 (66 – 125) | NS (test de Mann-Whitney) |
| Stroop B | médiane (min-max) | 69 (55 – 96) | 75 (56 – 95) | p (test de Mann-Whitney) = 0,03 |
| Stroop C | médiane (min-max) | 31 (18 – 54) | 41 (30 – 67) | p (test de Mann-Whitney) = 0,01 |
| Stroop D | médiane (min-max) | 39 (32 – 55) | 43 (33 – 54) | NS (test de Mann-Whitney) |
| Temps de réaction ²⁴ (moyen) | médiane (min-max) | 53 (36 – 62) | 52 (37 – 59) | NS (test de Mann-Whitney) |
| Purdue ²⁵ main droite | médiane (mini-max) | 38 (6 – 93) | 52 (11 – 97) | NS (test de Mann-Whitney) |
| Purdue main gauche | médiane (min-max) | 49 (8 – 98) | 55 (13 – 97) | NS (test de Mann-Whitney) |
| Purdue deux mains | médiane (min-max) | 20 (6 – 75) | 41 (6 – 75) | NS (test de Mann-Whitney) |
| Purdue assemblage | médiane (min-max) | 25,5 (2 – 78) | 49,5 (9 – 78) | NS (test de Mann-Whitney) |

¹⁹ MMSE : test d'intelligence globale

²⁰ exposés : 3 sujets < 24; non – exposés 1 sujet < 24

²¹ Catell : test destiné à dépister un état anxieux (susceptible de perturber le passage des tests)

²² Benton : test de mémoire

²³ Stroop : tests de la fonction cognitive (le plus important est le test C)

²⁴ tests du temps de réaction à un stimulus extérieur

²⁵ tests de Purdue : teste la dextérité manuelle

D. L'étude sur les indicateurs végétaux et animaux

1. Les lichens

Au départ, trois sites ont été retenus pour l'étude des lichens; seul le site 3 montrait naturellement des lichens présents dans plusieurs stations, les sites 1 et 2 ne possédaient que quelques spécimens. La richesse en *Xanthoria parietina* dans le site 3 et la présence, bien que rare, de cette espèce dans les deux autres sites nous ont conduits à retenir cette espèce pour les analyses et la mise en place de transplants dans les sites 1 et 2.

Suite aux visites préparatoires réalisées sur les sites susceptibles d'être retenus pour l'étude, nous avons signalé que seul le site 3 se prêtait à la méthodologie proposée dans la réponse à l'appel d'offres, la localité étant très riche en une espèce lichénique, *Xanthoria parietina* (L.) Ach. qui était quasiment la seule espèce présente. Nous avons proposé de repérer les localités les plus représentatives du site en fonction des émissions possibles et les plus riches en lichens, pouvant faire l'objet de prélèvement pour analyse, sans risque de détruire la végétation lichénique du site.

Dans les sites 1 et 2, on a pu trouver cependant au cours des visites quelques arbres sur lesquels se développaient *Xanthoria* en petite quantité. A la fin de l'expérimentation, les thalles ont été prélevés pour analyses et les résultats obtenus sur ces lichens localisés in situ ont pu être comparés avec les analyses des stations de référence hors site.

1.1. Mode d'interprétation des résultats : comparaison avec les témoins

Il est indispensable de comparer les teneurs mesurées dans les lichens récoltés in situ ou transplantés avec les teneurs mesurées dans les lichens de stations témoins. Dans le cas présent, les témoins peuvent être considérés de deux types:

- les lichens des stations trouvées hors site en conditions protégées et qui peuvent servir de référence,

- les lichens des transplants d'origine qui ont été prélevés dans des stations d'autres régions.

Les effectifs étant réduits, il n'a pas été possible de mettre en œuvre des tests de comparaisons de moyennes. Cependant, en calculant les rapports de concentration entre teneurs, les résultats peuvent être interprétés en terme de tendance. Ces rapports ont été calculés pour chaque série de résultats et présentés dans un tableau synthétique (Tableau 46).

(1) Stations hors site

Pour chaque site étudié, nous avons repéré hors site 1 ou 2 stations qui ont été retenues comme stations témoins pour comparaison avec les teneurs des lichens obtenues sur les sites. Dans le cas du site 1, une station a pu être trouvée, pour les sites 2 et 3, 2 stations hors site ont été repérées. Dans le cas du site 3, nous avons, en outre, récolté des échantillons dans une station hors site localisée à proximité d'une voie à grande circulation, ce qui permet de faire la part d'une autre source de pollution possible que celle de la décharge.

(2) Transplants d'origine

Nous devons insister ici sur une des difficultés à résoudre dans la technique de transplantation : celle de trouver des stations de référence hors de toute source de contamination et suffisamment riches en lichens pour fournir au moins une série de transplants.

Dans la nécessité de faire face à la fabrication de nombreux transplants pour le suivi des sites 1 et 2 par le nombre de stations choisies et la durée des expérimentations, nous avons dû effectuer des prélèvements de *Xanthoria* dans trois stations différentes en fonction des séries d'expérimentation :

- station S pour les transplants mis en place les 6 premiers mois en 1999 dans le site 1 et durant un an dans les sites 1 et 2,
- station Tr pour les transplants installés les 6 derniers mois dans le site 1,
- station I pour les transplants mis en place durant les 6 derniers mois dans le site 2.

Le Tableau 29 présente les concentrations des différents éléments analysés dans les trois lots de transplants (*tplts Tr, I et S*).

Tableau 29 : Teneurs en éléments des transplants (tplts Tr, I et S)

| | | tplts Tr | tplts I | tplts S | I/Tr | S/Tr |
|-----------------|-------|----------|---------|---------|------|-------|
| Matières sèches | % | 90,9 | 90,7 | 92 | 1,00 | 1,01 |
| As | mg/kg | 0,4 | 0,7 | 0,4 | 1,75 | 1,00 |
| Cd | mg/kg | 0,2 | 0,2 | 2,6 | 1,00 | 13,00 |
| Cr t | mg/kg | 2,2 | 3,1 | 6,6 | 1,41 | 3,00 |
| Cu | mg/kg | 6,4 | 9,2 | 6,4 | 1,44 | 1,00 |
| Mn | mg/kg | 46,6 | 82,8 | 243 | 1,78 | 5,21 |
| Ni | mg/kg | 1,9 | 2,5 | 4,6 | 1,32 | 2,42 |
| Pb | mg/kg | 6,5 | 11,1 | 14,2 | 1,71 | 2,18 |
| Sb | mg/kg | 0,2 | 0,4 | 0,3 | 2,00 | 1,50 |
| Zn | mg/kg | 39,6 | 45,3 | 130 | 1,14 | 3,28 |
| N total | % | 1,72 | 1,98 | 1,4 | 1,15 | 0,81 |
| Hydrocarbures | mg/kg | 13,5 | 6,6 | 10,5 | 0,49 | 0,78 |
| Chlorures | mg/kg | 863 | 1210 | 430 | 1,40 | 0,50 |
| Sulfates | mg/kg | 7990 | 8740 | 6930 | 1,09 | 0,87 |
| Nitrates | mg/kg | 13 | 28,9 | 180 | 2,22 | 13,85 |
| P total | mg/kg | 1210 | 1040 | 1400 | 0,86 | 1,16 |

Sur les trois séries de transplants, les *transplants Tr* ont les valeurs les plus faibles. Ils seront donc considérés comme des lichens de référence auxquels tous les autres lichens pourront être comparés en dernier examen. Quant aux *transplants S* prélevés pourtant dans une station très protégée et apparemment loin de toute source de pollution, on remarque que certains métaux sont en quantités importantes par rapport aux *transplants Tr*, comme le Cd, le Mn, le Zn et le Cr²⁶.

Remarque :

Dans les illustrations présentées, les abréviations suivantes sont utilisées :

- Transplants sur site : LT
- Transplants d'origine (servant de témoins de référence) : Tplts (Tr ; I ; S) (les lettres correspondent à la zone géographique de provenance)
- Lichens trouvés in situ sur les sites : L
- Lichens in situ hors site : L7- L8-.... (lorsqu'ils sont rassemblés ils sont notés T)

1.2. Résultats obtenus sur le site 3

Parmi les 5 stations à lichens repérées sur le site et retenues pour les analyses (stations L1 à L5), la station L3 est celle qui est la plus proche de l'alvéole. La présence et le recouvrement de *Xanthoria parietina* sur le site 3 étaient suffisamment importants pour que l'on puisse réaliser les analyses du maximum d'éléments, certains d'entre eux pouvant se

²⁶ Il s'agit de chrome total comme pour toutes les autres analyses.

révéler des traceurs pertinents des décharges. Nous avons donc analysé les éléments suivants : métaux et métalloïdes (As, Cd, Cr total, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, Se, Tl et Zn); anions (nitrates, fluorures, phosphates, sulfates, chlorures et oxalates); azote total; solvants organohalogénés et BTX (pour ces derniers, seulement dans la station L1 du site susceptible d'en recevoir). En outre, une forme de couleur anormale plus verte du thalle ayant été remarquée dans la station L3, nous avons réalisé quelques analyses complémentaires sur des échantillons prélevés de cette forme (3Av) pour comparaison avec la forme normale (3An) .

(1) Synthèse des résultats (annexe B-7)

Nous présenterons dans le corps du texte une synthèse générale des résultats du site 3 (Figure 66 et Figure 67; en annexe sont présentées les analyses réalisées par le laboratoire municipal et régional de Rouen sur métaux, hydrocarbures, chlore total et soufre total.

Figure 66 :-Site 3 : teneurs en As, Cd, Cr t, Cu, Ni et Sb des lichens in situ analysés

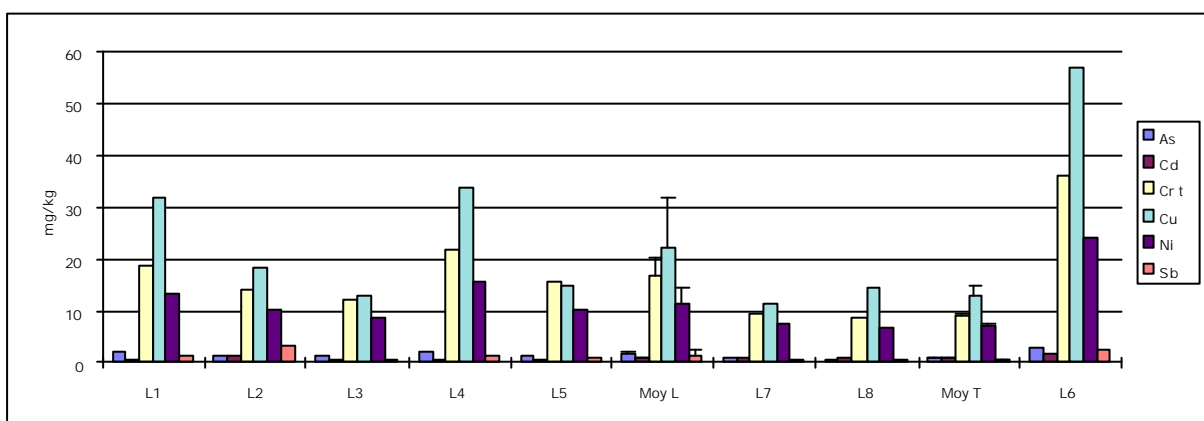
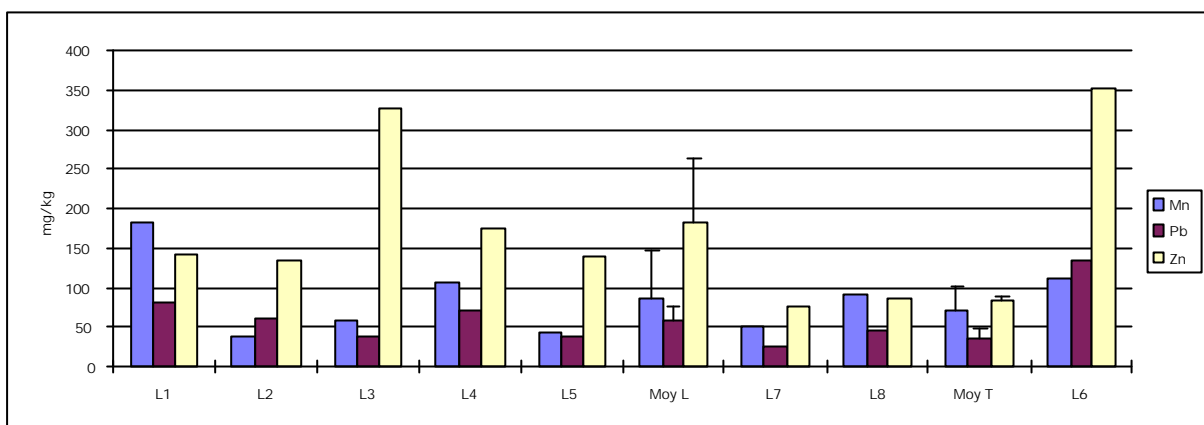


Figure 67- Site 3 : teneurs en Mn, Pb et Zn des lichens in situ analysés



Deux stations choisies en dehors du site (stations L7 et L8) montrent des teneurs en métaux généralement inférieures à celles des stations du site. Ces stations peuvent être considérées comme stations de référence.

La station L6, bien que hors du site montre des teneurs élevées en tout élément. Cette station est très riche en *Xanthoria* mais est située très près d'une voie à fort trafic ce qui explique les concentrations importantes en Pb (132 mg/kg). On a relevé également dans cette station une teneur très élevée en Zn (352 mg/kg).

Les analyses permettent de constater que sur l'ensemble des métaux, les éléments suivant : As, Cr total, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb et Zn montrent des teneurs généralement supérieures dans les stations du site par rapport à celles des stations témoins. On remarque en particulier des teneurs importantes en Mn dans 2 stations sur le site (L1 et L4); on note également dans ces 2 stations de fortes teneurs en Cd, Cr t, Cu et Ni ainsi qu'une concentration élevée en Zn (325 mg/kg) dans la station L3 (proche de l'alvéole).

Le Se, le Tl et les hydrocarbures ne présentaient pas de teneurs significativement différentes de celles des témoins et n'ont donc pas été retenus pour les analyses dans les autres sites.

Par ailleurs, aucune trace de solvants organohalogénés et de BTX n'a été retrouvée dans les lichens analysés. Il est possible, soit que ces éléments n'aient pas été émis, soit que les lichens n'aient pas été capables de les capter. Solvants organohalogénés et BTX n'ont donc pas été retenus dans les analyses ultérieures de lichens.

Les anions montraient aussi dans les stations du site des valeurs inférieures aux stations témoins. Cependant, on a constaté que la forme verte (3Av), inhabituelle chez cette espèce,

accumulait plus d'anions et d'azote total que la forme normale (3An). Cette forme, assez fréquente sur le site 3, pouvait être le signe d'une activité accrue du métabolisme azoté de *Xanthoria parietina*. Mais nous n'avons pas retrouvé cette forme anormale sur les quelques spécimens de lichens visibles sur les sites 1 et 2.

Si l'on considère les rapports d'accumulation entre les moyennes obtenues sur les stations du site et celles des stations témoins hors du site (annexe B-7) on peut observer que, sauf dans le cas du Cd et du Hg, l'augmentation des métaux sur le site peut aller de 1,2 fois à 2,3 fois les concentrations des stations témoins. Mais l'on peut constater aussi que la station L6 est nettement plus contaminée que les stations du site en tout élément avec des rapports d'accumulation pouvant être de 3 à 4 fois la valeur des stations témoins en particulier pour l'As, Cr t, Cu, Ni, Pb, Sb et Zn.

En outre, si l'on compare les rapports d'accumulation entre stations témoins hors site et lichens de référence (*tplts Tr*), on s'aperçoit que ces rapports sont importants, en particulier en Pb, Cd et Cr t (rapports > 4).

Suite à ces premiers résultats, on a retenu pour les analyses suivantes : As, Cd, Cr total, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Sb et Zn parmi les métaux ainsi que N total, P total et nitrates pour vérification.

1.3. Résultats obtenus dans les sites 1 et 2

Les sites 1 et 2 s'étant révélés quasiment dénudés de lichens (seuls quelques thalles y avaient été observés), il devenait nécessaire de mettre en œuvre une nouvelle méthodologie adaptée : nous avons utilisé la technique de transplantation de thalles de *Xanthoria parietina*. Les transplants ont été installés dans des stations choisies et, en fonction des sites et des stations, les transplants ont été laissés en place, environ 6 mois pour certains, 1an pour d'autres.

Les résultats généraux des analyses pour chacun des sites 1 et 2 sont présentés en annexes B-8 et B-9.

(1) Résultats des analyses réalisées sur les transplants mis en place d'avril à novembre 1999 sur le site 1

Dans le site 1, tous les transplants issus de la série de transplants (tplts) S ont été mis en place le 7 avril 1999 dans les stations LT1 à LT5. Mais le transplant de la station LT3 a subi des dégâts. En effet, des thalles, sans doute soumis à trop forte dessiccation à cause du vent, se sont détachés de leur support et le matériel restant a été insuffisant pour réaliser des analyses. Les transplants des 4 autres stations, zone d'activité près de l'alvéole (LT1), de la fissure (LT2), de la torchère (LT4) et près de l'autoroute (LT5) ont été déposés le 25 novembre 1999. L'expérimentation a donc duré précisément 7,5 mois.

Les résultats des analyses sont présentés dans le Tableau 30 et les figures 68 et 69.

Tableau 30 : - Site 1 : Teneurs en éléments transplants lichéniques mis en place durant 6 mois en 99 (N t en %, le reste en mg/kg)

| | LT1 | LT2 | LT4 | LT5 | Moy LT | Ec-t LT | tplts S | Rap. accu. LT/tplts S |
|----------|------|------|------|------|---------|---------|---------|--------------------------|
| As | 0,9 | 0,9 | 3,3 | 0,4 | 1,38 | 1,30 | 0,4 | 3,44 |
| Cd | 1,9 | 2,6 | 2,4 | 2,3 | 2,30 | 0,29 | 2,6 | 0,88 |
| Cr t | 3,6 | 4,2 | 7,4 | 2,9 | 4,53 | 1,99 | 6,6 | 0,69 |
| Cu | 10,5 | 22,5 | 14,8 | 6,5 | 13,58 | 6,85 | 6,4 | 2,12 |
| Hg | 0,11 | 0,13 | 0,12 | 2,7 | 0,77 | 1,29 | 0,12 | 6,38 |
| Mn | 139 | 175 | 162 | 149 | 156,25 | 15,65 | 243 | 0,64 |
| Ni | 3,6 | 4,9 | 4,1 | 2,7 | 3,83 | 0,92 | 4,6 | 0,83 |
| Pb | 15,3 | 22,5 | 15,1 | 13,2 | 16,53 | 4,09 | 14,2 | 1,16 |
| Sb | 0,5 | 0,9 | 0,5 | 0,3 | 0,55 | 0,25 | 0,3 | 1,83 |
| Zn | 395 | 433 | 130 | 116 | 268,50 | 168,82 | 130 | 2,07 |
| N t | 2,01 | 2,09 | 1,81 | 1,63 | 1,89 | 0,21 | 1,4 | 1,35 |
| P t | 1440 | 1130 | 1530 | 1370 | 1367,50 | 171,34 | 1400 | 0,98 |
| Nitrates | 137 | | 213 | 54,9 | 134,97 | 79,07 | 180 | 0,75 |

Figure 68- Site 1 : teneurs en As, Cd, Cr t, Hg, Ni et Sb des transplants lichéniques mis en place durant 6 mois en 99

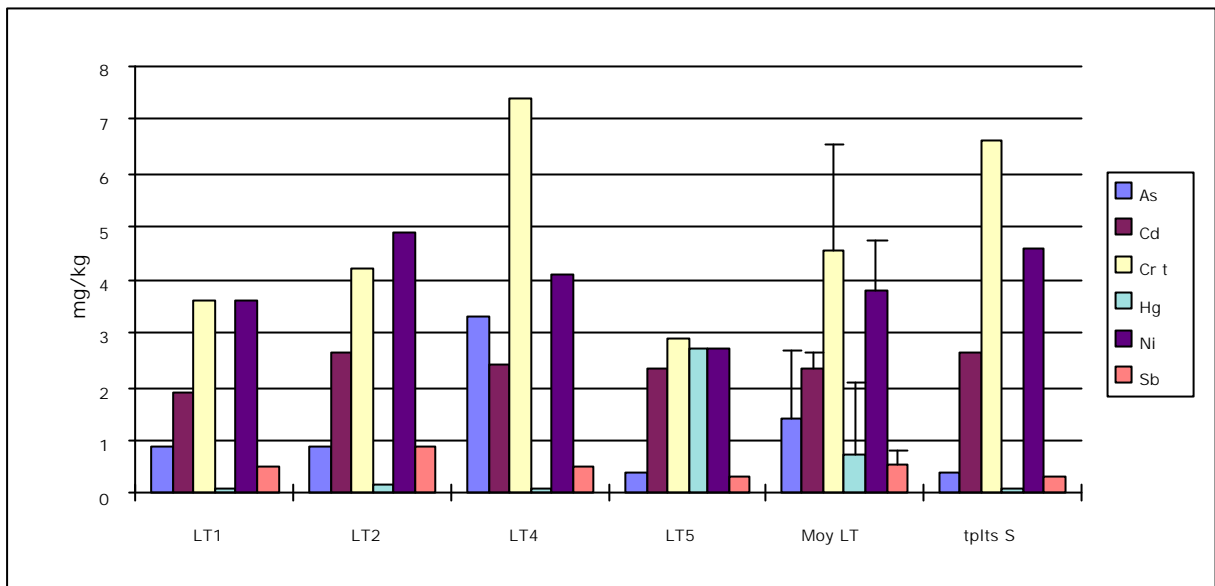
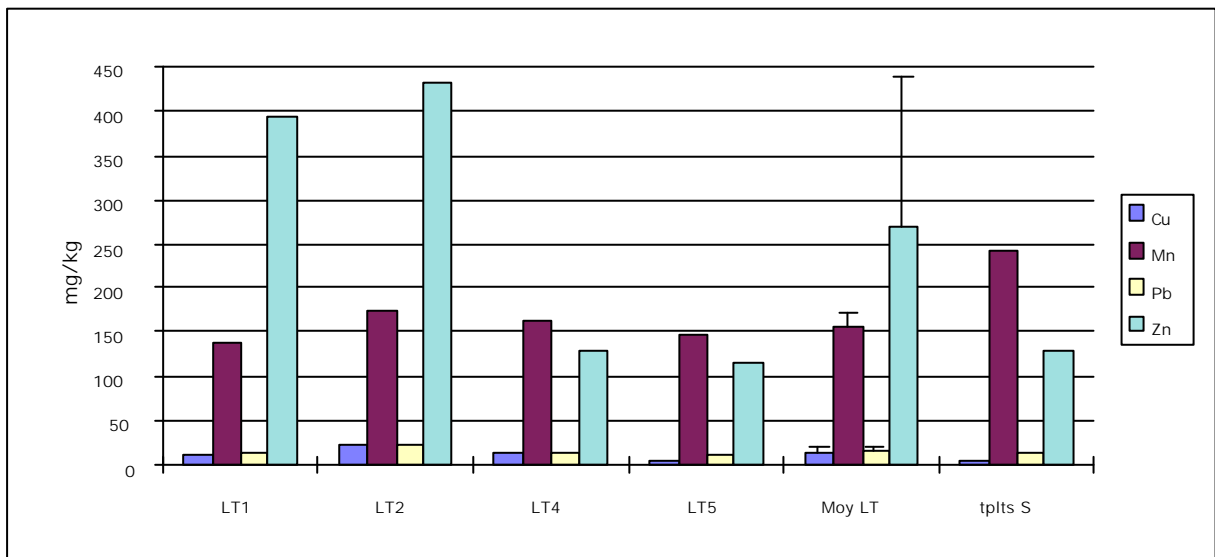


Figure 69- Site 1 : teneurs en Cu, Mn, Pb et Zn des transplants lichéniques mis en place durant 6 mois en 99



Si l'on considère les rapports d'accumulation entre les transplants en fin d'expérimentation et les transplants d'origine, on constate que des augmentations concernent les métaux suivants: As, Cu, Hg, Pb, Sb et Zn. D'autres éléments n'ont pas subi de variations ou montrent des diminutions : Cd, Cr t, Mn, et Ni.

Nous voyons cependant que l'augmentation de Hg est due à la station LT5 située très proche de l'autoroute et non aux stations soumises directement aux effets de la décharge, que l'augmentation d'As s'est faite surtout à proximité de la torchère (LT4), celle du Pb à proximité de la fissure (LT2). On note une nette contamination en Cu et en Zn sur l'ensemble du site.

L'azote total est peu modifié, le phosphore total et les anions présentent des diminutions.

Compte tenu de ces résultats et en accord avec les autres partenaires, à la suite de cette première expérimentation, n'ont été retenus finalement pour les analyses ultérieures des lichens que les métaux dont les concentrations étaient suffisantes à l'émission : Cd, Cr t, Cu, Mn, Ni, Pb et Zn.

(2) Résultats d'analyses obtenues sur le site 1

a) sur les transplants mis en place durant 6 mois en 2000

Sur ce site une nouvelle série de transplants a ensuite été réinstallée du 25.11.99 au 5.4.00 dans 3 stations en LT1 (zone d'activité), en LT2 (près de la fissure) et en LT3 (près du bois nord) donc précisément pendant 4,5 mois. Les résultats sont consignés dans le Tableau 31 et visualisés par les figures 70 et 71.

Tableau 31 : Site 1 - Teneurs en éléments des transplants lichéniques mis en place durant 6 mois en 2000 (mg/kg)

| | LT1 | LT2 | LT3 | Moy LT | Ec-t Moy | tplts Tr | Rap. accu. LT/ tplts Tr |
|------|------|------|------|--------|----------|----------|----------------------------|
| Cd | 0,39 | 0,3 | 0,23 | 0,31 | 0,08 | 0,2 | 1,55 |
| Cr t | 8,5 | 6,7 | 5,2 | 6,80 | 1,65 | 2,2 | 3,09 |
| Cu | 21,6 | 14,2 | 9,1 | 14,97 | 6,29 | 6,4 | 2,34 |
| Mn | 89 | 78,1 | 70,1 | 79,07 | 9,49 | 46,6 | 1,70 |
| Ni | 5,5 | 5,9 | 3,7 | 5,03 | 1,17 | 1,9 | 2,65 |
| Pb | 0,4 | 0,3 | 0,2 | 0,30 | 0,10 | 6,5 | 0,05 |
| Zn | 277 | 138 | 216 | 210,33 | 69,67 | 39,6 | 5,31 |

Figure 70- Site 1 : teneurs en Cd, Cr t, Cu, Ni et Pb des transplants lichéniques mis en place durant 6 mois en 2000

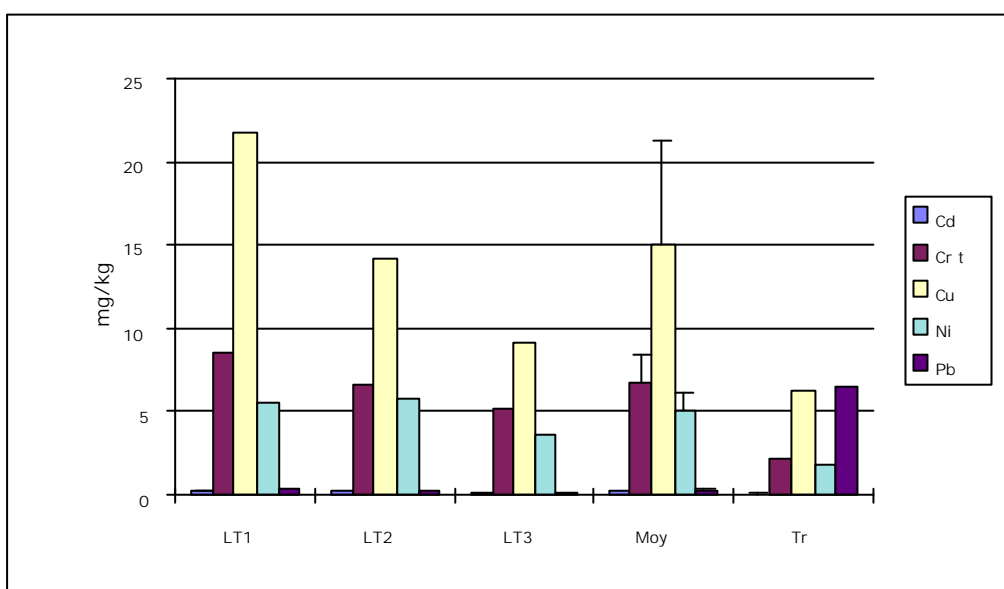
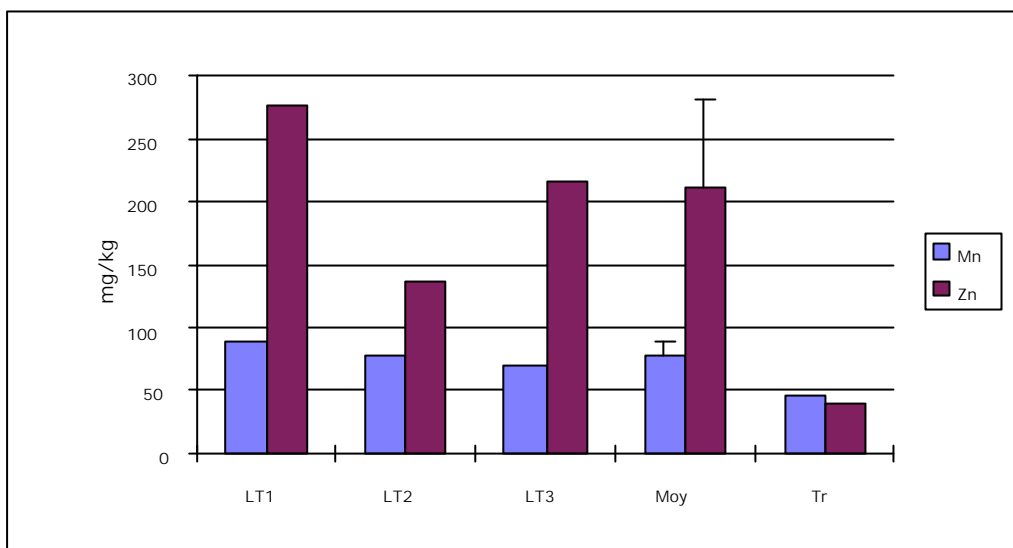


Figure 71- Site 1 : teneurs en Mn et Zn des transplants lichéniques mis en place durant 6 mois en 2000



Comme durant l'expérimentation conduite d'avril à novembre 99, les teneurs moyennes de tous les métaux analysés se retrouvent en plus grande quantité dans les transplants mis en place que dans les lichens d'origine Tr, sauf dans le cas du plomb qui montre toujours des valeurs plus faibles dans les lichens transplantés. On remarque ici une forte augmentation surtout en Zn dans les 3 stations.

Ces observations sont confirmées en prenant en compte les rapports d'accumulation qui sont très importants dans le cas du Zn (plus de 5 fois la teneur des transplants d'origine), du Cr t (3 fois), du Cu et du Ni (plus de 2 fois), du Cd et du Mn (plus de 1.5 fois).

Dans cette expérimentation comme dans la précédente, l'augmentation des teneurs en Cd, Cr t, Cu, Ni, Mn et Zn, met bien en évidence la contamination atmosphérique dans les lichens par le centre d'enfouissement. De plus, la diminution en Pb des transplants indique, d'une part que la pollution plombique sur le site 1 apparaît relativement faible et, d'autre part que les lichens, placés en milieu différent de leur lieu d'origine sont capables de se mettre en équilibre avec le milieu et de traduire, non seulement les augmentations éventuelles des concentrations de métaux mais aussi, comme c'est le cas pour le plomb, de leur diminution. De plus, on peut penser qu'en fonction des activités de la décharge les polluants atmosphériques émis par le site ont subi des variations durant les périodes de surveillance.

b) sur les transplants mis en place durant un an

Rappelons que les transplants ont été réalisés à partir de la série tpls S. Durant toute la période qui s'est écoulée du 7 avril 99 au 5 avril 2000 les transplants des stations LT3, LT4 et LT5 ont pu être maintenus sur le site sans qu'aucun dégât ne soit constaté.

Les résultats des analyses sont présentés dans le Tableau 32 et figures 72 et 73.

Tableau 32 : Site 1 - Teneurs en métaux des transplants lichéniques mis en place durant un an (mg/kg)

| | LT3 | LT4 | LT5 | Moy LT | tlpts S | Témoins | Ec-t Moy | Rap. accu. Moy LT/ tlpts S | Rap. accu. Moy LT/Tém. |
|------|------|------|------|--------|---------|---------|----------|-------------------------------|---------------------------|
| Cd | 2,06 | 1,62 | 1,88 | 1,85 | 2,6 | 0,15 | 0,22 | 0,71 | 12,36 |
| Cr t | 5 | 13,6 | 5,1 | 7,90 | 6,6 | 7,7 | 4,94 | 1,20 | 1,03 |
| Cu | 8,9 | 16,9 | 7,2 | 11,00 | 6,4 | 10,1 | 5,18 | 1,72 | 1,09 |
| Ni | 3,8 | 4,9 | 3,7 | 4,13 | 4,6 | 4,2 | 0,67 | 0,90 | 0,98 |
| Pb | 2,1 | 1,6 | 1,9 | 1,87 | 14,2 | 0,1 | 0,25 | 0,13 | 18,67 |
| Mn | 112 | 179 | 150 | 147,00 | 243 | 102 | 33,60 | 0,60 | 1,44 |
| Zn | 490 | 131 | 134 | 251,67 | 130 | 57,9 | 206,41 | 1,94 | 4,35 |

Figure 72 - Site 1 : teneurs en Cd, Cr t, Cu, Ni et Pb des transplants lichéniques mis en place durant un an

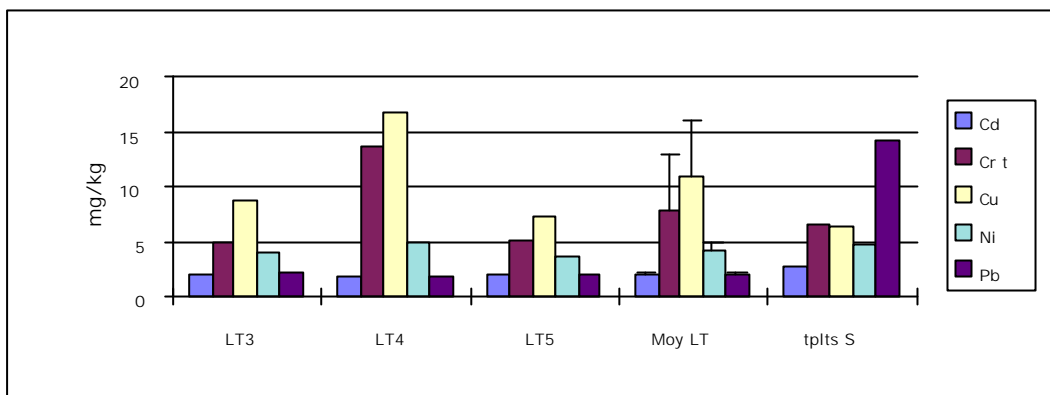
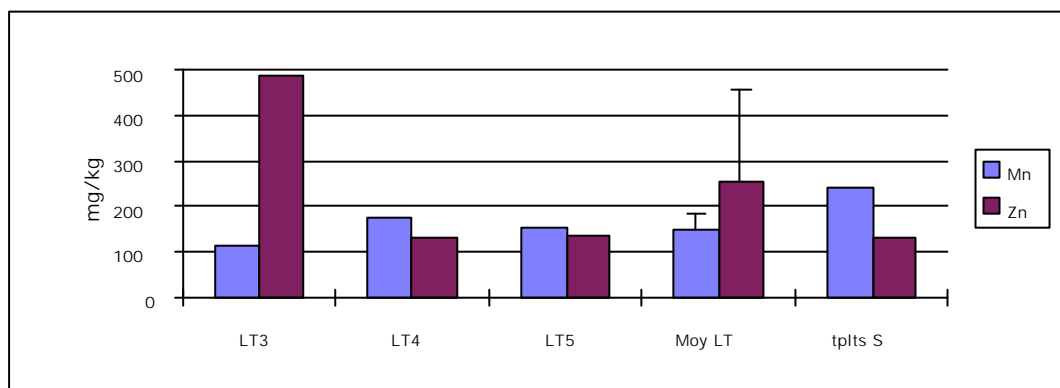


Figure 73- Site 1 : teneurs en Mn et Zn des transplants lichéniques mis en place durant un an)



Sur les 3 stations suivies les rapports d'accumulation montrent une augmentation certaine du Cr t et surtout du Cu et du Zn. Dans le détail des stations, celle de la torchère (LT4) présente une augmentation de Cr t et de Cu, celle du bois nord (LT3) est la seule à présenter une forte concentration en Zn. La station à proximité de l'autoroute (LT5) est finalement peu contaminée. On note une forte diminution du Pb dans les transplants.

c) sur les lichens prélevés in situ

Les prélèvements ont pu être réalisés en fin d'expérimentation dans trois stations du site 1, sur diverses essences localisées près de l'accueil (L6), sur chênes du bois sud (L7) et nord (L8), ainsi que dans une station hors site localisée en zone protégée à quelques km du site 1 (L9). Les résultats sont indiqués dans le Tableau 33 et les figures 74 et 75.

Tableau 33 - Site 1 : Teneurs en métaux des lichens prélevés in situ (mg/kg)

| | L6 | L7 | L8 | Moy L | Ec-t Moy | L9 | tplts Tr | Rap.accu. Moy L/ L9 | Rap.accu. L9/ tplts Tr |
|------|------|------|------|--------|----------|------|----------|------------------------|---------------------------|
| Cd | 0,31 | 0,36 | 0,37 | 0,35 | 0,03 | 0,15 | 0,2 | 2,31 | 0,75 |
| Cr t | 13,7 | 13,2 | 12,1 | 13,00 | 0,82 | 7,7 | 2,2 | 1,69 | 3,50 |
| Cu | 18,9 | 18,1 | 19 | 18,67 | 0,49 | 10,1 | 6,4 | 1,85 | 1,58 |
| Mn | 159 | 191 | 96,8 | 148,93 | 47,90 | 102 | 46,6 | 1,46 | 2,19 |
| Ni | 5,9 | 7,3 | 5,9 | 6,37 | 0,81 | 4,2 | 1,9 | 1,52 | 2,21 |
| Pb | 0,3 | 0,4 | 0,4 | 0,37 | 0,06 | 0,1 | 6,5 | 3,67 | 0,02 |
| Zn | 99,3 | 89,8 | 92,3 | 93,80 | 4,92 | 57,9 | 39,6 | 1,62 | 1,46 |

Figure 74 - Site 1 : teneurs en Cd, Cr t, Cu, Ni et Pb des lichens prélevés in situ

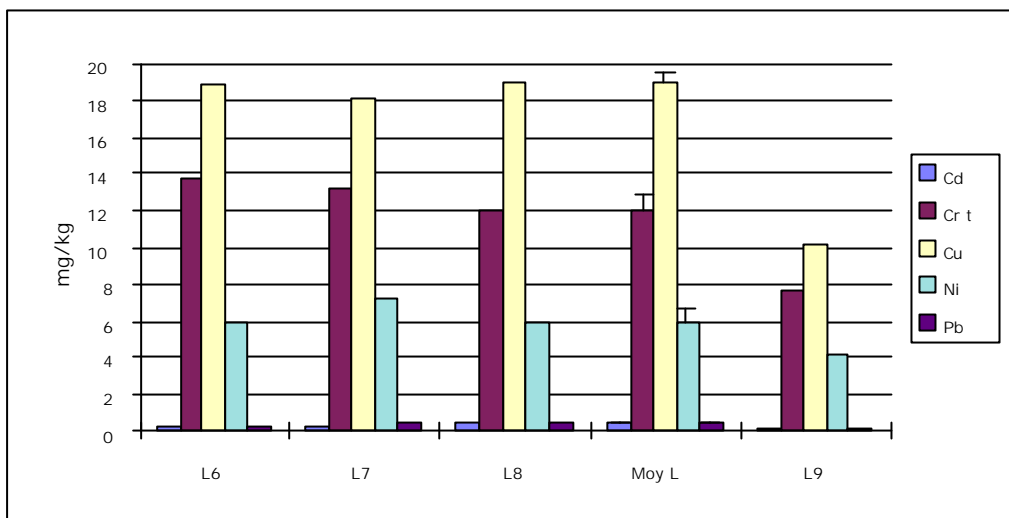
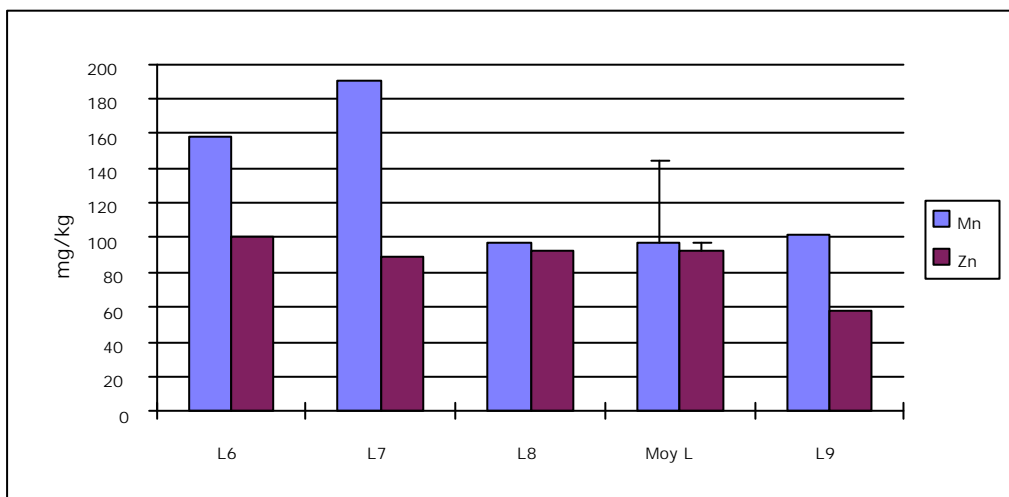


Figure 75 - Site 1 : teneurs en Mn et Zn des lichens prélevés in situ



Les résultats montrent une augmentation de tous les métaux par rapport à la station témoin (L9). Les rapports d'accumulation confirment ces résultats (augmentation de 1.5 à 3.7 fois les concentrations selon les éléments).

En comparant les teneurs des lichens hors site (L9) avec celles des transplants Tr, on constate que les lichens de la région subissent une augmentation surtout de la teneur en Cr t

(plus de 3 fois), du Ni et du Mn (plus de 2 fois), du Cu et du Zn (plus de 1.5 fois) mais pas du Cd ni du Pb. Cela peut signifier que dans la région où est installée le site 1, il existe déjà une contamination de fond surtout concernant le Cr t. Néanmoins, les lichens in situ traduisent bien l'augmentation générale en métaux due au site lui-même.

(3) Résultats d'analyses obtenues sur le site 2

a) sur les transplants mis en place durant 6 mois en 2000

Une série de transplants provenant de la série tpls I a été installée sur le site 2 durant la période allant du 16.12.99 au 15.5.00 soit durant 5 mois exactement dans les stations LT1 (alvéole), LT3 (près des 4 torchères), LT4 (2 torchères), LT5 (station d'épuration) et LT6 (plate-forme V).

Les résultats sont présentés dans le Tableau 34 et les figures 76 et 77.

Tableau 34 : Site 2 - Teneurs en métaux des transplants lichéniques mis en place durant 6 mois en 2000 (mg/kg)

| | LT1 | LT3 | LT4 | LT5 | LT6 | Moy LT | tplts I | Ec-t 6m | Rap.accu. Moy LT/tpls I |
|------|------|------|------|------|------|--------|---------|---------|----------------------------|
| Cd | 0,49 | 1,99 | 0,33 | 0,28 | 0,44 | 0,71 | 0,2 | 0,72 | 3,53 |
| Cr t | 31,7 | 7,8 | 15,3 | 10,8 | 4,3 | 13,98 | 3,1 | 10,70 | 4,51 |
| Cu | 54,7 | 7,3 | 16,4 | 11,9 | 6,5 | 19,36 | 9,2 | 20,15 | 2,10 |
| Mn | 195 | 388 | 130 | 132 | 85,1 | 186,02 | 82,8 | 119,50 | 2,25 |
| Ni | 8,3 | 4,8 | 5,2 | 4,6 | 2,8 | 5,14 | 2,5 | 1,99 | 2,06 |
| Pb | 0,5 | 2 | 0,3 | 0,3 | 0,4 | 0,70 | 11,1 | 0,73 | 0,06 |
| Zn | 135 | 142 | 161 | 62,1 | 77,7 | 115,56 | 45,3 | 43,11 | 2,55 |

Figure 76- Site 2 : teneurs en Cd, Cr t, Cu, Ni et Pb des transplants lichéniques mis en

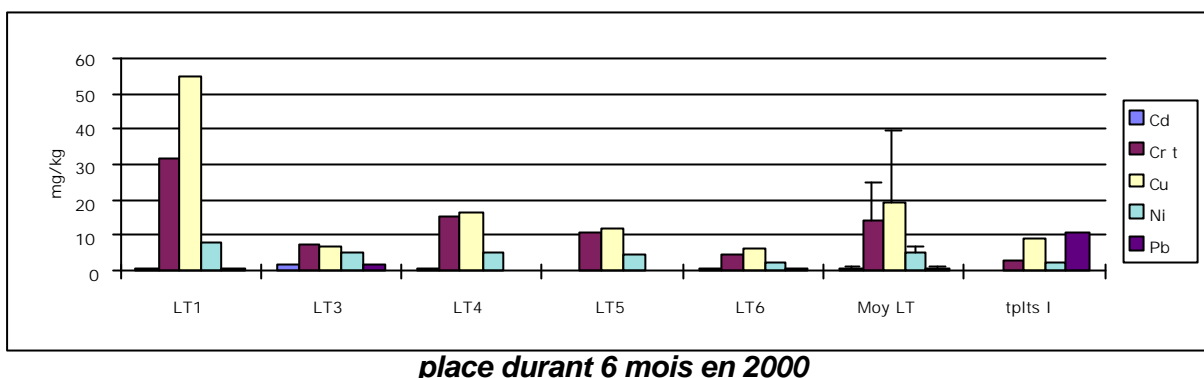
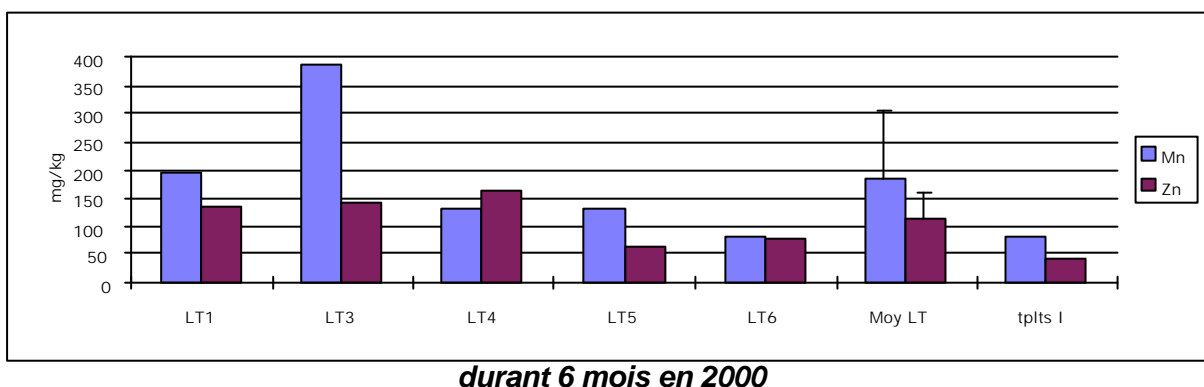


Figure 77 - Site 2 : teneurs en Mn et Zn des transplants lichéniques mis en place



On constate que, sauf dans le cas du plomb, la moyenne des teneurs en métaux des lichens est supérieure à celle des transplants d'origine I. Si l'on considère les rapports d'accumulation, on constate qu'en effet, il y a une augmentation des concentrations de 2 à 4.5 fois dans les lichens transplantés, le Cr t et le Cd montrant les augmentations les plus fortes, le Cu, Mn, Ni et Zn augmentant de 2 fois environ. Seul donc le plomb a diminué.

Cet enrichissement est variable selon les stations et les éléments eux-mêmes :

- la zone d'activité (LT1) montre une forte augmentation du Cr t et du Cu (respectivement 10 et 8 fois la teneur des lichens d'origine); l'augmentation y est moindre en Ni et en Cd;

- Cr t, Cu et Ni sont également bien présents dans les stations LT4 (2 torchères) et LT5 (station d'épuration);

- la teneur en Mn apparaît très importante dans la station LT3 près des 4 torchères (augmentation de la concentration de 5 fois);

- la teneur en Zn montre également une augmentation forte dans la station LT1 (zone d'activité) et dans les deux stations des torchères (LT3 et LT4) (de 3 à 4 fois la teneur d'origine).

b) sur les transplants mis en place durant un an

Une série complète de transplants a été installée le 6 mai 99 sur les stations LT1 à LT7 à partir de lichens de la série tpls S. Tous les transplants ont bien supporté le séjour sur le site et ont été déposés le 15 mai 2000.

Les résultats d'analyse sont indiqués dans le Tableau 35 et les figures 78 et 79.

Tableau 35 : Site 2- Teneurs en métaux des transplants lichéniques mis en place durant un an (mg/kg)

| | LT1 | LT2A | LT2B | LT3 | LT4A | LT4B | LT5 | LT7 | Moy LT | Ec-t LT | tplts S | Rap.accu. Moy LT/tpls S |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------|---------|---------|----------------------------|
| Cd | 2,53 | 2,46 | 2,66 | 0,3 | 0,97 | 1,82 | 2,43 | 2,35 | 1,94 | 0,86 | 2,6 | 0,75 |
| Cr t | 24,5 | 25,5 | 25,2 | 12,2 | 28,7 | 28,9 | 22,8 | 9,2 | 22,125 | 7,38 | 6,6 | 3,35 |
| Cu | 71,5 | 42,1 | 44,7 | 11,3 | 44,5 | 19,7 | 16 | 8,7 | 32,3125 | 21,90 | 6,4 | 5,05 |
| Mn | 448 | 292 | 259 | 104 | 218 | 310 | 294 | 463 | 298,5 | 116,79 | 243 | 1,23 |
| Ni | 15,8 | 8,2 | 10,7 | 5,5 | 12,7 | 8 | 8,8 | 5,7 | 9,425 | 3,51 | 4,6 | 2,05 |
| Pb | 2,5 | 2,5 | 2,7 | 0,3 | 1 | 1,8 | 2,4 | 2,4 | 1,95 | 0,86 | 14,2 | 0,14 |
| Zn | 248 | 212 | 229 | 76 | 175 | 360 | 138 | 156 | 199,25 | 85,08 | 130 | 1,53 |

Figure 78 - Site 2 : teneurs en Cd, Cr t, Cu, Ni et Pb des transplants lichéniques mis en place durant un an

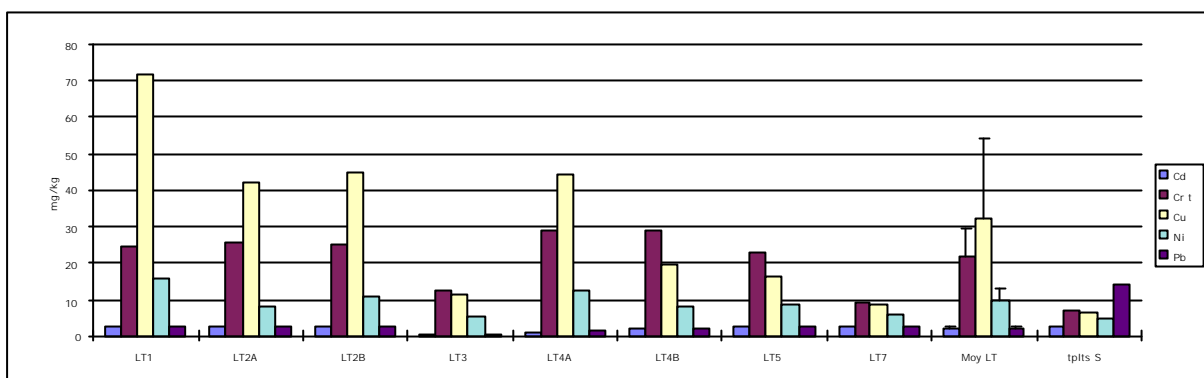
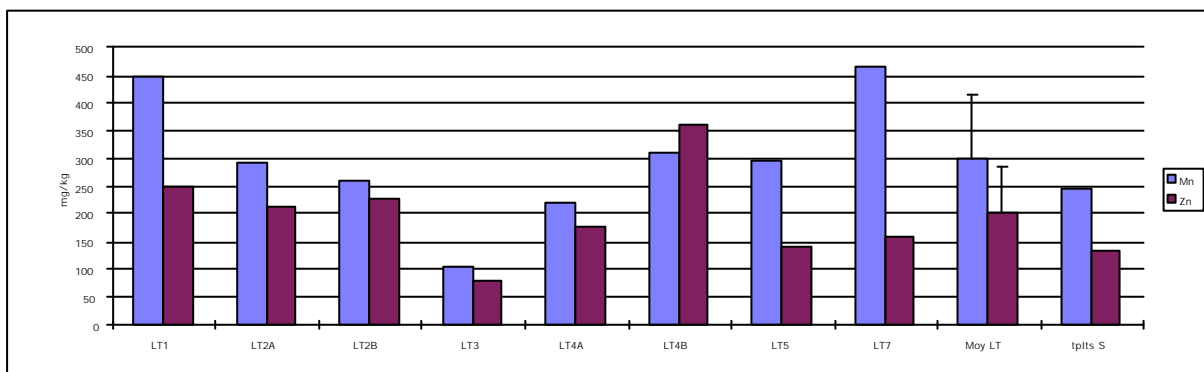


Figure 79 - Site 2 : teneurs en Mn et Zn des transplants lichéniques mis en place durant un an



Les résultats confirment ceux qui ont été obtenus durant la transplantation de 6 mois à savoir une augmentation de la teneur moyenne de tous les éléments sur l'ensemble des stations du site par rapport aux transplants d'origine, sauf dans le cas du Cd et surtout du Pb pour lesquels on constate une diminution.

Si l'on considère les rapports d'accumulation, l'augmentation est surtout visible dans le cas du Cu (5 fois plus que dans les transplants d'origine), suivi du Cr t (plus de 3 fois), du Ni (2 fois plus), du Mn et du Zn.

Dans le détail, on remarque que :

- la station LT1 est fortement contaminée en Cr t, Cu, Mn et Zn,
- la station LT3 (station des torchères) est la moins contaminée en tout élément,
- il n'y a pas de différence significative apparente entre les 2 transplants de la station LT2 : LT2A correspond au transplant qui avait été mis en place sur peuplier juste à l'entrée du site et devait rendre compte de la circulation des camions, LT2B correspond à celui qui avait été placé directement sur le portique à l'endroit même où les camions stationnent lorsque les chauffeurs déposent leurs papiers,
- à la station LT4, le transplant posé à proximité même des deux torchères est plus contaminé en Mn, et Zn que celui qui avait été placé sur poteau électrique à quelques mètres et qui présente une concentration légèrement plus élevée en Cu,
- la station LT7 localisée en zone plus protégée (à proximité d'un bois) montre cependant une augmentation en Mn.

c) sur les lichens prélevés in situ

En même temps que la dépose des transplants, des prélèvements ont pu être réalisés dans deux stations du site : sur peuplier au belvédère près des 4 torchères (L8A), et sur sureau près des 2 torchères (L8B). Des échantillons ont également été prélevés dans 2 stations hors site, une sur sureau (L9), une autre sur peuplier (L10) dont la moyenne est indiquée par T.

Les résultats sont présentés dans le Tableau 36 et figures 80 et 81.

Tableau 36- Site 2 : Teneurs en métaux des lichens prélevés in situ (mg/kg)

| | L8A | L8B | Moy L | Ec-t L | Moy Tém. | Ec-t T | tplts T | Rap.accu. Moy L/Moy T | Rap.accu. Moy Tém.tplts T |
|------|------|------|--------|--------|----------|--------|---------|--------------------------|------------------------------|
| Cd | 0,29 | 0,67 | 0,48 | 0,27 | 0,37 | 0,19 | 0,2 | 1,32 | 1,85 |
| Cr t | 20,1 | 16,4 | 18,25 | 2,62 | 19,05 | 3,75 | 2,2 | 0,96 | 8,66 |
| Cu | 13,8 | 17,3 | 15,55 | 2,47 | 9,85 | 4,17 | 6,4 | 1,58 | 1,54 |
| Mn | 230 | 97,3 | 163,65 | 93,83 | 147,30 | 70,29 | 46,6 | 1,11 | 3,16 |
| Ni | 7,8 | 6,5 | 7,15 | 0,92 | 10,40 | 4,53 | 1,9 | 0,69 | 5,47 |
| Pb | 0,3 | 0,7 | 0,5 | 0,28 | 0,35 | 0,21 | 6,5 | 1,43 | 0,05 |
| Zn | 116 | 126 | 121 | 7,07 | 90,00 | 10,04 | 39,6 | 1,34 | 2,27 |

Figure 80 - Site 2 : teneurs en Cd, Cr t, Cu, Ni et Pb des lichens prélevés in situ

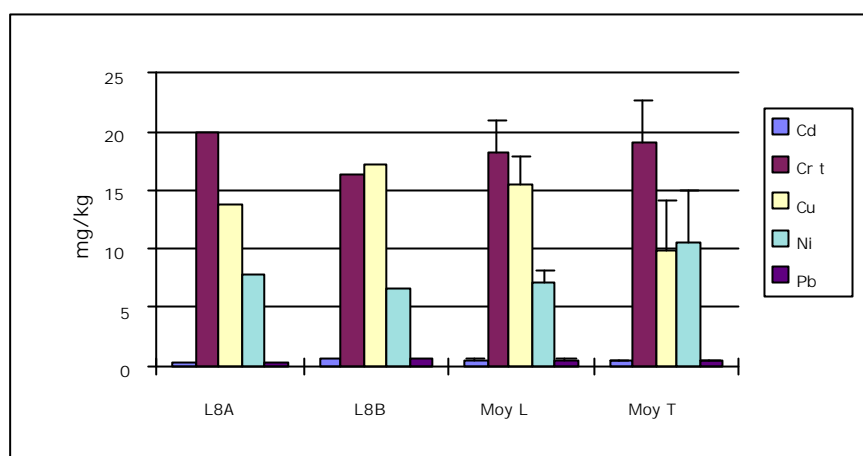
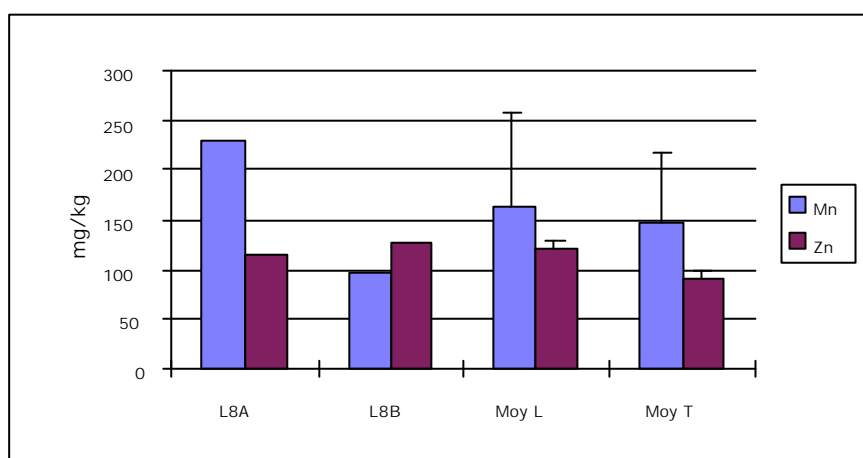


Figure 81- Site 2 : teneurs en Mn et Zn des lichens prélevés in situ



Les rapports d'accumulation montrent qu'il y a eu dans les lichens in situ une légère augmentation du Cu, Pb, Cd, Zn et Mn et une diminution du Cr t et du Ni.

Cependant, lorsque l'on considère les lichens hors du site (T) par rapport aux lichens de références (*tplts Tr*), on s'aperçoit que dans la région, il y a déjà une contamination relativement importante en Cr t (plus de 8 fois la teneur des *tplts Tr*) et du Ni (plus de 5 fois). Par contre le Pb y est très peu présent.

En conclusion, les analyses réalisées dans les lichens permettent de mettre en évidence une contamination métallique certaine des 3 centres d'enfouissement étudiés, le site 3 étant contaminé en tout élément, les sites 1 et 2 n'étant pas ou peu contaminés par le Pb.

La technique des transplantations mise en place dans les sites 1 et 2 permet de constater que cette contamination est visible déjà au bout de quelques mois (4, 5 mois dans le site 2), contamination confirmée dans les analyses effectuées dans les lichens prélevés in situ.

Cependant, si l'on considère les rapports d'accumulation entre les différentes séries d'analyses, on constate que les stations témoins hors site présentent une contamination par comparaison avec les lichens des transplants (*tplts Tr*) pris comme référence. Cela signifie que chaque région où est localisée une décharge, se caractérise déjà par une pollution locale chronique plus ou moins forte due à diverses sources possibles (industries diverses, trafic, et...). La contamination métallique mise en évidence sur les centres d'enfouissement se surajoute à cette pollution de fond.

Enfin, les lichens ne permettent pas de suivre la pollution organique.

Tableau 37- Rapport d'accumulation entre les différentes séries de lichens analysés (transplants lichéniques et lichens in situ)

| Rapport d'accumulation | Cd | Cr tl | Cu | Mn | Ni | Pb | Zn |
|------------------------|-----|-------|-----|-----|-----|------|-----|
| | | | | | | | |
| tplts l/ tplts Tr | 1 | 1,4 | 1,4 | 1,8 | 1,3 | 1,7 | 1,1 |
| tplts S/ tplts Tr | 13 | 3 | 1 | 5,2 | 2,4 | 2,2 | 3,3 |
| | | | | | | | |
| Site 1 | | | | | | | |
| tplts 6m 99/tplts S | 0,9 | 0,7 | 2,1 | 0,6 | 0,8 | 1,2 | 2 |
| tplts 6m 00/ tplts Tr | 1,6 | 3,1 | 2,3 | 1,7 | 2,7 | 0,05 | 5,3 |
| tplts 1 an / tplts S | 0,7 | 1,2 | 1,7 | 0,6 | 0,9 | 0,1 | 1,9 |
| L in situ / Témoin | 2,3 | 1,7 | 1,9 | 1,5 | 1,5 | 3,7 | 1,6 |
| Témoin / tplts. Tr | 0,8 | 3,5 | 1,6 | 2,2 | 2,2 | 0,02 | 1,5 |
| | | | | | | | |
| Site 2 | | | | | | | |
| tplts 6m 00/t plts l | 3,5 | 4,5 | 2,1 | 2,3 | 2,1 | 0,06 | 2,6 |
| tplts 1 an / tplts S | 0,8 | 3,4 | 5 | 1,2 | 2 | 0,1 | 1,5 |
| L in situ / Témoins T | 1,3 | 0,95 | 1,6 | 1,1 | 0,7 | 1,4 | 1,3 |
| Témoins / tplts Tr | 1,8 | 8,7 | 1,5 | 3,2 | 5,7 | 0,05 | 2,3 |
| | | | | | | | |
| Site 3 | | | | | | | |
| L in situ /Témoins | 0,9 | 1,9 | 1,7 | 1,2 | 1,7 | 1,6 | 2,3 |
| Témoins / tplts Tr | 5,3 | 4 | 2 | 1,5 | 3,6 | 5,4 | 2 |
| L6 / Témoins | 1,8 | 4 | 4,4 | 1,6 | 3,5 | 3,8 | 4,3 |

2. Les rats en tant que bioindicateurs

Les figures et tableaux proposés ci-dessous donnent les résultats moyens pour chaque lot d'individus (4 ou 2 rats par cage).

2.1. Etude des constituants du sol

La caractérisation des sols en matière organique totale et en granulométrie effectuée par le laboratoire CESAR a montré une certaine homogénéité dans la structure des sols prélevés au sein des deux sites de décharges.

Tableau 38: Caractéristiques des constituants des sols des deux sites

| SOL | Matière organique (mg/kg) | Sables fins (mg/kg) | Sables grossiers (mg/kg) | Limons Fins (mg/kg) | Limons grossiers (mg/kg) | Argile (mg/kg) | |
|--------|---------------------------|---------------------|--------------------------|---------------------|--------------------------|----------------|-----|
| Site 1 | S1 | 49 | 177 | 485 | 87 | 66 | 185 |
| | S2 | 63 | 235 | 443 | 87 | 76 | 159 |
| | S3 | 46 | 166 | 490 | 111 | 71 | 162 |
| | S5 | 21 | 164 | 495 | 104 | 68 | 168 |
| | S6 | 28 | 126 | 809 | 25 | 12 | 28 |
| Site 2 | SE1 | 82 | 205 | 115 | 182 | 115 | 130 |
| | SE2 | 87 | 227 | 353 | 170 | 105 | 145 |
| | SE3 | 75 | 196 | 351 | 194 | 109 | 149 |
| | SE4 | 73 | 218 | 446 | 135 | 91 | 110 |
| | SE5 | 84 | 184 | 492 | 139 | 84 | 102 |

2.2. Dosages des polluants et paramètres biochimiques

(1) Les polluants organiques

Les résultats présentés ci dessous sont exprimés en concentrations totales des polluants considérés (HAP, PCB). Par exemple, la concentration hépatique en HAP correspond à la somme des concentrations des 11 HAP suivis pris individuellement.

a) Témoins négatifs

Les rats témoins ne contiennent aucun polluant organique suivi dans le cadre de cette étude que ce soit au niveau pulmonaire ou hépatique.

b) Site 1

Le tableau ci-dessous regroupe les résultats obtenus pour le dosage des polluants organiques présents dans les organes des animaux exposés au site 1.

Tableau 39 : Concentrations hépatiques et pulmonaires en polluants organiques (ng/g poids frais) chez les animaux exposés aux sols du site 1

| SOL | HAPf | PCBf | HAPp |
|------------|-------------|-------------|-------------|
| S1 | 21,1 | 43,9 | 38,3 |
| S2 | 35,7 | 3,4 | 8,1 |
| S3 | 12,5 | 3,6 | 124,4 |
| S5 | 12,2 | 8,4 | 9,2 |
| S6 | - | 14,5 | - |

f : foie / p : poumon.

Les HAP

Les concentrations moyennes en HAP pour le sol S6, quel que soit l'organe, n'ont pas été prises en compte en raison de problèmes méthodologiques.

Les concentrations moyennes en HAP s'étendent de 12.2 (S5) à 35.7 ng/g de matière fraîche (S2) dans le foie et les concentrations pulmonaires moyennes en HAP se répartissent entre 8.1 (S2) et 124.4 ng/g de matière fraîche (S3).

Les concentrations hépatiques semblent assez homogènes alors que les animaux exposés au sol S3 présentent une concentration pulmonaire moyenne nettement plus importante (124.4 ng/g de matière fraîche) que tous les autres lots.

L'analyse statistique (Kruskal Wallis ; Mann Whitney $p > 0.05$) des concentrations hépatiques moyennes n'a pas montré de différence significative entre les lots quel que soit le sol d'exposition considéré, hormis avec les témoins. Il n'a donc pas été possible de définir de groupe parmi ces lots.

Par ailleurs, les tests statistiques de Kruskal Wallis et de Mann Whitney à partir des concentrations pulmonaires moyennes en HAP des différents lots du site 1 ont permis de

définir 2 groupes : S2-S5 et S1-S3 significativement différents ($p < 0.05$). Ces deux groupes sont significativement différents des témoins.

Enfin, les concentrations hépatiques et pulmonaires ne reflètent pas nécessairement la quantité en HAP présente dans le sol. Le sol S1 a entraîné une concentration moyenne en HAP quatre à cinq fois plus faible que celle des autres sols prélevés sur le site 1 alors que les concentrations hépatiques des animaux exposés à ce sol n'étaient pas différentes des autres. De plus, les animaux exposés à deux sols dont les concentrations en HAP sont comparables (S3 et S5) ont présenté une disparité significative de leurs concentrations en HAP dans les poumons alors que leurs concentrations hépatiques restaient du même ordre.

Les PCB

En ce qui concerne les PCB, les concentrations hépatiques moyennes vont de 3.4 (S2) à 43.9 ng/g de matière fraîche (S1). Les animaux exposés aux sols du talus (S2) ou de la surface de la couverture provisoire (S3) présentent les concentrations hépatiques les plus faibles.

Par ailleurs, les PCB n'ont pas été dosés dans les poumons du fait de la faible quantité d'échantillon à disposition.

De plus, le test de Kruskal Wallis a permis de mettre en évidence une différence significative ($p < 0.05$) entre les concentrations hépatiques. Dans un premier temps trois groupes ont pu être définis mais, le sol S6 semble être un intermédiaire entre le sol S1 d'une part et les sols S2, S3 et S5 d'autre part. En effet, il n'est pas significativement différent des sols S3 et S5, mais se distingue des sols S1 et S2. Les regroupements ont donc été constitués de la façon suivante : S2-S3-S5-S6 et S1. Les concentrations hépatiques moyennes en PCB de ces deux groupes sont significativement différentes entre elles, d'une part et de celles des témoins exposés à de la litière non contaminée, d'autre part.

Tout comme dans le cas des HAP, ce ne sont pas forcément les animaux exposés à la litière la plus contaminée (S3) qui présentent le plus de PCB dans le foie. En effet, le sol S3 présente un taux de PCB total de 305.6 ng/g de sol pour des concentrations hépatiques des animaux exposés à ce sol de l'ordre de 3.6 ng/g de matière fraîche alors que les animaux exposés au sol S1, ne comportant que 71.0 ng/g de sol, présentent des concentrations hépatiques de l'ordre de 43.9 ng/g de matière fraîche.

c) Site 2

Le tableau ci-dessous regroupe les résultats obtenus pour le dosage des polluants organiques présents dans les organes des animaux exposés au site 2.

Tableau 40: Concentrations hépatiques et pulmonaires en polluants organiques (ng/g poids frais) chez les animaux exposés aux sols du site 2

| SOL | HAPf | PCBf | HAPp |
|-----|------|------|-------|
| SE1 | 9,7 | 0,2 | 13,7 |
| SE2 | 51,2 | 8,3 | 106,6 |
| SE3 | 66,7 | 14,9 | 66,3 |
| SE4 | 6,4 | 5,5 | 57,9 |
| SE5 | 4,0 | 0,2 | 20,5 |

f : foie / p : poumon.

Les HAP

Des concentrations moyennes en HAP de l'ordre de 4.0 ng/g (SE5) à 66.7 ng/g de matière fraîche (SE3) ont été retrouvées dans les foies des animaux exposés aux prélèvements de sol du site 2. Les concentrations les plus élevées correspondent aux sols prélevés dans la zone d'exploitation (SE2 et SE3). Dans les poumons des animaux exposés, les concentrations en HAP se répartissent entre 13.7 (SE1) et 106.6 ng/g de matière fraîche (SE2). Les concentrations les plus fortes correspondent à celles retrouvées chez les rats exposés aux sols de la zone d'exploitation (SE2, SE3).

De plus, les concentrations pulmonaires moyennes en HAP, quel que soit le sol considéré, sont plus importantes que les concentrations hépatiques moyennes à l'exception du sol représentant la zone d'exploitation dans son ensemble (SE3).

De plus, le test de Kruskal Wallis a permis de mettre en évidence une différence significative ($p < 0.05$) des lots quel que soit l'organe considéré.

L'étude statistique des concentrations hépatiques a donc permis de répartir les animaux exposés en deux groupes : SE1-SE4-SE5 et SE2-SE3 significativement différents entre eux, d'une part et des témoins d'autre part (Mann Whitney ; $p < 0.05$).

Quant aux concentrations pulmonaires, le test de Mann Whitney a conduit à la formation de deux groupes significativement différents ($p < 0.05$), distincts de ceux trouvés précédemment pour les foies : SE1-SE5 et SE2-SE3-SE4. Ces derniers sont eux aussi significativement différents des témoins.

Tout comme dans le site 1, la biodisponibilité des HAP entre les différents sols ne semble pas refléter les concentrations du sol considéré puisque les animaux exposés sur les sols de concentrations comparables SE1 (275.2 ng/g de sol) et SE2 (261.2 ng/g de sol) montrent des concentrations hépatiques et pulmonaires statistiquement différentes.

Les PCB

Les concentrations hépatiques moyennes des animaux exposés aux sols du site 2 varient entre 0.2 (SE1, SE5) et 14.9 ng/g de matière fraîche (SE3). Les lots SE2 et SE3 présentent les concentrations hépatiques les plus élevées, mais leurs écarts types sont aussi les plus forts. C'est pourquoi, à l'issue de l'étude statistique, ils ont pu être regroupés avec le lot exposé au sol SE4. Les deux groupes ainsi obtenus : SE1-SE5 et SE2-SE3-SE4 sont significativement différents entre eux. Chaque groupe est significativement différent des témoins.

Les concentrations en PCB, retrouvées dans les foies des animaux exposés ne semblent pas non plus toujours en relation directe avec les concentrations dans les sols correspondants. Effectivement, les rats exposés au sol SE2 dont la concentration en PCB dans le sol, est de 35.0 ng/g de sol présentent des concentrations hépatiques de l'ordre de 8.3 ng/g de matière fraîche alors que dans le cas du sol SE4 (169.8 ng/g de sol), les foies contiennent des teneurs en PCB de 5.5 ng/g de matière fraîche.

Enfin, le dosage des PCB dans les poumons n'a pas été effectué pour les mêmes raisons que dans le cas du site 1.

d) Comparaison des deux sites

Sur le plan pulmonaire, le dosage des HAP montre une prédominance de quatre HAP chez les animaux exposés aux sols des deux sites, et ceci quel que soit le sol considéré. Ces quatre HAP sont le fluoranthène, le benzo(a)anthracène, le benzo(a)pyrène et le dibenzo(a,h)anthracène.

Dans les foies des animaux exposés aux sols du site 1, des HAP comme le phénanthrène, le pyrène et le fluoranthène sont majoritairement retrouvés alors que dans le cas des rats exposés aux sols du site 2 ce sont majoritairement les HAP présents dans les poumons à l'exception du fluoranthène.

L'approche statistique montre une différence entre les témoins et les animaux exposés quels que soient l'organe, le site et le polluant (Kruskal Wallis ; Mann Whitney, $p < 0.05$).

De plus, la distribution des HAP dans les foies n'est pas significativement différente (Mann Whitney, $p > 0.05$) entre les deux sites alors que celle des PCB est significativement distincte (Mann Whitney, $p < 0.05$).

L'étude des données obtenues par l'analyse en HAP pulmonaires ne met pas en évidence de différence significative entre les deux sites (Mann Whitney, $p > 0.05$).

(2) Porphyrines hépatiques

Les résultats obtenus n'ont pas été interprétables car les sols analysés ne contenaient pas de concentration suffisamment significative en PCB pour que ce type de biomarqueur puisse être utilisé correctement. Par ailleurs, s'il y a bien des métaux, la durée d'exposition et leurs concentrations dans le sol n'ont pas permis de montrer une quelconque modification de ces paramètres.

(3) Activités P450 dépendantes

Les groupes définis pour les HAP et pour les PCB serviront donc à l'étude des activités EROD et PROD. Les comparaisons des activités enzymatiques du site 1 ne tiennent pas compte du sol S6 dans le cas des groupes formés avec les concentrations en HAP et ceci quel que soit l'organe considéré.

Les résultats des activités enzymatiques sont récapitulés selon le site (sol) et l'organe testés, dans le Tableau 41.

Tableau 41: Activités alkylrésorufine-O-désalkylases hépatiques et pulmonaires (pmol/min/mg de protéines) des animaux exposés aux sols des deux sites

| SOL | EROD _f | EROD _p | PROD _f | PROD _p |
|---------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| S1 | 47.9 | 1.6 | 7.8 | 32.0 |
| S2 | 28.4 | 6.7 | 7.2 | 17.0 |
| S3 | 40.0 | 2.3 | 9.0 | 22.1 |
| S5 | 32.1 | 5.7 | 8.7 | 25.2 |
| S6 | 45.2 | 3.2 | 10.3 | 21.0 |
| SE1 | 48.4 | 4.3 | 6.2 | 24.2 |
| SE2 | 72.0 | 3.5 | 10.9 | 19.4 |
| SE3 | 82.3 | 16.3 | 8.9 | 34.8 |
| SE4 | 41.9 | 7.0 | 10.6 | 49.0 |
| SE5 | 52.4 | 6.3 | 6.0 | 27.0 |
| Témoins | 26.4 | 0.7 | 0.7 | 11.5 |

f : foie / p : poumon.

a) Témoins négatifs

Chez les témoins, l'activité EROD hépatique moyenne est de 26.4 pmol/min/mg de protéines, alors qu'elle est de 0.7 pmol/min/mg de protéines dans les poumons (CYP1A non constitutif dans les poumons). L'activité PROD hépatique est de 3.4 pmol/min/mg de protéines en moyenne alors qu'au niveau pulmonaire elle est en moyenne de 11.5 pmol/min/mg de protéines. Les groupes, obtenus à partir des études statistiques des concentrations en polluants, sont différents des témoins quels que soient l'organe et l'activité enzymatique considérés.

b) Site 1

Les variations des activités EROD moyennes hépatiques et pulmonaires des animaux exposés se répartissent entre 28.4 (S2) et 47.9 pmol/min/mg de protéines (S1) et entre 1.6 (S1) à 6.7 pmol/min/mg de protéines (S2) respectivement. Dans le foie, l'activité PROD moyenne s'étend de 7.2 (S2) à 10.3 pmol/min/mg de protéines (S6). Sur le plan pulmonaire, les rats exposés aux sols du site 1, présentent une activité PROD moyenne variant de 17.0 (S2) à 32.0 pmol/min/mg de protéines (S1).

L'approche statistique effectuée avec un regroupement identique à celui de l'étude des concentrations en PCB dans les foies ou à celui de l'étude des concentrations pulmonaires en HAP ne permettent pas, quels que soient l'activité enzymatique suivie et l'organe considéré, de mettre en évidence une disparité entre les groupes S1 et S2-S3-S5-S6 (foies) ou S2-S5 et S1-S3 (poumons).

c) Site 2

L'activité EROD hépatique moyenne des animaux exposés s'étend de 41.9 (SE4) à 82.3 pmol/min/mg de protéines (SE3) selon le sol. Dans les poumons, l'activité EROD moyenne varie de 3.5 (SE2) à 16.3 pmol/min/mg de protéines (SE3). L'activité PROD hépatique est répartie entre 6.0 (SE5) et 10.9 pmol/min/mg de protéines (SE2) et dans les poumons de ces animaux, elle varie en moyenne de 19.4 (SE2) à 49.0 pmol/min/mg de protéines (SE4).

Si on considère les regroupements obtenus avec les HAP l'étude statistique a permis de mettre en évidence une différence significative entre les groupes formés (Mann Whitney, $p < 0.05$) par rapport aux témoins. Le groupe SE2-SE3 a une activité EROD hépatique significativement plus importante que le groupe SE1-SE4-SE5. Aucune disparité n'a pu être mise en évidence entre ces deux groupes pour l'activité PROD hépatique.

L'approche statistique, après un regroupement équivalent à celui autorisé pour l'exploitation des concentrations en PCB, a permis de mettre en évidence une disparité entre les groupes

uniquement pour les activités PROD hépatiques (Mann Whitney, $p < 0.05$). Le groupe SE1-SE5 est significativement plus faible que le groupe SE2-SE3-SE4.

Au plan pulmonaire, seul le regroupement autorisé par l'étude des concentrations en HAP a pu être testé. Aucune différence n'a pu être mise en évidence entre ces groupes (SE1-SE5 et SE2-SE3-SE4) quelle que soit l'activité enzymatique suivie (Mann Whitney, $p > 0.05$).

d) Comparaison des deux sites

L'approche statistique montre une différence entre les témoins et les animaux exposés quels que soient l'organe, le site et l'activité enzymatique (Kruskal Wallis ; Mann Whitney, $p < 0.05$).

De plus, la distribution de l'activité PROD dans les foies des animaux exposés au sol des deux sites ne diffère pas (Mann Whitney, $p > 0.05$) alors que celle de l'activité EROD est significativement distincte entre les deux sites (Mann Whitney, $p < 0.05$).

L'étude des données obtenues par l'analyse des poumons met en évidence une différence significative de l'activité EROD (Mann Whitney, $p < 0.05$) entre les deux sites alors que les activités PROD des deux sites ne sont pas significativement distinctes (Mann Whitney, $p > 0.05$).

(4) Les métaux

Les concentrations rénales moyennes des polluants métalliques, récapitulées dans le Tableau 42, ci-dessous, montrent qu'aucun des éléments suivis n'est différent des témoins.

Tableau 42: Concentrations moyennes des polluants métalliques dans les reins des animaux exposés et des témoins (matière sèche)

| SOL | Pb µg/kg | Cd µg/kg | Mn mg/100g | Ni mg/100g | Zn mg/100g | Cu mg/100g | Cr mg/100g |
|---------|-------------|-------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| S1 | 133.0 | 6.63 | < 0.01 | 0.053 | 2.28 | 0.58 | 0.09 |
| S2 | 149.92 | 5.34 | 0.03 | 0.041 | 2.26 | 0.47 | 0.05 |
| S3 | 98.78 | 2.76 | < 0.01 | 0.051 | 1.91 | 0.44 | 0.07 |
| S5 | 104.89 | 4.05 | 0.02 | 0.034 | 2.20 | 0.57 | 0.04 |
| S6 | 76.38 | 8.47 | 0.14 | < 0.01 | 2.22 | 0.45 | < 0.02 |
| SE1 | 112.89 | 5.51 | 0.13 | 0.05 | 2.05 | 0.37 | < 0.02 |
| SE2 | 79.42 | 5.17 | 0.10 | 0.01 | 1.82 | 0.32 | < 0.02 |
| SE3 | 130.41 | 5.64 | 0.12 | 0.01 | 1.94 | 0.51 | < 0.02 |
| SE4 | 153.78 | 3.69 | 0.10 | 0.01 | 2.02 | 0.43 | < 0.02 |
| SE5 | 183.14 | 3.62 | 0.09 | < 0.01 | 2.02 | 0.42 | < 0.02 |
| Témoins | 92.0 | 3.36 | 0.08 | 0.01 | 2.02 | 0.47 | < 0.02 |

2.3. Test de génotoxicité

(1) Les témoins

Quel que soit le prélèvement, aucun des témoins négatifs n'a présenté de lésion, leur pourcentage de noyaux lésés et le moment moyen sont restés nuls pendant toute la durée de l'étude.

(2) Les animaux exposés

De nombreux polluants sont clastogènes, c'est-à-dire qu'ils peuvent provoquer des cassures au niveau de la double hélice d'ADN des cellules. Le test des comètes permet de visualiser ces cassures puisque après migration électrophorétique des noyaux, ces derniers prennent la forme d'une comète plus ou moins allongée selon le nombre et la qualité des cassures ((mono et/ou double-brin).

Les résultats du test des comètes sont disponibles seulement pour les sols S1, S2 et S5 (Figure 82).

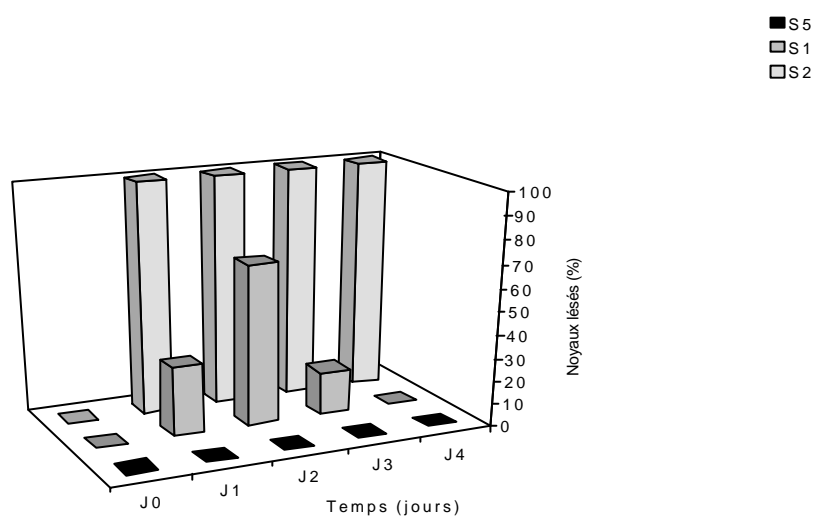


Figure 82 : Etude de l'effet clastogène des polluants des sols

n=300 lymphocytes/jours, 4 j d'exposition, 2 rats par sol

La cinétique d'apparition des comètes dans le sang a été privilégiée par rapport aux pourcentages de noyaux lésés à un jour donné, car elle semblait plus discriminante.

Les rats exposés au sol du talus (S2) ont présenté 100 % de comètes dès 24 h d'exposition et sont restés avec un pourcentage de noyaux lésés équivalent pendant toute la durée de l'exposition. Les animaux maintenus sur le sol S1 (couverture finale) ont présenté des pourcentages de lésion variables en fonction du temps. Ces lésions ont atteint au maximum 69.5 % en moyenne après 48 h d'exposition pour diminuer par la suite. Quant aux rats exposés dans les mêmes conditions au sol S5, aucun effet clastogène n'a pu être mis en évidence.

Au cours de la réalisation du test des comètes, plusieurs types de lésions sont apparus. Pour cette raison, il a paru important d'utiliser au moins qualitativement le calcul du moment des comètes présentant des lésions caractéristiques (Figure 83).

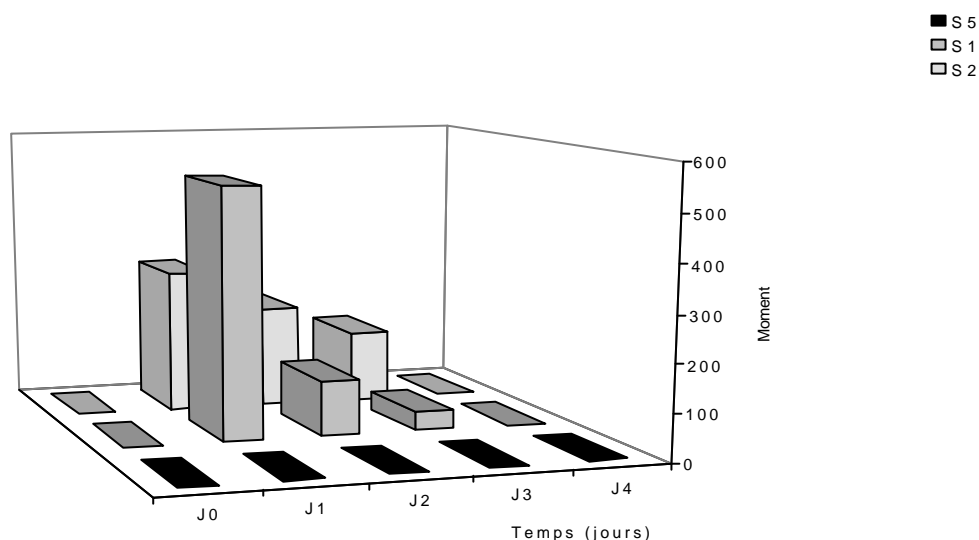


Figure 83 : Evolution de la forme des noyaux

(n= 4 noyaux de lymphocytes les plus fréquemment observés, 4j d'exposition) 2 rats par sol

Bien que les animaux exposés au sol S2 aient présenté 100 % de lésion tout au long de l'étude, la figure 72 reflète le fait que, la forme des comètes paraissait diminuer avec le temps. D'ailleurs, une mesure effectuée à J6 (résultats non montrés), a conforté cette tendance à la diminution de l'effet clastogène puisque, à J6 le pourcentage de noyaux lésés était de 0 %.

En outre, les animaux exposés au sol S1 présentent des cassures bien plus importantes et moins fréquentes dans un premier temps (J1) que les animaux exposés au sol S2 alors que les animaux exposés aux sol S5 ne présentent aucune cassure et ainsi des moments nuls. Pour tenter de répondre à la question concernant l'origine des effets clastogènes observés, deux rats ont été exposés pendant une période de 4 jours au-dessus du sol S2, sans contact direct avec celui-ci. Dans ce mode d'exposition, seuls les polluants volatils peuvent être considérés comme responsables de l'effet s'il y a lieu. Le Tableau 43 résume les résultats pour chacun des animaux exposés.

Tableau 43 : Pourcentages moyens de noyaux lésés de lymphocytes des rats exposés au-dessus du sol S2 (%)

| | J0 | J1 | J2 | J3 | J4 |
|---------|----|-----|----|----|----|
| Rat 1 | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 |
| Rat 2 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 |
| Témoins | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Une plus forte hétérogénéité des effets a pu être mise en évidence. Seul le rat 1 a atteint 100 % de lésions au bout de 24 h.

2.4. Analyses histologiques

Les lésions observées sur les échantillons de poumons et de trachées des animaux exposés (Tableau 44) sont modérées alors que les témoins ne présentent aucune lésion.

Tableau 44: Lésions observées sur les poumons et les trachées des rats exposés sur les sols des deux sites

| | Hypertrophie des cloisons | Macrophages alvéolaires | Oedèmes | Atélectasie | Emphysème | Vasodilatation |
|---------|---------------------------|-------------------------|---------|-------------|-----------|----------------|
| Site 1 | + | + | - | +/- à + | - à +/- | + |
| Site 2 | +/- à + | + | - | +/- | +/- | + |
| Témoins | - | - | - | - | - | - |

Les lésions sont de nature inflammatoire, ou pouvant être considérées comme la conséquence de l'inflammation.

Les lésions de nature inflammatoires modérées ne sont observées que chez les animaux exposés :

Une hypertrophie modérée multifocale des cloisons intra-alvéolaires avec une augmentation discrète de la cellularité et un revêtement qui devient parfois cubique.

Une augmentation focale ou multifocale du nombre de macrophages alvéolaires.

La présence d'un liquide d'œdème peu abondant pour certains prélèvements

Une vasodilatation

L'emphysème et l'atélectasie sont une conséquence de l'inflammation et apparaissent secondairement chez les animaux atteints.

La présence d'hématies dans la lumière alvéolaire et parfois d'hémorragies a également été décrite sur quelques échantillons (témoins et animaux exposés). Ces lésions seraient certainement dues au mode de sacrifice et n'ont donc pas été intégrées dans le tableau récapitulatif.

VI. DISCUSSION

A. Discussion des résultats obtenus au cours des campagnes de métrologie sur le site et dans l'environnement des riverains

1. Mesures des composés chimiques

(1) Hydrocarbures Aromatiques Monocycliques (HAM)

a) Benzène

Au niveau des sources, les concentrations en benzène atteignent jusqu'à quelques mg/m^3 sur le site 1 comme sur le site 2.

Les valeurs mesurées sont nettement plus faibles dans l'ambiance générale des sites (moins de $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à quelques $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en général), avec toutefois quelques "pics" relevés pour certains postes de travail (valeurs 10 à 100 fois supérieures), en particulier ceux situés dans la zone "alvéole en cours d'exploitation".

Les valeurs mesurées dans l'environnement des riverains du site 1 (en amont et en aval) sont du même ordre de grandeur que celles mesurées dans l'ambiance générale du site. Les valeurs mesurées dans l'environnement des riverains du site 2 sont, pour une part, du même niveau que l'ambiance générale du site et, pour une autre part, nettement plus faibles.

On remarquera par ailleurs que les deux mesures effectuées de nuit sur le site 2 (une dans la zone "alvéole en cours d'exploitation" et une au niveau de la "digue aval") conduisent à des concentrations en benzène non détectables. Cela pourrait être lié à l'arrêt des engins qui travaillent sur le site le jour.

Les niveaux de concentration relevés dans l'ambiance du site se situent dans la fourchette des valeurs couramment mesurées dans les zones urbaines. Les teneurs en benzène à l'extérieur du site sont proches des valeurs basses de ces fourchettes.

L'ensemble de ces informations va dans le sens de la présence sur les sites et à l'extérieur d'un "bruit de fond" diurne, lié à la décharge ou à d'autres activités du secteur (autoroute située en amont du site n°1 par exemple), le plus souvent compris entre quelques dixièmes de $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et quelques $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Cette pollution peut être nettement accentuée en certains points

du site (alvéole en cours d'exploitation notamment) et diminue nettement la nuit (ceci sera toutefois à confirmer ultérieurement par d'autres mesures).

b) Toluène

Les profils de concentrations sont du même type que ceux observés pour le benzène, mais les valeurs aux sources, dans l'ambiance des sites et dans l'environnement des riverains sont, en certains points, nettement supérieures (jusqu'à 100 fois plus).

Comme pour le benzène, le facteur de réduction entre les niveaux mesurés aux sources et dans l'environnement des riverains est plus fort pour le site 2 que pour le site 1.

(2) Composés organohalogénés

a) Trichloroéthylène

Sur les deux sites, les valeurs atteignent plusieurs mg/m^3 au niveau des sources. Cette présence au sein du massif des déchets est conforme aux observations relevées dans la littérature (étude Ademe 1996 sur la composition des émissions des différentes filières de traitement/stockage des ordures ménagères, en particulier).

Dans l'ambiance générale des sites et dans l'environnement des riverains, les concentrations varient entre quelques dixièmes de $\mu\text{g/m}^3$ et quelques $\mu\text{g/m}^3$, ce qui correspond à des valeurs faibles par rapport aux valeurs relevées dans la bibliographie relative aux teneurs dans les zones urbaines.

Aucun point spécifique avec présence d'un pic de pollution n'est relevé sur les sites et à l'extérieur.

b) Tétrachloroéthylène

Les valeurs mesurées atteignent également plusieurs mg/m^3 au niveau des sources et sont aussi conformes aux observations relevées dans la littérature.

Dans l'ambiance et à l'extérieur du site 1, on reste en deçà du $\mu\text{g/m}^3$.

Dans l'ambiance et à l'extérieur du site 2, on reste en deçà du $\mu\text{g/m}^3$ à deux exceptions près :

- alvéole en cours d'exploitation (10 à 180 $\mu\text{g/m}^3$, en fonction du lieu exact et du moment du prélèvement),
- point de prélèvement situé à 1000 m en aval du site, lors de la campagne en environnement des riverains n°1 (6 $\mu\text{g/m}^3$).

Ces dernières valeurs confirment l'intérêt du tétrachloroéthylène en tant que "traceur" pour le site 2.

Elles restent toutefois inférieures aux données de référence disponibles pour les zones urbaines, ainsi qu'inférieures à valeur guide de l'OMS (de peu cependant pour 2 des mesures effectuées dans l'ambiance de l'alvéole en cours d'exploitation).

(3) Aldéhydes et cétones

a) Le Formaldéhyde

Au niveau des sources, les teneurs varient entre quelques dizaines de $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Dans l'ambiance des sites, elles oscillent entre quelques $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Les niveaux dans l'environnement des riverains se situent dans la même gamme que dans l'ambiance pour le site 1 (amont et aval), mais restent au niveau de quelques $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le site 2, avec en outre une valeur plus faible pour le point amont.

b) L'Acétone

Pour le site 1, les concentrations relevées aux sources (quelques mg/m^3) chutent nettement au niveau de l'air ambiant de certains postes de travail, mais restent très fortes pour d'autres (même ordre de grandeur qu'à la source pour les postes "alvéole en cours d'exploitation").

Pour le site 2, on observe plus classiquement une forte chute des concentrations (facteur 100) entre les sources et les ambiances. Par ailleurs, une des mesures effectuée de nuit conduit à une concentration non détectable.

Dans l'environnement des riverains, les niveaux sont proches pour les deux sites (de l'ordre de 5 à $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$), ceci en amont comme en aval. Ils se situent dans la gamme des concentrations relevées dans la littérature relative aux zones urbaines.

1.2. Les particules

(1) Poussières totales

A l'exception de la torchère, elles n'ont pas été mesurées aux sources d'émission pour les raisons évoquées dans le chapitre "Matériels et méthodes".

Les poussières totales sont également plus présentes au niveau des torchères du site n°2 qu'au niveau des torchères du site n°1, ce qui pourrait s'expliquer par la richesse en particules de l'air comburant qui les alimente.

Les valeurs observées au niveau de l'ambiance des deux sites sont fortes par rapport aux teneurs que l'on observe généralement en zone urbaine, ainsi que par rapport à la valeur guide de l'OMS ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Pour le site 1, elles sont du niveau de ce que l'on observe dans l'air ambiant des villes les plus polluées de l'Europe de l'Est. Pour le site 2, elles sont supérieures à ces niveaux.

(2) Poussières < 5µm

Les poussières fines correspondent à la fraction la plus intéressante en vue d'une évaluation de l'exposition par inhalation stricte. Différents seuils de coupure sont communément pratiqués (< 2,5µm , < 5µm, < 10 µm).

Les valeurs des poussières alvéolaires (< 5µm) mesurées dans les ambiances dans le cadre de ce programme (voir détail des résultats en annexe) varient entre :

- 3 et 290 µg/m³ sur le site 1,
- 10 et 340 µg/m³ sur le site 2,

Dans l'environnement des riverains, elles varient entre :

- 40 et 80 µg/m³ pour le site 1,
- 15 et 130 µg/m³ pour le site 2.

Les valeurs basses de ces fourchettes correspondent à des niveaux voisins de ceux relevés dans la littérature relative aux zones urbaines (16 à 40 µg/m³).

Les valeurs hautes sont en revanche nettement supérieures à ceux-ci. Dans l'ambiance des sites, elles dépassent, en outre, largement les valeurs guide de l'OMS (<70 µg/m³ pour les particules <10µm sur l'année; 120 µg/m³ sur 24 h).

Par ailleurs, les mesures ponctuelles effectuées en série (une mesure toutes les minutes pour un point donné) montrent que ces teneurs fluctuent énormément au cours du temps (voir annexe B-3). Des pics à 2000µg/m³ ont, par exemple, été relevés dans l'ambiance et l'environnement des riverains du site n°1. Ce type de pic est également observé pour le prélèvement effectué au bord de l'autoroute située à proximité du site n°1.

Il est à ce niveau nécessaire de préciser que la composition de ces poussières n'est, exception faite de la part liée à la pollution autoroutière, probablement pas la même que celle des poussières urbaines et donc que les risques associés diffèrent probablement largement. Les relations "doses/effets" qui existent pour les poussières fines urbaines ne pourront donc pas être utilisées ultérieurement pour caractériser les risques associés à ces sites sans une analyse chimique préalable des différentes fractions granulométriques.

1.3. Métaux particuliers

Dans les sources (biogaz), les métaux particuliers sont à des niveaux inférieurs que ceux observés par Feldmann (Feldmann, 1995). Comme lui, certains composés, comme le cadmium, sont à la limite des seuils de détection.

a) Manganèse

Les valeurs mesurées sont très différentes sur les deux sites :

sur le site 1, les concentrations dans l'ambiance et l'environnement des riverains se situent le plus souvent entre un dixième de $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et un $\mu\text{g}/\text{m}^3$,

sur le site 2, les concentrations dans les mêmes milieux sont généralement nettement plus fortes et peuvent atteindre plusieurs centaines de $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de manganèse. Ceci place les milieux concernés à des niveaux largement supérieurs aux valeurs de la bibliographie relatives aux zones urbaines (moins de $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dans tous les cas répertoriés) et à la valeur guide de l'OMS ($0,15 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Nous attribuons cette différence entre les deux sites, pour partie au moins, aux envols massifs de poussières constatés à partir du dépôt de cendres volantes (de centrales thermiques au charbon) situé à proximité du site 2.

b) Autres métaux analysés (As, Cr, Cd, Ni et Pb)

La différence nette observée entre les deux sites pour le manganèse n'est pas retrouvée pour les autres métaux étudiés.

A noter que les valeurs les plus fortes sont aussi bien relevées au niveau des ambiances que dans l'environnement des riverains.

A noter également que les points "amont" ne sont pas toujours indemnes de pollution métallique particulière, ce qui pourrait être dû à l'autoroute pour le site 1.

D'une manière générale, les concentrations atteintes dans l'ambiance et l'environnement des riverains des 2 sites sont :

- non détectables pour l'arsenic (une exception à $0,005 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur un point d'ambiance du site 2).
- comprises entre quelques ng/m^3 et $0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le plomb;
- non détectables à quelques $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le cadmium.
- comprises entre quelques ng/m^3 et $0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le nickel (une exception à $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur un point d'ambiance du site 1),
- comprises entre quelques ng/m^3 et $0,61 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le chrome (une exception à $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur un point d'ambiance du site 1).

- Le cas du chrome doit être traité à part. En effet, les données de référence disponibles concernent uniquement le chrome hexavalent (qui est par ailleurs le plus important en terme de toxicologie) et il n'a pas été possible dans le cadre de cette étude d'étudier la spéciation des métaux particuliers prélevés. Toutefois, si l'on suppose que quelques % seulement du chrome sont sous forme hexavalente (dans les poussières des sites, et dans les cendres de centrales thermiques au charbon pour le site 2), alors les teneurs en chrome hexavalent dans l'air ambiant des sites peuvent atteindre quelques ng/m^3 , ce qui se situe dans les valeurs habituellement rencontrées dans les ambiances urbaines ($0,005$ à $0,2 \mu\text{g/m}^3$).

1.4. HAP particuliers

a) Fluoranthène particulaire

Site 1 : les valeurs mesurées fluctuent entre $1 \mu\text{g/m}^3$ et $10 \mu\text{g/m}^3$, dans l'ambiance du site comme dans l'environnement des riverains (y compris le point amont). Ceci les place dans la fourchette des valeurs de référence "zones urbaines",

Site 2 : les valeurs mesurées sont voisines ou plus fortes que les valeurs du site 1 dans les ambiances. En revanche, elles chutent souvent nettement dans l'environnement des riverains, et le fluoranthène n'est pas détectable au niveau du point amont.

On assiste donc là aussi à la présence d'un "bruit de fond" sur le site 1, contrairement au site 2 où la baisse de la concentration en fluoranthène à l'extérieur du site est nette.

Le bruit de fond relevé sur le site 1 pourrait être du à l'autoroute située à proximité et en amont du site au moment des mesures.

b) Autres HAP particuliers

Les observations faites pour le fluoranthène sont valables pour l'ensemble des HAP particuliers, ce qui conforte les hypothèses effectuées précédemment.

1.5. Synthèse des observations pour les composés chimiques

Suite à l'ensemble des observations, les composés suivis peuvent être classés en trois catégories :

- catégorie 1 : composés présents à un niveau voisin du "bruit de fond local" sur le site et dans l'environnement des riverains amont et aval :

→ trichloroéthylène, tétrachloroéthylène, formaldéhyde, manganèse particulaire et fluoranthène particulaire pour le site 1.

- catégorie 2 : composés nettement plus présents dans l'ambiance du site que dans l'environnement des riverains amont et aval :

→ benzène, acétone pour le site 1,

→ benzène, trichloroéthylène, tétrachloroéthylène, formaldéhyde, poussières totales, acétone, manganèse particulaire et fluoranthène particulaire pour le site 2.

- catégorie 3 : composés présents à des niveaux voisins en amont et dans l'ambiance du site, et moins présents dans l'environnement des riverains en aval éloigné du site (présence d'une pollution amont diluée en aval du site) :

→ poussières totales pour le site 1

NB : la catégorie 2 correspond à des polluants émis par les déchets ménagers enfouis, ainsi qu'à des pollutions interférentes éventuelles situées dans l'emprise du site (circulation d'engins, dépôt de cendres, ...).

Cette typologie sera utile au moment de la discussion finale du programme et servira de base pour la sélection des polluants caractéristiques à retenir in fine pour le suivi des sites 1 et 2. Elle montre, en particulier, que la sélection des polluants caractéristiques à suivre ne peut pas être universelle et doit être adaptée au site, après mise en œuvre d'une étude préalable.

2. Mesure des microorganismes.

2.1. A l'émission

Il s'avère que les **alvéoles** en cours d'exploitation sont une source importante d'émissions de bactéries (10^3 à 10^4 CFU/m³), mais avec une présence prédominante de bactéries Gram positif, avec des bactéries caractéristiques d'un environnement extérieur (*Bacillus sp.*, Corynébactéries, Microcoques, Staphylocoques coagulase négatif). Les champignons filamenteux sont aussi retrouvés à des concentrations importantes avec une large majorité d'*Aspergillus fumigatus*, et une quasi exclusivité au niveau des déchets plus âgés (déchets âgés de 10 jours du site 1). La prédominance des espèces d'*Aspergillus* et l'importance des proportions d'*Aspergillus fumigatus* témoignent de l'influence de l'activité exercée sur le site. Par ailleurs, pour tous ces microorganismes, les concentrations semblent augmenter avec la taille de la décharge (les taux obtenus sur le site 2 sont très supérieurs à ceux du site 1) et avec l'âge des déchets (sur le site 1 les niveaux atteints sont plus élevés pour les déchets datant de 10 jours que pour les déchets déposés le jour des prélèvements).

La phase d'évaluation des sources a aussi permis de mettre en évidence que les **lixiviats** étaient une source importante d'émissions de bactéries avec près de 10% de bactéries Gram négatif. Sur le site 1, l'arrêt du pompage des lixiviats entraîne un relargage massif de champignons mais surtout de bactéries. Ce phénomène illustre l'influence des activités exercées sur les concentrations de microorganismes retrouvées dans l'air ambiant.

Sur le site 2, la **lagune** de la station d'épuration est une source importante de bacilles Gram négatif si les prélèvements sont réalisés au moment du brassage des lixiviats. ($8,4 \cdot 10^3$ CFU/m³ lors de la première campagne et $1,5 \cdot 10^3$ CFU/m³ lors de la deuxième campagne). Laitinen [Laitinen et al., 1994] met en évidence des concentrations comparables au niveau d'une station d'épuration ($2,5 \cdot 10^2$ à $2,5 \cdot 10^3$ CFU/m³). Il souligne également dans cette étude la variation de concentrations bactériennes - et d'endotoxines - selon le moment du prélèvement. Le brassage des effluents augmente ces concentrations. Il note, lui aussi, une présence importante de bactéries Gram négatif (2 à $6,3 \cdot 10^4$ CFU/m³).

Le **biogaz** émet à la fois des bactéries Gram positif ($>2 \cdot 10^4$ CFU/m³) mais également des Gram négatif ($9 \cdot 10^3$ CFU/m³) et des *Aspergillus fumigatus* en nombre considérable.

Il n'existe pas actuellement de données bibliographiques sur les concentrations atmosphériques à proximité des sources d'émissions que représentent ces deux effluents issus des déchets que sont les lixiviats et le biogaz.

2.2. Dans l'environnement des riverains

Les résultats sur les 2 sites montrent qu'un retentissement sur l'environnement des riverains est mesurable, sous forme de pics de concentration sur le site 1 où la direction du vent était changeante, et sous forme de concentrations modérées mais d'espèces caractéristiques de l'alvéole pour le site 2 où la direction du vent était plus stable.

Cette première étape ayant montré qu'un retentissement sur les concentrations microbiologiques dans l'environnement des riverains d'un CET est mesurable, une approche plus approfondie basée sur des mesures répétées en un même point exposé constitue la prochaine étape à mettre en œuvre.

Cette étape serait destinée à quantifier la fréquence, l'importance et la nature de ces pics, et en identifier l'origine par rapport aux différentes activités sur le site (déchargement de tel ou tel type de déchets).

2.3. Synthèse de la métrologie sur les deux sites : similitudes et différences ; comparaison bibliographique

(1) Similitudes entre les deux sites :

a) Composés chimiques

Benzène et autres composés organiques monocycliques : les niveaux observés sont assez similaires, et de l'ordre des niveaux observés en milieu urbain. Les mesures en extérieur et de nuit semble montrer l'existence d'un bruit de fond plutôt lié à une pollution par les échappements de véhicules (tant au niveau du trafic de camions et d'engins, que par la pollution liée aux voies routières proches). Ces niveaux sont plus de 100 fois moins importants que ceux mesurés dans un parking souterrain [SFSP, 1996].

Formaldéhyde : Il n'y a pas de différence entre les deux sites concernant le formaldéhyde en particulier (et les aldéhydes en général). Les niveaux observés sont ceux des sites urbains en général et bien inférieurs (40 fois moins aux niveaux mesurés dans des parkings souterrains [SFSP, 1996]).

Alcools : Le méthanol est présent de manière significative au niveau de l'alvéole sur les deux sites, les niveaux mesurés dans l'air respiré par les salariés sont cependant très inférieurs aux VME.

HAP particulières : les niveaux observés sont dans l'ensemble similaires aux niveaux observés en milieu urbain. La différence entre les deux sites est la présence d'un niveau en fluoranthène un peu supérieur au niveau urbain sur l'alvéole au poste de vérificateur du site 2, alors que les niveaux mesurés dans l'environnement en aval du site 2 sont faibles.

Métaux particulières autres que manganèse : il n'existe pas de différences des niveaux mesurés en métaux autres que le manganèse entre les deux sites. Les teneurs en chrome dans l'air ambiant des deux sites se situent dans les valeurs hautes de ce qui est habituellement rencontré dans les ambiances urbaines (0,005-0,2 µg/m³).

Poussières : les niveaux observés sur les sites sont plutôt supérieurs à ceux observés en milieu urbain en particulier sur le site 2. Les mesures faites en dynamique montrent l'existence sur les deux sites et dans leur environnement de pics de poussières, qui peuvent

être très ponctuels mais qui atteignent alors des niveaux extrêmement élevés (jusqu' à 4000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les poussières totales et à 2000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les poussières alvéolaires < 5 μ pour quelques points de mesure).

b) Microorganismes

Les niveaux en micro-organismes sont très variables sur les deux sites avec des pics très élevés (en ce qui concerne les bactéries, de 100 à 1000 fois ce que l'on peut mesurer habituellement en milieu environnemental classique). En ce qui concerne les champignons, les niveaux sont plus élevés sur le site 2, avec sur les deux sites, des espèces prédominantes, toujours différentes de ce que l'on observe habituellement. Il existe un retentissement sur l'environnement des sites, notamment en ce qui concerne la composition de la flore. Cependant, les niveaux observés sont relativement peu importants, par rapport aux niveaux observés sur les alvéoles.

Endotoxines : les concentrations en endotoxines sont basses sur les deux sites.

(2) Différences entre les deux sites :

a) Composés chimiques

Acétone : il s'agit d'un composé beaucoup plus retrouvé (facteur 10 à 100) dans le site 1 par rapport au site 2. Les valeurs observés à certains postes de travail sur le site 1 sont largement supérieures aux valeurs observées en milieu urbain, alors que celles du site 2 sont autour des niveaux urbains les plus élevés. Le seuil olfactif minimum de l'acétone est dépassé pour les postes de travail du site 1 (Tolvanen, 1999).

Trichloréthylène et tétrachloréthylène :

Les niveaux observés tant pour le trichloréthylène que pour le tétrachloréthylène sont moins élevés que ce qui est mesuré en général en milieu urbain. Cependant, ils sont présents de façon plus systématique sur le site 2, à l'inverse du site 1 où ils ne représentent qu'un bruit de fond très faible.

Manganèse particulaire : autant le niveau de manganèse particulaire est assez faible sur le site 1 (cependant, il est mesuré en certains points au niveau de la valeur guide de l'OMS), autant il est important sur le site 2 où il peut être jusqu'à 1000 fois la valeur guide de l'OMS, en particulier au niveau de l'alvéole et de l'environnement en aval du site 2.

b) Microorganismes

La principale différence de flore observée sur les deux sites, se situe au niveau des lieux de traitement ou de pompage des lixiviats. Sur le site 1, où il existe un bassin de rétention des lixiviats, qui fait l'objet de pompages réguliers, la flore est polymorphe, similaire à ce qui est observé habituellement ; alors que sur le site 2, où il existe une station de traitement des lixiviats, la flore bactérienne est plus riche en bactéries gram (-).

(3) Comparaison bibliographique

Les études qui ont été menées sur des décharges d'ordures ménagères dans d'autres pays concernent surtout les émissions de COV. Le tableau suivant présente une brève synthèse des résultats obtenus pour certains composés. Loizidou *et al.* dont les travaux concernent la grande décharge d'Athènes a obtenu pour le trichloréthylène et le tétrachloréthylène des mesures de l'ordre du g/m^3 comme sur les sites étudiés en France. Au regard des autres études, en particulier celle de Allen *et al.* qui regroupe les résultats des émissions de gaz sur 7 décharges en Grande-Bretagne, les niveaux observés en France sont 100 fois moins importants.

Tableau 45 : Synthèse bibliographique de quelques résultats obtenus dans d'autres études (ambiances des sites)

| Etudes Composés chimiques (en mg/m ³) | RSD, 2000 France 2 décharges OM + DIB (ambiances sites) | | Allen, 1997 Grande Bretagne 7 décharges OM + DIB Avec collecte de biogaz sauf 1 | Loizidou, 1992 Grèce Athènes : 3500 tonnes de déchets / jour OM + DIB | LaRegina ²⁷ , 1986 Grèce, OM + DIB | Rettenberger ²⁷ , 1988, Mixte | Assmuth, 1992 Finlande 3 anciennes décharges + 1 en activité OM + DIB Sans collecte biogaz | Autres Etudes citées par Assmuth, 1992 ²⁸ (UK/G/USA) |
|--|---|---|---|--|---|--|---|--|
| | SITE 1 | SITE 2 | | | | | | |
| Comp. aromatiques | 5.10 ⁻³ -743.10 ⁻³ | <2.10 ⁻³ -1,24 | 94 – 1906 | | | | | |
| Comp. Halogénés | 2,3.10 ⁻³ -9,5.10 ⁻³ | 0,22.10 ⁻³ - 0,376 | 327 - 1239 | | | | | |
| Benzène | 1,41.10 ⁻³ -45.10 ⁻³ | 0,142.10 ⁻³ - 13.10 ⁻³ | <0,1 – 7 | | | | 0,17 - 9 | 0,4 – 180 |
| Toluène | 3.10 ⁻³ -11,8.10 ⁻³ | 2,35.10 ⁻³ - 0,289 | 10 – 287 | | | | 0,23 – 137 | 8 – 460 |
| Trichloéthylène | 0,053.10 ⁻³ - 1,2.10 ⁻³ | 0,08.10 ⁻³ - 0,234 | < 0,1 – 152 | 2,3.10 ⁻³ – 23, 3.10 ⁻³ | 6,6.10 ⁻³ | 0,1 – 46 | <0,1 – 5,3 | <0,1 – 170 |
| Tétrachloréthylène | 0,036.10 ⁻³ - 0,86.10 ⁻³ | 0,035.10 ⁻³ - 0,185 | < 0,1 - 255 | 3,2.10 ⁻³ – 55. 10 ⁻³ | 44,3.10 ⁻³ | 0,02 - 4 | 1,3 - 47 | <0,1 - 350 |

²⁷ Etudes citées par Loizidou, 1992 : LaRegina, 1986 ; Rettenberger, 1988

²⁸ Etudes citées par Assmuth, 1992 : Brookes & Young, 1983; Young & Parker, 1983; Young & Blakey, 1991 – UK / Bruckmann & Mülder, 1982; Janson, 1988; Rettenberger & Stegmann, 1991 – G / Wood & Porter, 1987 – USA.

B. Discussion des résultats obtenus au cours de l'étude chez les salariés

1. Métrologie des composés chimiques

Les concentrations mesurées dans l'ambiance du site aux postes de travail ont déjà été commentées de manière globale précédemment. Elles sont reprises ici, poste par poste, pour une interprétation plus spécifique de la problématique "travailleurs".

Les composés organiques volatils (COV)

Sur les deux sites, des concentrations de COV sur l'alvéole sont jusqu'à treize fois plus élevées qu'aux autres points. Cependant, lors des mesures d'ambiance réalisées de nuit sur l'alvéole, lorsque les engins sont à l'arrêt, les niveaux chutent de façon importante et sont divisés par trois par rapport aux prélèvements effectués auprès de l'agent vérificateur, ce qui témoigne de la part importante occupée par l'activité des engins.

L'estimation de l'exposition globale des salariés aux COV, met en évidence un risque modéré, avec une exposition de l'ordre de 5% de la VME pour les agents les plus exposés (les conducteurs d'engins), alors que pour les autres agents la VME est inférieure à 1%. Cette estimation est réalisée à partir d'un indice global d'exposition, sommant pour chacun des composés organiques analysés, le rapport C/VME (C = concentration retrouvée). Cet indice global d'exposition présente une signification toxicologique lorsque les produits considérés exercent le même type d'effet sur le même organe, ce qui est le cas pour l'effet des solvants sur le système nerveux central.

1.1. Les hydrocarbures aromatiques monocycliques (HAM°)

Le benzène

Les niveaux d'exposition des salariés sont toujours inférieurs à 0,5% de la VME. Bien que le risque hématologique ne soit pas nul (du fait de l'absence de seuil), le risque est faible compte tenu des taux mis en évidence.

La concentration maximale retrouvée (0,121 mg/m³) est similaire à ce qui peut être retrouvé en zone urbaine.

Les autres HAM

Le toluène, les xylènes, l'éthylbenzène et le triméthylbenzène sont à des taux bas et également proches de ce qui peut être mesuré en zone urbaine.

1.2. Composés organohalogénés

Alors que plusieurs études [Wood et al., 1987] [Goldberg *et al*, 1995a] relatent la présence de chlorure de vinyle parmi les composés traces, ce composé cancérogène n'a pas été retrouvé dans nos prélèvements.

Les concentrations maximales de tétrachloroéthylène et de trichloroéthylène observés pour les salariés sont inférieures à 0,3% de la VME. Elles sont du même ordre que les taux environnementaux.

1.3. Les aldéhydes et alcools

Les Aldéhydes

Parmi les quatre aldéhydes retrouvés, le formaldéhyde, l'acétaldéhyde et l'acroléine sont à des taux comparables à ce qui peut être mis en évidence au niveau environnemental.

En ce qui concerne le formaldéhyde, sur le site 1, les valeurs retrouvées auprès des salariés sont basses. L'exposition est jusqu'à cinq fois plus importantes sur le site 2 que sur le site 1.

Les plus fortes teneurs sont mesurées au niveau des conducteurs d'engins de l'alvéole et de l'agent vérificateur, ce qui pourrait s'expliquer par l'intensité du trafic sur l'alvéole du site 2.

Dans tous les cas, les valeurs mesurées au niveau des salariés sont inférieures aux teneurs habituellement rencontrées dans les zones urbaines, ainsi qu'inférieures à la valeur guide préconisée par l'OMS pour les ambiances extérieures ($<100\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Les Alcools

Sur les deux sites, les alcools sont la famille de COV majoritairement retrouvés.

En 1983, Young et Parker [Young *et al*, 1983] avaient, eux aussi retrouvés, sur les trois sites d'ordures ménagères étudiés, que la principale classe de composés traces étaient les alcools. Les concentrations variaient au cours du temps (en fonction de la dégradation, par fermentation, des déchets putrescibles), mais après six mois, ils restaient encore la classe prédominante.

Parmi les alcools que nous avons mis en évidence au niveau des salariés, seul l'éthanol et le méthanol sont présents.

Le méthanol est retrouvé sur les prélèvements réalisés auprès de l'agent polyvalent du site 2, des conducteurs d'engins et BTP, sur les prélèvements réalisés de jour comme de nuit sur l'alvéole. Le taux le plus important, relevé auprès des conducteurs d'engins de l'alvéole, est de l'ordre de 4% de la VME ($260\text{ mg}/\text{m}^3$). Dans leur étude, Young et Parker relevaient des concentrations de méthanol atteignant $310\text{ mg}/\text{m}^3$, sur des prélèvements directement effectués à la surface des déchets entreposés.

Le méthanol semble être un toxique caractéristique de l'exposition des agents qui sont directement au contact des déchets. En effet, contrairement aux autres toxiques, il n'est retrouvé que sur les prélèvements des agents qui sont amenés à travailler sur l'alvéole.

1.4. Les particules

Les poussières totales

On observe, pour les particules totales, deux zones de pollution représentées par la réception et l'alvéole de jour.

- La réception est le lieu de passage obligatoire de tous les camions bennes, leurs allers et venus génèrent de la poussière.
- Pour l'alvéole, les concentrations aux postes de travail que nous avons mises en évidence sont comparables à celles retrouvées par Rakhonen [Rakhonen *et al*, 1987; 1992], sauf pour le vérificateur qui avec une exposition qui atteint 53% de la VME, est l'agent le plus exposé. Il est à la fois soumis à la circulation des camions qui viennent déposer les ordures, aux engins en mouvement sur l'alvéole, il est enfin directement exposé au vent qui soulève des poussières ou qui rabat les déchets en cours de déchargement. Le niveau observé pour le vérificateur se situe dans les valeurs observés par Van Tongeren (Van Tongeren, 1997) sur les quais de transfert de déchets; il est par contre environ 5 fois moins importants que ce qu'il avait observé aux postes de travail de tri de déchets ou d'usines de compostage.
- Cette exposition concerne essentiellement les grosses particules (supérieures à 15 μm). Or ces grosses particules ne cheminent pas jusqu'aux alvéoles pulmonaires, mais sont arrêtées au niveau des voies aériennes supérieures, où elles peuvent engendrer comme au niveau des muqueuses oculaires ou ORL des phénomènes irritatifs.

Nous constatons par ailleurs, une exposition moindre pour les conducteurs d'engins qui circulent sur l'alvéole, que pour les agents BTP qui effectuent des travaux de terrassement susceptibles de générer d'importants aérosols.

Les concentrations au niveau des voies respiratoires des salariés sont toujours à 6% de la VME. Elles sont de deux à trois fois plus élevées sur les prélèvements individuels que sur les prélèvements d'ambiance du fait de la plus grande proximité des sources (particules en suspension issues des déchets et des émissions diesel).

Les poussières < 5µm

La fraction alvéolaire est représentée par des particules de diamètre aérodynamique inférieur à 5 µm, qui sont susceptibles de pénétrer jusqu'aux alvéoles pulmonaires. Avec l'action synergique d'autres polluants (acides, oxydants, aldéhydes...), ces particules fines peuvent entraîner des pathologies respiratoires chez des personnes prédisposées (bronchiteux chroniques, asthmatiques, insuffisants cardiaques....) [Chiron *et al*, 1997] ou bien des troubles systémiques dus à l'absorption des substances adsorbées sur elles (métaux, HAP...). Le risque toxique secondaire est fonction des substances qui composent ces poussières.

Dans l'ambiance des sites, les niveaux dépassent, en outre, largement les valeurs guide (130 µg/m³, Directive européenne 80/779/CEE du 15 juillet 1980). De nuit, les concentrations sont inférieures à 0,057 mg/m³.

Les différences de concentration observées sur l'alvéole de jour - en ambiance ou auprès des agents - par rapport à l'alvéole de nuit, peut s'expliquer par l'absence d'émissions des particules diesel la nuit, où il n'existe aucun trafic ainsi que par l'absence de remise en suspension de particules dans l'air lors de la circulation des engins.

1.5. Les métaux particuliers

Le manganèse

Les concentrations mesurées pour les salariés sont toutes inférieures à 1% de la VME.

Sur le site 1, les valeurs de manganèse atteignent près de cinq fois les valeurs admises en zone urbaine pour les conducteurs d'engins de l'alvéole.

Ces valeurs atteignent, pour le site 2, respectivement vingt, trente et soixante fois les valeurs environnementales en zone urbaine, pour le vérificateur, l'agent polyvalent et les conducteurs d'engins et enfin pour les conducteurs BTP.

Le plomb.

Dans notre étude, le taux de plomb le plus élevé pour les salariés, inférieur à 1 % de la VME, est retrouvé auprès de l'agent polyvalent du site 1. Cet agent, comme pour le site 2, est amené à accomplir des tâches très diverses sur tout le CET (conduite d'engins, bricolage de toutes natures). Le jour où les prélèvements ont été réalisés, l'agent du site 1 a consacré une grande partie de son temps de travail à repeindre différents éléments d'une clôture. Nous n'avons pas exploré la composition de la peinture utilisée mais il est possible qu'elle ait contenu du plomb.

Pour les niveaux d'exposition constatés, ni les atteintes aiguës qui peuvent être décrites en milieu professionnel, ni les pathologies chroniques que l'on retrouve pour des niveaux d'exposition élevés ne sont à craindre. L'exposition de tous les agents étant faible, les deux sites ne relèvent pas de la législation à laquelle sont soumises les entreprises lorsque les concentrations atmosphériques en plomb sont supérieures à $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Les conducteurs BTP ont une concentration significativement plus élevée en plomb que les conducteurs d'engins du même site. Nous pouvons donc penser que le plomb, prélevé en phase particulaire, a pour origine non seulement les émissions des véhicules, mais également les poussières remises en suspension dans l'air lors des travaux de terrassement.

Les concentrations de plomb sont comparables à celles retrouvées par Rakhonen [Rakhonen et al., 1987; 1992].

Pour tous les postes que nous avons étudiés, les valeurs sont comparables aux valeurs recommandées en zone urbaine par l'OMS (soit $0,5$ à $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Le nickel.

Le nickel n'a pas été retrouvé aux postes de travail sur le site 1.

Sur le site 2, les concentrations sont inférieures à $0,1\%$ de la VME.

Chez les conducteurs BTP, les valeurs de nickel retrouvées sont de une fois et demie jusqu'à deux fois et demie plus élevées que pour les zones urbaines.

Chez ces mêmes agents, le taux est significativement plus élevé que chez les conducteurs d'engins de l'alvéole du site 2.

Le chrome

L'exposition des salariés est faible, le niveau d'exposition le plus important est retrouvé chez les conducteurs BTP et il avoisine 1% de la VME. Malgré tout, l'exposition des agents BTP est plus significative que les conducteurs d'engins de l'alvéole.

Pour le site 1, les concentrations mesurées aux postes de travail sont soit inférieures, soit comparables aux valeurs admises en milieu urbain.

Au niveau du site 2, en dehors de l'alvéole de nuit où le chrome n'est pas détecté, les concentrations aux postes de travail sont de deux à huit fois supérieures à celles retrouvées en milieu urbain ($0,005$ à $0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Le cadmium

Les valeurs de cadmium retrouvées sur les deux sites sont faibles : elles sont toutes retrouvées inférieures à la valeur communément retrouvée en milieu urbain (0,06 µg/m³).

L'exposition des salariés est donc faible, le niveau d'exposition le plus important est retrouvé chez les conducteurs BTP et il représente 1‰ de la VME.

Malgré tout, l'exposition des agents BTP est encore une fois plus significative que les conducteurs d'engins de l'alvéole. Rappelons à ce sujet, que le cadmium est un métal hautement accumulatif dans le rein. Rakhonen [Rakhonen *et al*, 1987] dans son étude retrouve cependant des taux de cadmium quatre fois moins élevés que dans notre étude.

1.6. les HAP particuliers

Les prélèvements que nous avons réalisés sont réalisés sur filtre et seuls les HAP de la phase particulaire (composés de cinq à sept cycles carbonés) sont prélevés, les HAP gazeux n'étant pas retenus. Les résultats aux postes de travail portent donc sur neuf HAP facilement détectables en HPLC couplée avec la fluorescence. En dessous de l'antracène, les HAP sont pour une part sous forme gazeuse et ne peuvent être quantifiés par nos méthodes analytiques. Sur les neuf HAP mesurés, trois sont cancérigènes probables pour l'homme, le Benzo(a)Anthracène, le Benzo(a)Pyrène, et le Dibenzo(a,h)Anthracène, et deux sont cancérigènes possibles pour l'homme, le Benzo(b)Fluoranthène et le Benzo(k)Fluoranthène.

Le fluoranthène est proportionnellement l'hydrocarbure aromatique polycyclique majoritaire.

Les agents les plus exposés aux HAP sont ceux soumis aux émissions diesel, c'est à dire l'agent vérificateur, les conducteurs d'engins de l'alvéole et BTP et les agents polyvalents et enfin les salariés en poste à la réception.

En Europe, Nielsen [Nielsen *et al.*, 1995] rapporte des valeurs comprises entre 1 et 20 ng/m³ et des HAP totaux ont été retrouvés dans la rue à des valeurs de 46,6 ng/m³. A Grenoble, en 1997, une étude portant sur l'exposition professionnelle d'agents de police municipaux [Gautier, 1997] retrouve des valeurs comprises entre 2,1 et 74 ng/m³. Sur le plan quantitatif, les expositions individuelles que nous avons retrouvées sont du même ordre, puisqu'elles sont comprises entre 10 à 66 ng/m³.

La répartition des HAP au niveau de ces mêmes postes montre une prédominance de pyrène et de fluoranthène, soient deux HAP caractéristiques des émissions diesel

[Koutsandreas et al., 1983] qui peuvent se trouver selon les conditions atmosphériques en plus grande quantité dans la phase gazeuse ou dans la phase particulaire.

Sur l'alvéole la nuit, on note un pourcentage relatif de pyrène et de fluoranthène moins élevé du fait de l'absence de véhicules diesel. Du fait de ce pourcentage moins élevé, le pourcentage relatif de HAP cancérogènes est augmenté (37% sur l'alvéole de nuit alors que sur tous les autres prélèvements ils représentent au maximum 30% des HAP totaux).

1.7. Synthèse des niveaux d'exposition atmosphérique toxicologique pour les salariés.

Globalement, pour les particules, les métaux, les COV et les aldéhydes, les valeurs retrouvées sur le site 1 sont plus faibles que celles du site 2. Cette différence peut s'expliquer par la morphologie des sites ainsi que par leurs activités. Ces constatations avaient déjà été faites par Rakhonen dans ses deux études [Rahkonen *et al*, 1987] [Rahkonen *et al*, 1990].

Par ailleurs, on remarque des concentrations plus élevées chez les conducteurs d'engins du BTP que chez les conducteurs d'engins de l'alvéole, à la fois pour les particules et pour les métaux. Or les engins des conducteurs BTP ne sont pas les mêmes que les conducteurs d'engins de l'alvéole qui utilisent des compacteurs. Mais en dehors de la différence de véhicules entre ces agents, il faut souligner la différence entre les particules mises en suspension lors du terrassement (terre) qui sont plus fines que celles mises en suspension lors du compactage de déchets solides, donc beaucoup moins pulvérulents, sur l'alvéole.

Sur les deux sites, les prélèvements de COV réalisés au niveau des ordures ménagères retrouvent majoritairement des alcools. Cette classe est prédominante du fait de la présence de méthanol, composé issu du biogaz qui est retrouvé exclusivement chez les salariés au contact des ordures ménagères ou au niveau des prélèvements d'ambiance pratiqués sur l'alvéole.

Or Young et Parker [Young *et al*, 1983] dans leur étude trouvaient, dans les trois sites qui recevaient des ordures ménagères, non seulement que les alcools étaient la principale classe de composés traces retrouvée au cours du temps, mais aussi que les concentrations de méthanol étaient à des taux élevés.

Le méthanol se présente comme un traceur de l'exposition aux ordures ménagères.

En France, il n'existe aucune VME pour les HAP. En Suisse [Hofer, 1997-1998], en 1994 une VME a été introduite pour les émissions de moteurs diesel, émissions qui contiennent, en dehors des HAP, des milliers de composés chimiques, en phase gazeuse ou particulaire. Cette VME a été fixée à 0,2 mg/m³. Mais, s'agissant de substances cancérogènes, cette

valeur n'a pas pas vocation d'indiquer une concentration qui soit sûrement inoffensive, mais de fixer des objectifs techniquement réalisables qui, même dans les cas de substances cancérigènes ou suspectées de l'être, semblent préférables à l'absence de toute valeur pour la maîtrise du risque. Le processus analytique qui permet la détermination des concentrations prend en compte le carbone élémentaire et le carbone organique. En Allemagne, en 1996, la valeur correspondante, dénommée TRK (Technische Richtkonzentrationen) est de 0,1 mg/m³.

Pour le B(a)P, les taux les plus importants (retrouvés à moins de 6% de la valeur recommandée par la CNAM) sont mis en évidence auprès des conducteurs d'engins.

Alors qu'en France, seule une valeur d'exposition du B(a)P à ne pas dépasser en milieu de travail a été recommandée par la CNAM (150 ng/m³), la Suisse a fixé une VME à 0,002 mg/m³.

Pour les HAP cancérigènes, comme pour le benzène, la relation exposition-effet n'est pas tranchée aussi bien pour les concentrations retrouvées en milieu de travail que pour les expositions, plus faibles de l'environnement. L'OMS, en utilisant le B(a)P comme index des mélanges d'HAP, a proposé un excès de risque unitaire de cancers respiratoires pour une valeur de 8,7.10⁵ ng/m³ de B(a)P [Chiron *et al*, 1997]. Ce qui signifie que près de neuf personnes sur 100.000 pourraient présenter un cancer respiratoire si elles étaient exposées, leur vie durant, à un mélange d' HAP contenant en moyenne 1 ng/m³ de B(a)P.

2. Résultats sur les indicateurs biologiques d'exposition.

Le chrome est le seul élément qui augmente chez les salariés des CET entre début et fin de poste et qui soit plus élevé chez les salariés des CET. Rappelons que le chrome, comme le nickel d'ailleurs, sont deux métaux allergogènes qui peuvent entraîner une sensibilisation à des niveaux très faibles.

La cinétique rapide du chrome urinaire indique qu'il s'agit d'une forme de chrome soluble, facilement absorbée. Il serait nécessaire de préciser la spéciation de ce métal; le chrome VI, forme soluble ubiquitaire du chrome, est classée par le CIRC comme substance cancérigène du groupe I. La signification de ce résultat est dès lors difficile à cerner au vu des faibles niveaux observés dans l'ambiance de travail.

3. Métrologie des microorganismes

3.1. Données de référence

Dans la littérature le nombre d'études concernant l'évaluation de l'exposition microbiologique des salariés des décharges d'ordures ménagères est peu important. Par ailleurs il n'existe pas de valeur limite concernant cette exposition. Aussi l'exposition microbiologique des salariés des deux sites étudiés est comparée à des recommandations proposées par différents auteurs (Tableau 46).

Tableau 46: Propositions de valeurs guides de microorganismes aéroportés et d'endotoxines dans différentes études de la littérature.

| Appellation | Bactéries totales | Bactéries Gram-négatif | Endotoxines | Champignons totaux | Références |
|---|--|--------------------------------------|---|--|------------------|
| Valeurs limites d'après Rylander | - | 10 ³ | 100 ng/m ³ | - | Rylander, 1984 |
| Valeur limite Eight-hour TWA (Time weighted average) | - | - | 30 ng/m ³ | - | Laitinen, 1994 |
| Valeurs limites | 10 ⁴ | 10 ³ | <100 ng/ m ³ | - | Pépin, 1996 |
| Valeurs guides Dutch Occupational Health Association | 10 ⁴ | 10 ³ | - | 10 ⁴ avec 0,5.10 ³ /espèce | Heida, 1995 |
| Valeur guide (ACGIH) | - | - | - | 10 ³ avec 0,5.10 ³ /espèce | Tongeren, 1997 |
| Valeurs limites (ASTM) | 10 ⁴ | 10 ³ | - | - | Fabries, 1997 |
| Valeurs limites Scandinavie (OEL) Pologne | 5.10 ³ à 1.10 ⁴ 10 ⁵ | 10 ³ 2.10 ⁴ | - - | 5.10 ⁴ - | Dutkiewicz, 1997 |
| Concentrations exagérées | 10 ³ | - | - | 10 ² | Perdrix, 1997b |
| Valeur limite sur la base d'une exposition de 8 heures par jour | - | - | 50 EU ²⁹ /m ³ | - | Fabries, 1997 |
| Valeur limite sur la base d'une exposition de 8 heures par jour (DECOS) | - | - | 50 EU/m ³ soit 4,5 ng/m ³ | - | Heederick, 1997 |

²⁹ EU : unités d'endotoxines, par référence à une endotoxine produite par une souche bactérienne déterminée.

Le dosage des unités d'endotoxines est réalisé par le LAL-test, avec lequel on retrouve la correspondance suivante : 0,01-100 EU/ml ≈ 1 pg/ml- 10 ng/ml [Heederik et al., 1997].

En pratique, selon l'espèce de bactéries Gram-négatif qui produit l'endotoxine, 1 ng/m³ correspond à 10 à 14 EU/ m³.

3.2. Les microorganismes au niveau des salariés

Au niveau des salariés, les concentrations en microorganismes sont très variables d'une ambiance à l'autre, mais également dans le temps au niveau d'un même point de prélèvement.

Les espèces bactériennes et fongiques retrouvées au niveau du point **témoin** tant du point de vue quantitatif que qualitatif, sont satisfaisantes et représentatives d'un environnement extérieur classique.

Au niveau de la **réception**, les concentrations bactériennes sont relativement importantes puisque, pour les deux sites, les taux sont de l'ordre de 5.10^3 CFU/m³, soit des taux dix fois supérieurs à une ambiance intérieure classique. On note la présence essentiellement des bactéries Gram positif, mais des bactéries Gram négatif sont aussi retrouvées, à des taux de 1 à 2.10^3 CFU/m³. La flore fongique est quasiment normale en quantité et en qualité, mais avec tout de même la présence de pics importants ($3,5.10^3$ CFU/m³) avec une large prédominance d'*Aspergillus fumigatus* ou de *Penicillium*, soit un risque potentiel pour la santé. En effet, les pics d'exposition (et non pas la seule exposition chronique) sont impliqués dans le déclenchement de pathologies chez l'homme [Perdrix et al., 1997b]. Ces émissions fortes et temporaires trouvent probablement leur origine au niveau des camions qui séjournent devant la réception.

Une majorité de bactéries Gram positif et de champignons est également retrouvée au niveau de l'**alvéole** lors des prélèvements cherchant à quantifier l'exposition des salariés. Les concentrations relevées sont concordantes avec celles mises en évidence par Rakhonen dans des décharges d'ordures ménagères. Dans deux études, Rakhonen a mesuré les concentrations en microorganismes viables, dans l'air ambiant à proximité de salariés travaillant sur des alvéoles en cours d'exploitation. Les résultats de la première étude [Rahkonen et al., 1987] sont proches de ceux obtenus sur le site 1, alors que ceux de sa deuxième étude [Rahkonen et al., 1990] sont similaires à ceux mis en évidence au niveau du site 2. L'auteur explique que les taux moindres retrouvés lors de l'étude réalisée en 1987 par rapport à ceux de 1990 s'expliquent par la différence de taille et d'activité au niveau des décharges considérées. Ces constatations sont cohérentes avec notre étude puisque la quantité de déchets reçue sur le site 2 est presque de quatre fois supérieure à celle du site 1. Il souligne aussi la variabilité de concentrations dans le temps et une fluctuation des concentrations en fonction de l'activité des sites, des conditions météorologiques et de la saison. Dans notre étude, les taux retrouvés lors du déchargement d'un camion, sous le vent, rendent compte de l'influence de ces différents facteurs. Les taux de bacilles Gram

négatif retrouvés sur les deux sites sont de l'ordre de 10^2 CFU/m³, soit des taux intermédiaires à ceux retrouvés par Rakhonen dans ses études (de 10^1 à 10^3 CFU/m³).

La flore fongique est essentiellement constituée d'*Aspergillus fumigatus* sur le premier site, et de *Penicillium* et de levures sur le site 2. Lors des prélèvements réalisés au niveau des sources, il avait été mis en évidence que les déchets les plus jeunes émettaient plutôt des *Penicillium* alors que les plus âgés étaient caractérisés par une émission prépondérante d'*Aspergillus fumigatus* (80 à 100%). Du fait de la forte activité du site 2, les déchets seraient plus récents. Ainsi la présence des espèces majoritairement retrouvées sur chaque site peut s'expliquer par la saison où les prélèvements ont été réalisés (automne pour le site 1; printemps pour le site 2), mais aussi par l'ancienneté de ces déchets. La qualité des champignons trouvés par Rakhonen [Rakhonen *et al*, 1987 ; 1990] (*Aspergillus*, *Penicillium*, *Cladosporium*, levures) est similaire .

Sur l'alvéole, les actinomycètes sont retrouvés, là encore, à des taux identiques à ceux de Rakhonen (0 à 10^2 CFU/m³). Aucun actinomycète n'a été détecté à proximité des salariés de l'alvéole du site 1, et sur le site 2, la concentration atteint 10^2 CFU/m³, soit une concentration faible mais dont il faut tenir compte du fait du caractère allergisant de ces bactéries [Perdrix *et al.*, 1997a].

Rakhonen dans sa première étude, avait non seulement réalisé des prélèvements sur l'alvéole en exploitation, le plus près possible de la zone de travail des salariés, mais aussi pratiqué des prélèvements à l'intérieur des cabines des compacteurs, afin d'évaluer au mieux l'exposition microbiologique de tous les salariés. Almaguer [Almaguer *et al*, 1996] a fait de même.

Rakhonen trouve des concentrations moyennes plus élevées à l'intérieur des cabines que sur l'alvéole, lorsque ces cabines ne possèdent pas de système de filtration de l'air pour les bactéries totales (en été $1,5 \cdot 10^4$ CFU/m³ contre $7,3 \cdot 10^3$ CFU/m³; en automne $6,2 \cdot 10^3$ CFU/m³ contre $1,8 \cdot 10^3$ CFU/m³), pour les champignons (en été $1,2 \cdot 10^4$ CFU/m³, contre $2,8 \cdot 10^3$ CFU/m³; en automne $7,6 \cdot 10^3$ CFU/m³ contre $8 \cdot 10^2$ CFU/m³), et pour les actinomycètes thermophiles (en été $7 \cdot 10^2$ CFU/m³ contre $2,6 \cdot 10^1$ CFU/m³; en automne $1,4 \cdot 10^2$ CFU/m³ contre $4,5 \cdot 10^1$ CFU/m³) Almaguer [Almaguer *et al*, 1996] aboutit aux mêmes résultats, avec des concentrations en spores fongiques plus importantes ($6 \cdot 10^4$ spores/m³ dans les cabines contre 1 à $2 \cdot 10^4$ spores/m³ sur l'alvéole en exploitation). Ainsi, il est probable que les concentrations mesurées sur une alvéole en cours d'exploitation sous-estiment l'exposition réelle des conducteurs d'engins qui travaillent dans un espace confiné.

D'ailleurs Rakhonen met en évidence que, lorsque les cabines sont équipées d'un système de filtration de l'air, les taux de microorganismes à l'intérieur de la cabine sont divisés par plus de deux et demi ($1,8 \cdot 10^4$ CFU/m³ pour les bactéries totales sans filtration de l'air contre

$6,8 \cdot 10^3$ CFU/m³ lorsque l'air est filtré et $3,34 \cdot 10^4$ CFU/m³ pour les champignons totaux sans filtration de l'air contre $1,27 \cdot 10^4$ CFU/m³ lorsque l'air est filtré). Ainsi, il préconise un système de pressurisation des cabines et la filtration de l'air extérieur pour abaisser les taux.

3.3. Les endotoxines.

Sur le site 2, les taux d'endotoxines retrouvés (1,3 et 1,5 EU/m³) sont quasiment similaires à ceux mis en évidence par Almaguer [Almaguer *et al*, 1996] sur l'alvéole en exploitation (1 et 2,2 EU/m³) et du même ordre de grandeur que ceux retrouvés par Rakhonen [Rakhonen *et al*, 1990] en 1990, qui étaient de 0,4 à 29 ng/m³ soit environ 4 à 5,6 EU/m³.

Sur le site 1 le taux est retrouvé plus élevé (4,6 et 12 EU/m³) que sur le deuxième site alors que les concentrations de bactéries Gram négatif sont comparables. Quoiqu'il en soit les taux sont inférieurs à la valeur limite de 50 EU/m³ proposée en 1997 [Fabries, 1997] [Heederik *et al*, 1997].

Comme pour les spores fongiques, Almaguer [Almaguer *et al*, 1996] retrouve des taux légèrement supérieurs d'endotoxines dans les cabines des engins (2,4 et 4,4 EU/m³) que sur l'alvéole.

3.4. Synthèse des niveaux d'exposition atmosphérique microbiologique.

Bien que pour la plupart semi-quantitatives, les concentrations retrouvées au niveau des sources orientent vers une émission de microorganismes forte et réelle.

Au niveau des salariés, les concentrations, parfois très élevées par rapport au point de référence (témoin) d'une part, et la répartition anormale (monomorphe) des espèces bactériennes et fongiques d'autre part, sont bien le signe d'une prolifération et d'une dissémination de microorganismes au niveau du CET.

Bien que s'intégrant dans le cadre des autres études réalisées dans les secteurs de l'activité des déchets que sont la collecte et le tri, les concentrations en microorganismes aéroportés retrouvées dans notre étude peuvent être considérées comme élevées à la fois au vue des propositions de valeurs limites données par les différents auteurs mais aussi en regard des pathologies engendrées par les microorganismes, notamment pour les salariés travaillant à la réception et sur l'alvéole, et plus particulièrement pour les travailleurs qui sont amenés à circuler sur les déchets tel que l'agent vérificateur.

Une nuance peut toutefois être introduite, car si les concentrations que nous avons retrouvées sont importantes, dans le secteur du compostage ces valeurs sont multipliées d'un facteur 10 à 100.

Il faut aussi garder à l'esprit les notions de susceptibilité individuelle, de composition multi microorganismes des bioaérosols, d'association de ces aérosols à des composants biologiques et chimiques multiples et variés.

4. Etude des répercussions sur la santé

4.1. Troubles respiratoires , muqueux et cutanés

En dépit du petit nombre de sujets qui ont participé à l'étude, nous retrouvons une augmentation significative de certains symptômes dont se plaignent les salariés des centres de stockage de déchets. Ces symptômes ne sont pas associés à des troubles cliniques objectifs lors de l'examen médical que nous avons pratiqué. Rappelons toutefois qu'en matière de troubles chroniques, les signes cliniques n'apparaissent souvent qu'après plusieurs années de symptomatologie. Cela traduit pourtant une réponse à une agression des muqueuses ou de la peau : il s'agit de toux , de symptômes rhinopharyngés , d'état pseudo-grippal , de signes d'irritation cutanée et d'irritation oculaire. L'origine de ces symptômes n'est pas déterminée : elle pourrait être liée à une irritation par les poussières, ou d'origine immuno-allergique.. Les salariés des CET signalent plus souvent avoir des antécédents d'allergie que les salariés des autres groupes étudiés. Toutefois, aucun cas d'asthme n'a été rapporté par les salariés enquêtés.

Ces symptômes sont cohérents avec ce qui a déjà été décrit dans les quelques publications parues sur les risques des salariés des filières de traitement des déchets ménagers. Ainsi Crook (1991) avait-il mesuré un Odds-ratio à 2,1 (IC_{95%} : 1,1-4,2) indiquant un excès de toux chez les salariés de 3 sites de traitement de déchets (1 station de transfert, une unité d'incinération d'ordures ménagères, un centre de stockage d'ordures ménagères) ; Gelberg (1997) dans son étude des salariés des employés des centres de traitement d'ordures ménagères de la ville de New York avait calculé lui aussi un odds-ratio de 2,14 (IC_{95%} : 1,35-3,38) pour les symptômes respiratoires présentés par ces salariés, de 1,54 (IC_{95%} : 0,96 – 2,46) pour les épisodes d'irritation oculaire, de 2,26 (IC_{95%} : 1,33 – 3,82) pour les symptômes de la sphère pharyngée, et de 2,07 (IC_{95%} : 1,11,-3,84) pour les symptômes d'irritation cutanée. Thorn (1998) signale une prévalence de congestion nasale 3 fois plus importante et de toux 2 fois plus importante dans un groupe de 22 salariés (collecteurs d'ordures ménagères ou salariés d'un centre de compostage d'ordures ménagères). Hertzman (1987) avait mesuré un risque relatif de 1,81 (p = 0,008) pour les symptômes respiratoires présentés par les salariés de la décharge d'Upper Ottawa Street, de 1,83 (p =0,02) pour les symptômes cutanés et de 1,63 (p=0,12) pour les irritations oculaires. Poulsen dans sa revue des impacts sur la santé des collecteurs d'ordures ménagères donnent les risques relatifs suivants : pour les Pathologies respiratoires allergiques RR = 2.6 (1.4-1.7) et pour les autres pathologies respiratoires RR = 1.4 (0.9-3.9), pour les pathologies infectieuses (non définies de façon spécifique) RR = 6.0 (3.6-10.0), et pour les pathologies cutanées RR = 1.6 (1.2-2.0). De la même façon, nous avons montré que les salariés d'unité d'incinération d'ordures

ménagères présentait des épisodes de toux plus fréquents (surtout après certaines tâches) et des signes d'irritation oculaire et cutanée plus fréquents qu'un groupe de salariés témoins (Hours, 1998).

L'hypothèse la plus fréquemment soulevée dans la littérature pour expliquer ces excès est l'exposition aux poussières d'origine organique (endotoxines, -Glucan ...) ou aux microorganismes notamment aux champignons ou aux actinomycètes. Plusieurs études ont d'ailleurs mis en évidence une relation entre les symptômes présentés et l'importance de l'exposition à ces particules organiques (Thorn, 1998 ; Sigsgaard, 1994, Malmros, 1992).

Ces manifestations sont également cohérentes avec l'observation d'un nombre un peu plus important (toutefois non significatif et toujours dans les normes des laboratoires) de leucocytes (globules blancs) dans le groupe des salariés des CET. Lors de pathologies décrites lors d'exposition importante à ces microorganismes ou aux poussières organiques [choc toxique par surcharge en particules organiques encore appelé ODTs, pneumopathies d'hypersensibilisation allergique (Weber, 1993)...] qui sont vues essentiellement lors de manipulation de compost ou dans des chaînes de tri mais aussi lors d'exposition chronique (industrie du coton, champignonnières, station d'épuration des eaux usées), il existe constamment des élévations des leucocytes, élévations portant sur les lymphocytes ou sur les polynucléaires neutrophiles. Plusieurs auteurs cités ci-dessus ont également retrouvé une légère augmentation des globules blancs chez des salariés du secteur du 'traitement des déchets' (Thorn, 1998, Hours 1998, Malmros, 1992). Il s'agit cependant d'un paramètre difficile à interpréter dans la mesure où de nombreux facteurs physiologiques peuvent expliquer des variations aussi faibles que celle qui est observée dans l'étude.

Nous n'avons pas mis en évidence de baisse significative de la fonction respiratoire. Il s'agit également d'un résultat cohérent avec les données publiées. Thorn (1998) n'avait pas mis en évidence d'altérations de la fonction respiratoire lors d'études transversales ; de son côté, Sigsgaard (1994) avait montré l'existence chez des salariés du recyclage des déchets et des papeteries l'existence d'une baisse de la capacité vitale respiratoire entre l'EFR pratiqué avant la prise de poste et celle pratiquée à la fin de la journée de travail ; l'importance de cette baisse était en relation linéaire avec la pollution du poste de travail en terme de poussières.

Il est par contre classique de trouver une importante dégradation de la fonction respiratoire lors d'accidents respiratoires (aigus ou subaigus) décrits lors d'exposition massive aux endotoxines ou aux champignons (Weber, 1993).

Poulsen (1995) rappelle à ce sujet que les explorations fonctionnelles respiratoires réalisées dans le seul cadre d'études transversales sont entachées du "biais du travailleur sain"³⁰ : ce qui pourrait expliquer les résultats généralement bons de ces études dans lesquelles les différences significatives entre des groupes se voient essentiellement lorsque la fonction respiratoire est déjà fortement perturbée. Une étude longitudinale pour explorer cette fonction serait plus informative.

4.2. Troubles digestifs

Nous n'avons pas trouvé d'augmentation des troubles digestifs à l'inverse de plusieurs publications réalisées à la suite d'études chez les collecteurs d'ordures ménagères (Ivens, 1997 et 1999). Poulsen, dans sa revue des risques chez les éboueurs, donne un Risque Relatif ³¹ = 2.8 (1.3-6.3) pour les pathologies digestives.

Par contre, Gelberg n'avait pas trouvé d'augmentation significative des symptômes digestifs chez les salariés des centres de stockage d'ordures ménagères de New York (OR = 1,26 ; 0,76-2,09) ; de même, Hertzman ne cite pas ces symptômes comme faisant partie des symptômes signalés par les salariés de la décharge d'Upper Ottawa Street, alors qu'ils étaient demandés dans le questionnaire.

Il s'agit d'un résultat à rapprocher du fait que l'on a mesuré dans les deux CET étudiés des niveaux d'endotoxine faibles. Or les symptômes digestifs observés chez les éboueurs, souvent en association avec des symptômes généraux tels que la fatigue ou les maux de tête, sont plutôt corrélés à des niveaux élevés d'endotoxines qu'aux taux de microorganismes eux-mêmes.

4.3. Troubles neurologiques

Bien que les salariés des CET se plaignent plus de troubles neurologiques (essentiellement des troubles de la mémoire) que les autres salariés, nous ne pouvons pas conclure à l'existence de symptômes liés au fait de travailler sur un CET. En effet, ces symptômes sont souvent isolés chez un même salarié (alors qu'un tableau d'atteinte neurotoxique associe souvent en même temps des troubles de la mémoire, du sommeil, de la capacité à se concentrer, de changement d'humeur...). Par ailleurs, les niveaux d'exposition aux polluants

³⁰ les salariés les plus fortement touchés quittent plus vite l'entreprise que les autres : ainsi lors d'une étude transversale qui par définition ne permet pas de suivre des salariés dans le temps, les salariés examinés sont en général en meilleure santé que les salariés d'une entreprise ayant des conditions de travail peu contraignantes

³¹ Comme pour l'odds-ratio, un risque relatif supérieur à 1 signifie que la probabilité de manifester un symptôme donné quand on est exposé est plus importante que celle de présenter ce symptôme si l'on n'est pas exposé. Cet excès est considéré comme significatif si l'intervalle de confiance ne comprend pas la valeur 1.

neurotoxiques sont très faibles. Ces mêmes symptômes peuvent se rencontrer lors d'intoxication éthylique.

Ainsi dans notre étude, la prise en compte d'une consommation alcoolique régulière fait disparaître la différence observée entre les deux groupes étudiés lors de l'analyse brute des résultats des tests psychomoteurs, particulièrement en ce qui concerne les tests de motricité fine et de fonction cognitive. L'alcool est un élément constamment signalé dans les études comme étant l'exposition associée le plus fréquemment à des perturbations lors des tests psychométriques. Il pourrait potentialiser les effets des autres produits toxiques pour le système nerveux central ; cependant, le débat à ce sujet n'est pas clos (Hogstedt, 1992 ; Lundberg, 1995) et les études ne sont pas toutes cohérentes entre elles. Il doit de toute façon toujours être intégré dans l'analyse comme facteur confondant.

Dans la littérature, il a été démontré l'existence de perturbation des tests du type Benton, Purdue ou des tests cognitifs lors d'exposition avérée au mercure, au plomb (Hogstedt, 1983), au manganèse (les deux métaux les plus étudiés) mais aussi lors d'exposition aux solvants (Lundberg, 1995) comme le toluène, le trichloréthylène ou le tétrachloréthylène, ou le styrène. Dans la plupart des cas cependant l'exposition des salariés est renseignée en terme semi-quantitatif (indice d'exposition) et semble être quantitativement importante. Le Temps de Réaction est perturbé de façon plus tardive pour des niveaux d'exposition (notamment au plomb) plus élevés.

Compte tenu, des très faibles niveaux d'exposition aux neurotoxiques potentiels qui ont été observés aux postes de travail, il n'est pas surprenant de ne pas trouver l'existence d'un impact neurologique chez les salariés des CET.

Nous n'avons pas mis en évidence de relation entre le niveau de plombémie et les scores obtenus aux différents tests. Il faut expliquer ce manque de relation par les niveaux peu élevés de plombémie observés (à l'exception de 2 salariés du groupe témoins):

La plombémie moyenne des salariés des CET (61,25 µg/l) est inférieure à celle que nous avons observée chez des ouvriers de 2 centres d'incinération d'ordures ménagères (centre 1 : 71,70 µg/l ; centre 3: 89,14 µg/l) (Hours, 1998) et identique à celle du Centre 2 plus récemment ouvert. Ces niveaux de plombémie sont dans l'ensemble identiques à ceux des populations avoisinantes, à âge égal.

4.4. Troubles lors de tâches particulières

Nous avons observé l'existence de certains troubles lors de tâches spécifiques, en particulier autour du traitement des eaux ou du travail de vérificateur. Le petit nombre de cas n'autorise pas d'analyse épidémiologique de ce problème. Par contre, en terme de surveillance médicale des salariés, il sera intéressant de mettre en place une procédure de signalement de ces phénomènes et d'analyse des circonstances afin d'en rechercher les causes : ce que

l'on appelle dans l'industrie chimique, l'analyse des tâches «critiques ». Il faut, en effet, noter que le milieu que constitue un CET peut générer des bouffées accidentelles de produits qui peuvent être à l'origine de troubles de santé sérieux comme cela a été décrit lors d'une exposition accidentelle à un dégagement d'hydrazine (N₂H₄) (Schweisfurth H 1993).

5. Synthèse de l'étude sur la santé des salariés

De cette étude, nous retenons essentiellement l'existence de symptômes plus fréquemment décrits chez les salariés des CET, symptômes concernant la sphère ORL, les voies respiratoires et le revêtement cutané; ces symptômes ne se traduisaient pas par des signes cliniques le jour où a eu lieu l'examen. Ces symptômes pourraient être d'origine irritative ou immuno-allergique, ce qu'il faudrait pouvoir préciser dans une poursuite de l'étude. Ils pourraient être en relation avec la présence dans l'atmosphère de travail de microorganismes et de poussières (métalliques ou non).

Les conditions d'émissions de ces éléments (et leurs niveaux) nécessiteraient d'être précisés pour pouvoir orienter une étude biologique complémentaire.

Il serait nécessaire de mettre en place un suivi longitudinal d'un plus grand nombre de salariés pour rechercher des modifications sur le long terme de la fonction respiratoire.

Compte-tenu des niveaux très faibles de polluants neurotoxiques, il n'était pas possible d'observer des perturbations neurologiques dans notre population de salariés, vraisemblablement extrêmement discrètes.

Par contre, il est nécessaire de mettre en place une stratégie d'analyse des "tâches critiques".

En raison de la méconnaissance que nous avons encore aujourd'hui des mécanismes d'action des microorganismes mesurés dans cette étude, de leurs impacts réels sur la santé et de leur responsabilité par rapport à celle des poussières, il est nécessaire de préciser ces différents points avant de pouvoir extrapoler ces résultats, notamment ceux concernant les symptômes respiratoires et cutanéomuqueux aux populations avoisinantes.

C. Discussion des résultats obtenus lors de l'étude des bioindicateurs végétaux et chez l'animal

1. Les lichens

Le présent travail est la première recherche réalisée sur l'impact de décharges d'ordures ménagères sur les lichens et les résultats, originaux, mettent en évidence une contamination métallique certaine des lichens dans les transplants ou dans les lichens in situ sur les sites étudiés.

Il faut rappeler tout d'abord que ce suivi a été possible parce que nous avons remarqué sur le site 3 la persistance d'une espèce qui s'est révélée résistante et adaptée à l'ambiance « décharge ». Seule une étude de la flore et de la végétation lichéniques des régions étudiées au moment de la mise en place des centres d'enfouissement aurait pu mettre en évidence la modification éventuelle de la végétation épiphyte des lieux et la disparition progressive des espèces corticoles pouvant être trouvées habituellement (divers *Parmelia* et *Physcia*, *Evernia*, etc.).

On peut donc déjà dire que la présence des décharges favorise l'installation de l'espèce *Xanthoria parietina* qui reste rare (cas des sites 1 et 2) sans doute parce que la végétation arborescente est peu développée sur ces sites ou qui, lorsqu'elle est développée, est quasiment monospécifique (site 3).

Par les analyses des teneurs lichéniques, nous avons vu que l'on retrouve une pollution métallique générale des centres d'enfouissement caractérisée par un « cocktail » de métaux. Si cette pollution peut légèrement varier d'un site à l'autre, il apparaît également des variations en fonction :

- des périodes d'observation et de leur durée : exemple des teneurs des transplants sur le site 1 durant les 6 premiers mois de l'expérimentation, durant les 6 derniers mois ou l'année. Ces variations sont sans doute à mettre en relation avec les types de déchets apportés au centre qui peuvent être modifiés en cours d'année,
- des stations; en effet, une décharge est un site hétérogène à cause des différentes activités qui s'y déroulent. Ainsi on retrouve une contamination importante à la station des alvéoles et dans les stations à torchères. Sur le site 1, la station près de la fissure est également touchée.

Nous voyons aussi des différences dans les concentrations entre les analyses réalisées sur transplants et celles qui ont été effectuées sur les lichens in situ. Par exemple, si nous considérons les résultats du site 1, les transplants ont montré que le Pb n'était pas présent sur le site durant les périodes d'expérimentation, alors que les lichens in situ qui se trouvaient sur les arbres de la décharge avaient enregistré une contamination en Pb 3,7 fois plus importante que celle des lichens de la station hors site et traduisaient ainsi une pollution plombique antérieure.

Bien que cela n'ait pas été possible au cours de cette étude, compte tenu du nombre de sites étudiés et de l'enveloppe financière, il eut été intéressant de reproduire les analyses afin de tirer des résultats plus précis permettant des tests statistiques performants. Cependant il ne faut pas oublier que, sur site possédant des lichens, les prélèvements d'échantillons doivent être limités en biomasse afin d'éviter de détruire les stations, la croissance et la repousse des lichens étant très lente, et que sur site sans lichens où la mise en oeuvre de la technique de transplantation est nécessaire, le choix d'une station d'origine des transplants est souvent délicate et ne permet pas de multiplier la fabrication même des transplants.

Dans ces conditions, nous pensons que l'interprétation des résultats en considérant les rapports d'accumulation entre les séries d'analyses apportent un éclairage intéressant. L'examen des rapports d'accumulation permet ainsi de constater, en comparant les teneurs métalliques des stations témoins hors site avec les valeurs de référence de base considérés dans les transplants $\frac{t_{plts}}{Tr}$, que ces stations montrent déjà une certaine contamination qui peut être importante : en ne considérant que les rapports supérieurs à 5, on remarque que l'environnement des riverains du site 2 est fortement contaminé en Cr t (rapport de 8,7) et en Ni (rapport de 5,7), que celui du site 3 est contaminé en Cd et Ni (rapports de plus de 5). Si l'on considère les rapports d'accumulation aux environs de 3, on constate que l'environnement des riverains du site 1 est contaminé en Cr t, celui du site 2 est contaminé en Mn et celui du site 3 en Cr t et Ni.

Les lichens se montrent ainsi des révélateurs de la contamination globale de l'ambiance d'une région mais aussi des « lecteurs » de la pollution de proximité due à la décharge elle-même. Dans ce cadre, les transplants ont bien rendu compte des perturbations atmosphériques générales régnant dans les décharges. On peut évoquer les émissions métalliques provenant du brassage du sol au niveau de l'alvéole, avec les remontées possibles des métaux contenus dans les objets enfouis (batteries, tôles galvanisées,...), des zones de combustion des gaz au niveau des torchères, des fractures possibles (fissure), et aussi de tous les micromouvements atmosphériques qui sont dus à la circulation des

véhicules et qui contribuent à créer l'atmosphère de l'ambiance dans laquelle vivent les travailleurs.

2. Les rats

L'étude des constituants des sols indique des teneurs en argile et en matière organique totale faibles et très homogènes au sein d'un même site, reflétant leur caractère plutôt sablonneux.

Le suivi des HAP, des PCB coplanaires, des métaux et des COV dans les cinq échantillons de sols prélevés dans chacune des deux décharges, révèle une certaine disparité de la pollution en COV entre les sites d'une part et entre les sols d'autre part. Quant à elles, les concentrations en métaux, HAP et PCB, sont assez homogènes aussi bien entre les deux décharges qu'entre les sols du même site. Par ailleurs, il faut noter que si les COV présentent des teneurs parfois élevées, celles des autres polluants (HAP, PCB, métaux) restent globalement faibles. De plus, les profils chromatographiques en PCB, des échantillons analysés n'étaient pas superposables à ceux correspondants aux mélanges de type Aroclor 1254 et 1260. Il a donc été nécessaire d'exprimer les résultats en quantifiant individuellement les PCB présents dans chacun des échantillons (sols et par la suite : organes).

Les témoins, exposés à de la litière non contaminée, forment un groupe homogène quel que soit l'organe analysé, et le polluant (HAP, PCB, métaux) considéré. Les concentrations en PCB et en HAP dans les organes (foies, poumons) ont toujours été inférieures à la limite de détection et les teneurs en métaux (reins) sont toujours restées physiologiquement acceptables. De plus, les témoins ont présenté des activités enzymatiques basses. Enfin, le test des comètes a montré que les témoins ne subissaient aucune agression capable de provoquer des cassures des noyaux de leurs lymphocytes.

Les animaux ayant pour litière, les sols contaminés ont toujours été statistiquement différents des témoins quel que soit le site testé. En effet, les concentrations en HAP et PCB dans les organes des animaux exposés ont toujours été significativement supérieures à celles des témoins, mettant en évidence une biodisponibilité de ces polluants au bout de quatre jours d'exposition. Au contraire, les concentrations rénales en métaux des animaux exposés n'ont jamais été différentes de celles des témoins. Ce type de polluant ne semble donc pas être en concentration suffisante dans les sols pour que sa biodisponibilité puisse être mise en évidence dans les conditions d'exposition choisies (4 jours, à même le sol). Par ailleurs, les activités enzymatiques hépatiques et pulmonaires (EROD, PROD, biomarqueur d'exposition d'une pollution organique) de tous les rats exposés étaient significativement supérieures à

celles des témoins et reflètent bien la biodisponibilité des polluants organiques présents dans ces sols.

Néanmoins, la biodisponibilité des molécules organiques semble changer en fonction du sol et du polluant (HAP, PCB) puisque les regroupements issus des analyses statistiques effectuées à partir des concentrations en HAP ou PCB dans les organes sont différents de ceux des activités. En effet, la réponse biologique exprimée par les activités EROD et PROD est variable quel que soit le site et notamment, dans le cas du site 1, la différence significative entre les groupes obtenus à partir des concentrations en polluants dans les organes des animaux exposés n'est pas retrouvée lors de l'analyse statistique des réponses biologiques. De plus, les profils des activités ne sont, ni en accord avec les concentrations en HAP et en PCB pulmonaires quel que soit le site, ni avec les concentrations en HAP hépatiques des animaux exposés aux sols du site 1. Au contraire, pour le site 2, les activités EROD et PROD hépatiques reflètent bien la biodisponibilité des HAP et des PCB, respectivement. En effet, dans les foies, l'activité EROD est corrélée aux concentrations en HAP alors que les regroupements permis par l'étude statistique des PCB ne montrent pas de différence significative de cette activité. Inversement, l'activité PROD est corrélée aux concentrations en PCB et les regroupements obtenus après l'étude statistique des concentrations en HAP, ne montrent pas de différence significative en ce qui concerne l'activité PROD.

Plusieurs hypothèses peuvent expliquer la faible relation entre l'activité et la concentration en polluants, principalement pour le site 1 :

la spécificité des dosages effectués et la multiplicité des types de polluants susceptibles d'être biodisponibles, la présence d'inhibiteurs des activités P450 dépendantes, et la concentration des différentes molécules considérées comme inductrices, présentes dans les organes.

En effet, premièrement, toutes les molécules volatiles biodisponibles n'ont pas été prises en compte par les dosages dans les organes alors qu'elles peuvent aussi moduler les activités enzymatiques, soit en les inhibant, soit en les induisant. Seules les molécules organiques coplanaires ont été suivies dans les organes parce qu'elles représentent le plus fort risque potentiel du fait de leur facilité à former des métabolites capables de provoquer à terme des effets délétères (cancers, neurotoxicité) pour les organismes (Erickson, 1997 ; White *et al.*, 1997). Or, certaines molécules, non dosées et potentiellement présentes en très faible concentration, comme certains PCB non coplanaires et les dioxines, par exemple, peuvent être de puissants inducteurs des activités PROD et/ou EROD.

Deuxièmement, le fluoranthène composé de deux cycles, est relativement volatil. Il est de surcroît, considéré comme étant capable d'inhiber le cytochrome P450 1A, provoquant ainsi une diminution de l'activité EROD (Willett *et al.*, 1998). Ainsi, dans notre étude, chez les rats présentant de fortes concentrations en HAP, le fluoranthène représente souvent une part non négligeable des HAP totaux quel que soit le site.

Enfin, parmi les polluants suivis, les concentrations des composés les plus inducteurs comme certains HAP (benzo(a)pyrène, dibenzo(a,h)anthracène...), sont relativement faibles chez la plupart des rats exposés sur les sols du site 1 expliquant aussi les plus faibles activités enzymatiques. Dans le cas du site 1, les faibles activités et la perte des différences entre les groupes quel que soit l'organe reflètent donc la pauvreté en HAP et en PCB inducteurs dans les sols alors que les différences restent significatives au niveau hépatique dans le cas du site 2 où les concentrations en HAP sont relativement plus élevées.

Le fait le plus troublant reste tout de même que les teneurs dans les organes des animaux exposés ne sont pas en accord avec les concentrations présentes dans les sols. Effectivement, les rats exposés à un sol comme le sol S3, riche en HAP et en PCB, présentent des concentrations hépatiques significativement plus faibles que les animaux exposés au sol S1 alors que ce dernier est nettement moins contaminé par ces polluants. Par contre, la biodisponibilité en HAP au niveau pulmonaire est plus importante pour les rats exposés au sol S3 que pour ceux placés sur le sol S2. Contrairement à ce qui avait pu être montré auparavant, la granulométrie et la quantité de matière organique totale ne semblent pas ici, pouvoir à elles seules expliquer ces différences (Billeret *et al.*, 2000). Effectivement, la structure des sols de décharge s'est avérée très homogène alors que, dans l'étude précédente, les sols testés étaient assez hétérogènes. De plus, les quantités d'argile et de matière organique présentes dans les sols de décharge sont respectivement quatre à dix fois plus faibles que celles du sol de cokerie testé dans l'étude antérieure.

D'un autre côté, le sol S1 correspond au sol de couverture finale, donc à un sol peut-être pas encore (ou insuffisamment) stabilisé. La forte biodisponibilité des polluants, malgré des concentrations plus faibles, pourrait être ainsi expliquée. Il apparaît donc, que lorsqu'une décharge est recouverte, la pollution est effectivement diminuée sans pour autant que le risque ne soit totalement éliminé.

Les sols du site 2, dont les concentrations sont notables, conduisent à des concentrations hépatiques plus importantes chez les animaux exposés que celles des rats exposés aux sols du site 1, malgré des quantités en matière organique totale deux fois plus fortes. Toutefois, le rapport des concentrations en HAP dans les organes et dans les sols est de un pour un dans le cas du site 1 alors qu'il est de 1 pour 50 dans le cas du site 2. Globalement, la biodisponibilité des polluants organiques est donc plus faible dans le site 1 que dans le site 2, et la quantité de matière organique pourrait avoir tout de même un rôle dans ces

variations. L'importance de ce rôle paraît être atténué dans notre étude du fait de la pauvreté des sols en polluants organiques et en constituants connus pour fixer les HAP et les PCB (argile et matière organique). Pour réellement évaluer le risque représenté par différents sols pollués, il faut donc tenir compte de leur biodisponibilité et pas seulement des concentrations en polluants présents dans les sols.

La comparaison des organes (foies, poumons), révèle aussi une variabilité de la biodisponibilité quel que soit le site considéré. En effet, les concentrations pulmonaires en HAP des animaux exposés aux sols S2 ou SE5 sont significativement plus fortes que les concentrations hépatiques correspondantes. A l'opposé, les teneurs pulmonaires en HAP des rats exposés aux sols S3 ou SE2 sont significativement plus faibles que celles retrouvées dans les foies. Enfin, si l'on compare les deux sites, aucune différence significative entre les concentrations hépatiques et pulmonaires en HAP n'a été mise en évidence, alors que la distribution hépatique en PCB est distincte d'un site à l'autre. Par ailleurs, l'activité EROD reste du même ordre dans les foies et les poumons alors que l'activité PROD est dix à quinze fois plus forte dans les poumons quel que soit le site. Globalement, l'activité EROD hépatique et l'activité PROD pulmonaire sont significativement différentes entre les deux sites.

La variabilité de la biodisponibilité exprimée par les activités révèle donc la présence de molécules inductrices du cytochrome P450, vraisemblablement volatiles et non dosées dans les organes et dont la voie préférentielle d'entrée dans l'organisme serait la voie respiratoire. Effectivement, seul le site 2 comporte des essences et la concentration en COV y est globalement plus forte par rapport à celle du site 1. De plus, Nakajima *et al.* (1992) ont rapporté que les cytochromes P450 1A et 2B entraînent en jeu dans le métabolisme du benzène, du toluène et du trichloroéthylène. Par la suite, Wang *et al.* (1996) ont trouvé que ces trois molécules induisaient l'activité PROD (CYP2B) 14, 5 et 2.5 fois respectivement.

Les lésions pulmonaires modérées, de nature inflammatoire sont vraisemblablement à l'origine de l'atélectasie et des emphysèmes observés. L'emphysème pulmonaire correspond à une distension des poumons, causée par une dilatation des alvéoles avec rupture des parois alvéolaires, entraînant ou non des fuites d'air dans les espaces interstitiels (Radostits *et al.*, 1994). En outre, l'emphysème est toujours un phénomène secondaire et son apparition peut être provoquée chez presque toutes les espèces par une intoxication aiguë par certains produits chimiques comme les acides, certains composés chlorés, et/ou certains aldéhydes, par une inhalation massive de chlore et, par la présence de certains agents pathogènes bactériens (*Pasteurella sp.*), ou mycologiques (*Aspergillus sp.*). Chez les individus exposés, et quel que soit le site, les inflammations respiratoires modérées mises en évidence par les analyses histologiques pratiquées sur les poumons et les trachées des rats

sont en faveur de l'hypothèse du passage des COV par inhalation. Cependant, l'action de certains agents pathogènes présents dans les sols de décharges ne peut être totalement écartée. La présence de ces lésions est à prendre sérieusement en considération, et leur importance est illustrée par le fait que de nombreux auteurs ont déjà exprimé leurs difficultés à différencier, chez l'homme, la part d'inquiétude provoquée par la présence d'une décharge à proximité et/ou d'odeurs et, les symptômes respiratoires visibles au sein des populations présentes au voisinage de ces centres de stockage (Vrijheid, 2000).

Enfin, l'étude de génotoxicité a été effectuée uniquement pour les sols S1, S2 et S5 du site 1. De nombreux xénobiotiques (métaux, HAP, COV) peuvent être à l'origine d'effets clastogènes. Et il est probable que plusieurs familles de polluants agissent en même temps (Anderson *et al.*, 1998). Dans le cas des trois sols testés (S1, S2 et S5), le sol, S2, comporte les concentrations les plus élevées en HAP (245.3 ng/g de sol) et en COV (265.0 µg/g), composés présentant un pouvoir clastogène. Ce sol correspond au sol où la fréquence des lésions nucléaires est la plus élevée. De plus, les concentrations rénales en métaux susceptibles de provoquer des cassures de l'ADN, comme le plomb et le chrome, sont du même ordre de grandeur chez les animaux exposés et chez les témoins. L'origine des cassures semblerait alors due en partie aux HAP (les PCB n'étant pas considérés comme clastogènes, Belpaeme *et al.*, 1996) et/ou éventuellement aussi à la présence de certains COV.

Les fréquences des comètes montrent une hétérogénéité des sols quant aux dangers potentiels que représentent les différents polluants présents puisque les rats exposés au sol S2 présentaient 100 % de noyaux lésés dès le 1^{er} jour d'exposition alors que les animaux mis au contact du sol S5 n'ont jamais présenté de lésions. L'apparition des comètes est plus tardive dans le cas des animaux exposés au sol S1 que dans le cas des rats exposés au sol S2. L'étude des moments mathématiques (longueur queue/quantité ADN queue) des comètes calculés chez les animaux exposés à même le sol, met en évidence une tendance à la diminution de l'effet clastogène au cours du temps ainsi qu'une action différente des polluants selon le sol. En effet, les animaux exposés au sol S1 ont subi des lésions bien plus importantes et moins fréquentes dans un premier temps (J1) que les animaux exposés au sol S2. En fait, les polluants volatils comme les COV sont très rapidement éliminés de l'enceinte d'exposition, ce qui réduit d'autant les effets possibles au cours du temps. De plus, les COV sont très diversifiés et possèdent des modes d'action variés. Certains sont connus pour être clastogènes, comme le benzène (Anderson *et al.*, 1995), alors que d'autres comme, le toluène sont considérés comme ne provoquant pas de cassure de l'ADN appréciable par l'essai comète (Plappert *et al.*, 1994). De plus, aucune étude comparant les formes des comètes (moment) n'a jamais été effectuée à notre connaissance. Il semble probable que certains polluants sont capables de casser l'ADN en créant de petits fragments

qui, au cours de l'électrophorèse, migrent davantage que les gros fragments, ce qui expliquerait en partie l'hétérogénéité des types de comètes observés sur les différents sols. Par ailleurs, chaque rat met en place ses propres systèmes de réparation de l'ADN, ce qui pourrait aussi influencer sur la présence des comètes (nombre et forme). D'autre part, la surface du sol en contact avec l'air s'appauvrit rapidement. Le comportement du rat peut participer activement à la biodisponibilité de ces polluants. En effet, certains rats sont calmes et restent sans bouger, ou presque, et ne brasse que modérément le sol alors que les rats dominants ou joueurs, plus turbulents s'exposent à de plus grandes quantités de polluants en augmentant leur libération. Tous ces phénomènes influenceraient rapidement les effets dus aux polluants et, bien qu'il semble que les polluants volatils soient à l'origine de ces effets, il est difficile d'estimer leur impact réel par rapport aux autres, quantitativement et qualitativement.

Pour tenter d'établir si les COV prennent réellement part à la formation des cassures des noyaux de lymphocytes, deux rats ont été exposés a posteriori, sans contact réel, au sol S2 ; mais les résultats, issus de cette exposition, sont difficilement interprétables. En effet, seul un rat présente 100 % de lésions à J1 (uniquement) alors que le second présente un pourcentage de lésions négligeable (J1 = 5 %). Une confirmation de ces résultats aurait été nécessaire grâce à une nouvelle exposition, mais la difficulté d'obtenir en quantité suffisante un prélèvement de sol S2, identique à celui ayant servi pour les expositions antérieures, n'a pas permis cette vérification et d'expliquer le brassage du sol.

D. Discussion sur la méthodologie employée

1. Métrologie chimique

1.1. Les mesures des polluants atmosphériques chimiques

Le dosage à la source était destiné à effectuer un balayage de l'ensemble des polluants en différents points, afin de connaître les polluants les plus présents et/ou les plus toxiques susceptibles de se retrouver dans l'ambiance d'un CET. Dans un deuxième temps, des analyses de ces polluants ont été effectuées pour caractériser :

- l'ambiance générale du site et les niveaux d'exposition des salariés,
- les retombées environnementales.

Cette démarche nous conduit à faire des choix en terme de stratégie d'échantillonnage et d'analyses.

(1) A la source

Dans le cadre de ce programme, il a été jugé préférable d'analyser toutes les sources possibles (torchères, drains, fissures,...) au détriment de la représentativité dans le temps des prélèvements (1 seul par "point", contrairement à certaines études publiées qui ont privilégié la multiplication des prélèvements à un même emplacement et réduit le nombre d'emplacement). Par ailleurs, les sources sont probablement beaucoup moins variantes que les analyses d'ambiance ou dans l'environnement des riverains, qui, elles, sont fortement soumises aux conditions météorologiques.

L'analyse des COV a été faite dans le but d'être le plus exhaustif possible afin de pouvoir détecter précisément les produits pouvant être toxiques. En effet, nous disposons de très peu de données permettant de juger, par la seule bibliographie, des dangers existants. Pour cela, le partenariat avec une équipe maîtrisant parfaitement ce types d'analyses a été décidé.

(2) Dans l'ambiance générale du site

Les mesures d'ambiance initialement prévues concernaient uniquement les postes de travail, à la proximité immédiate des travailleurs ou en des points particuliers du site. Ces mesures n'ont pas pour but de refléter l'ambiance moyenne du site, mais de caractériser divers lieux spécifiques soit par l'existence d'une source particulière, soit par la présence de salariés réalisant des tâches de travail bien précises. Elles ont donc été complétées en cours de

programme par des mesures supplémentaires positionnées en d'autres points du site de manière à cerner au mieux l'ambiance générale du site.

Le choix des polluants suivis dans l'ambiance des sites s'est fait en grande partie grâce à la discussion des résultats obtenus suite aux campagnes de prélèvements à la source.

(3) Dans l'environnement des riverains

Nos discussions ont abouti à l'abandon d'une stratégie de prélèvements basée sur 10 prélèvements ponctuels positionnés autour du site, pour s'orienter vers des prélèvements ciblés sur le mouvement du panache des gaz émis par le site. Cette stratégie est destinée à mesurer l'impact environnemental au moment et aux lieux où les retombées sont les plus importantes. Les mesures concernées ont été effectuées sur une période de 1 à 2 heures après vérification par chromatographe portable de la présence et de la position du panache.

En complément, nous fournissons en annexe un certain nombre de mesures portant sur :

- des valeurs moyennes mesurées sur des périodes plus longues (deux semaines environ) (seulement sur le site 2),
- des pics de concentrations relevés sur des périodes très courtes (quelques secondes) aux moments et aux lieux de retombées du panache.

Ces trois types de mesures effectuées sur des durées et à des périodes complémentaires (périodes de 1 à 2 heures pendant les retombées du panache, périodes très courtes avec pics de concentrations, et mesures moyennes sur 2 semaines) permettent d'approcher au mieux les différents niveaux de concentration auxquels sont soumises les populations.

Dans le cadre d'une évaluation des risques sanitaires éventuelle future, ces différents niveaux pourront être exploités en vue d'une optimisation de l'évaluation des niveaux d'exposition.

Plusieurs questions ont par ailleurs été débattues :

- 1) Questions sur les variations des seuils de détection

Les seuils de détection des appareils utilisés pour analyser les ambiances de travail sont conformes aux normes en vigueur en milieu de travail, dont l'objectif est de se situer par rapport aux valeurs de référence en milieu professionnel (VME, VLE). Ils sont parfois supérieurs à ceux des appareils de mesure qui ont été utilisés pour analyser les concentrations à l'émission et dans le milieu environnant.

Il nous est donc parfois difficile d'interpréter les résultats obtenus pour certains polluants (ex : composés halogénés), pour lesquels il est difficile de suivre la décroissance des niveaux entre la source, l'ambiance et l'environnement des riverains. Dans la méthodologie

de surveillance proposée à l'issue de l'étude, il sera donc important de sélectionner des techniques identiques et performantes au niveau de chacun des points de mesure.

- 2) Questions sur la représentativité des mesures

D'une façon générale, et cela encore plus pour les salariés, il existe un manque de représentativité dans le temps. En effet, même en intervenant sur une semaine de prélèvements, il n'est pas toujours évident d'avoir une réelle estimation de l'exposition, surtout pour les postes dont l'activité est variable (agents polyvalents, conducteurs de BTP...). Il faudrait pouvoir multiplier le nombre d'échantillons. En particulier, il serait intéressant de réaliser des mesures lors de tâches spécifiques (creusement de nouveaux puits, travaux de curage, réparation de couverture...).

Enfin, les analyses effectuées n'ont pas pu prendre en compte les facteurs climatologiques, le projet initial proposant au minimum deux campagnes de mesures complètes à deux saisons différentes n'ayant pas pu être réalisé.

- 3) Questions sur les dosages différents pratiqués pour certains composés chimiques entre l'analyse à la source et l'analyse aux postes de travail

- le méthanol : il n'a pas été dosé à la source (car il n'est pas pris en compte par la technique de balayage des COV utilisée par la Société Europoll) et a été dosé aux postes de travail (méthode d'analyse spécifique mise œuvre par l'Institut de Médecine du Travail de Grenoble chargé des analyses "travailleurs"),

- les HAP : ils ont été dosés sur la phase gazeuse à la source au même titre que les autres COV, et sur la phase particulaire et aux postes de travail selon les techniques classiquement pratiquées en surveillance des ambiances de travail.

Cette différence ne pose pas de problèmes majeurs dans la mesure où les dosages à la source avaient surtout pour objectif d'aider à l'identification de polluants que l'on aurait "oublié" au départ de l'étude pour les dosages au niveau de l'ambiance, et où les mesures complètes et pertinentes ont bien été réalisées au niveau de cette ambiance :

- le méthanol y a bien été dosé,

- les HAP lourds ont fait l'objet d'une mesure sur la fraction particulaire, mesure la plus pertinente dans l'ambiance compte tenu de leur faible volatilité,

les HAP volatils (naphtalène...) ont également été dosés dans l'ambiance (sur les points d'ambiance complémentaires ajoutés en cours d'étude) dans le cadre du balayage des COV.

- 4) Questions sur les niveaux d'exposition des témoins

Compte tenu des niveaux d'exposition assez faibles observés aux postes de travail, il a semblé indispensable d'avoir des données concernant la population de "témoins", pour faciliter l'interprétation des résultats cliniques et biologiques. Pour cela, nous avons proposé en cours d'étude de compléter notre projet par une étude réalisée au niveau de quatre postes de travail caractéristiques de chaque entreprise ayant fourni les groupes de salariés "témoins".

Deux prélèvements seulement ont été effectués sur chacun des postes. Les toxiques sélectionnés pour l'analyse sont ceux qui ont été retenus comme particulièrement pertinents et/ou caractéristiques des émissions à partir des ordures ménagères ou des émissions à partir d'autres sources de la décharge (véhicules diesel) ou pouvant au contraire être considérés comme interférents (solvants ou peintures utilisés lors d'opérations de maintenance, émissions des véhicules à essences provenant de la proximité de l'autoroute) : particules totales et alvéolaires, HAP, métaux (Pb, Mn), composés organiques volatils.

En outre, en application de la méthodologie initialement définie lors de la même étude, a été également réalisée une surveillance biologique des salariés, portant sur le dosage du plomb sanguin, le dosage urinaire de certains métaux pouvant servir de traceurs des déchets (Mn, Hg).

- 5) Questions sur les paramètres traceurs

Suite aux mesures à la source et à une discussion au sein du groupe sur la teneur et la toxicité des polluants identifiés, un certain nombre de familles de polluants ont été retenus pour le dosage dans l'ambiance des sites.

Sur la base de ces mesures en ambiance, il a été envisagé au cours du programme de sélectionner quelques paramètres traceurs à doser dans l'environnement des riverains pour évaluer l'exposition des populations voisines des sites. Après discussion, il nous est toutefois apparu nécessaire de garder la plupart des familles de polluants concernées pour le dosage dans l'environnement des riverains des sites afin de valider la pertinence de cette approche avant de la proposer pour la méthodologie de surveillance des sites.

2. Mesures microbiologiques

Du fait des techniques de mesures actuellement disponibles et validées, les échantillons d'air sont nécessairement de courte durée (de l'ordre de la minute). Les mesures rendent donc difficilement compte de l'exposition moyenne des sujets. En revanche, la méthode permet de détecter des pics qui n'apparaîtraient pas sur une mesure intégrée dans le temps, alors que des pics d'exposition peuvent avoir une incidence sur l'apparition de symptômes notamment immuno-allergiques.

Il est donc nécessaire de répéter les prélèvements pour détecter ces éventuels pics de concentration.

Par ailleurs du fait de l'influence déterminante des éléments extérieurs (vents, activité sur le site...), le choix de l'emplacement des points de mesure par rapport à ces éléments est primordial.

La stratégie d'échantillonnage dans le temps et dans l'espace doit donc être particulièrement étudiée avant la réalisation des mesures, d'autant plus que la technique analytique qui s'ensuit est lourde et complexe et donc coûteuse.

Elle doit faire partie intégrante de l'interprétation des données.

Les milieux de culture sont adaptés aux moisissures et germes de l'environnement. Toutefois il peut se produire qu'une espèce envahissante par nature masque les autres colonies et empêche un dénombrement et une identification corrects. L'utilisation de plusieurs milieux de culture et là encore la répétition des mesures sont donc nécessaires.

Les durées de prélèvement sont nécessairement brèves à cause des concentrations importantes et du débit fixe, ce qui augmente l'incertitude de la mesure. Si les milieux de culture sont saturés par un trop grand nombre de colonies, les concentrations réelles sont sous-évaluées. Or les niveaux étant inconnus a priori, ceci implique de pratiquer différents échantillonnages de durées différentes, ce qui multiplie encore le nombre de mesures.

Seuls les microorganismes viables et cultivables sont recherchés par cette technique, alors que les microorganismes totaux (viables et non viables) sont susceptibles d'engendrer des manifestations pathologiques (notamment immuno-allergiques et toxiques).

Les techniques permettant de mesurer les microorganismes totaux (épifluorescence notamment) sont encore à l'état de recherche et ne sont pas encore disponibles en routine. De plus elles ne permettent pas l'identification des espèces (indispensable dans l'interprétation). En revanche ces techniques admettent des durées de prélèvement plus longues, ce qui permettrait d'obtenir des données plus intégrées dans le temps.

L'association de ces techniques aux méthodes "viables" utilisées pour l'instant serait donc un complément d'information intéressant.

Les mesures d'endotoxines (composant des parois de bactéries à Gram négatif) ont été associées dans cette étude, ce qui est une façon d'approcher la biocontamination liée aux microorganismes autres que viables uniquement.

3. Etude de l'impact sanitaire chez l'homme

3.1. Puissance de l'étude

Nous sommes confrontés au problème du petit nombre de sujets ayant participé. Sur les deux sites réunis, un total de 22 salariés a pu être intégré à l'étude, appariés à 22 salariés issus d'autres activités. De ce fait, la puissance d'analyse actuelle de l'étude est faible. En particulier, la non-participation de 9 salariés est dommageable pour certains symptômes dont l'augmentation est à la limite de la significativité ; de même, leur participation aurait peut-être permis de réaliser une analyse des facteurs confondants plus fine. Par exemple, ce petit nombre de salariés ne permet pas d'étudier les aspects d'impact sur la santé en fonction des postes de travail et des expositions mesurées. Seule une étude épidémiologique réunissant la majeure partie du personnel des C.E.T 2 français permettrait de tels niveaux d'analyse.

Toutefois, avec ces 22 salariés, nous mettons en évidence certains troubles présents de façon significativement plus importante chez les salariés des CET , notamment en ce qui concerne l'existence de symptomatologie pulmonaire, muqueuse et cutanée.

La revue de la littérature montre que des études utilisant les mêmes tests psychomoteurs ont mis en évidence des résultats significativement différents entre des groupes « exposés » et « non exposés » alors que ces groupes ne comprenaient que 15 à 25 salariés par groupe (études sur le plomb, le manganèse) (Anger). Dans la mesure où les niveaux de pollution aux postes de travail étaient inconnus, il nous était difficile d'évaluer a priori la puissance de ces tests.

3.2. Choix d'une méthodologie épidémiologique transversale

L'utilisation d'un protocole épidémiologique de type transversal est assez classique en épidémiologie professionnelle. Il est notamment facilité par l'existence du suivi médical annuel. Il s'agit d'études relativement légères, rapides à exécuter. Ces études sont particulièrement adaptées à l'étude des pathologies aiguës ou ayant un temps de latence bref. Nous savons cependant qu'elles présentent plusieurs limites (Chouanière-Briançon, 1994 ; Poulsen, 1995) :

- elles sont sensibles au biais du « travailleur sain » : c'est à dire que lors d'une étude réalisée sur une période courte, les salariés les plus fragiles, ou qui ne supportent pas les conditions de travail ont pu quitter l'entreprise et ne seront donc pas pris en compte dans l'étude qui n'examinera alors que des gens en bonne santé ; ce biais peut avoir une ampleur plus ou moins importante et de façon différentielle entre le groupe « exposés » et le groupe « témoins » si les conditions de travail sont plus dures d'un côté que de l'autre.
- elles ne permettent pas la prise en compte des expositions du passé (sauf si l'entreprise a des archives de données d'exposition aux postes de travail). Les expositions mesurées sont les expositions actuelles et ne permettront pas forcément d'expliquer une pathologie détectée lors de l'étude.
- elles ne permettent pas de mesurer l'incidence d'une pathologie, mais seulement la prévalence.

Cependant en dépit de leurs limitations, les études transversales ont apporté de nombreux éléments pour une meilleure connaissance des milieux de travail, notamment dans le secteur des déchets (collecteurs d'ordures ménagères) où elles sont pratiquement les seules à avoir été réalisées. Par ailleurs, quand un secteur d'activité professionnelle est méconnu, elles constituent souvent des études de première intention qui permettent de mettre en place par la suite des protocoles plus ciblés. Elles sont souvent le préalable d'études longitudinales qui permettent d'échapper aux limites citées ci-dessus (Chouanière-Briançon, 1994).

Enfin, dans le cadre de notre étude, l'objectif était de rechercher des altérations minimales ayant un temps de latence peu important, sans retentissement clinique patent et pour lequel le biais du travailleur sain pouvait être moindre. Il ne s'agissait pas de rechercher des pathologies de type cancéreuses par exemple, pour lesquelles la méthodologie n'était pas adaptée.

3.3. Représentativité des salariés

Les salariés suivis représentent la totalité des travailleurs du site 1, et 2/3 de ceux du site 2. Il est sûr que les salariés du site 2 qui ont refusé de participer peuvent être différents des autres (moins concernés, moins anxieux ... ou l'inverse); mais ils peuvent aussi avoir refusé pour des raisons totalement indépendantes de l'étude. D'une façon générale, la quasi-totalité des salariés présents sur l'alvéole, et les salariés de la station d'épuration (participation de 3 salariés sur 3 + 1 salarié au pompage du lixiviat) ont participé à l'étude : nous avons donc une bonne représentativité de ces tâches. Par contre, les postes de réception sont certainement mal représentés (2/5) ; ils sont cependant moins directement au contact des

déchets en dépit d'une pollution réelle de leur poste de travail par les microorganismes ou les poussières).

3.4. Population témoin

L'autre question concerne le choix de la population de « témoins » non exposés aux polluants chimiques ou microbiologiques susceptibles d'être présents sur un CET, et qui proviennent de la même catégorie socio-professionnelle. Il est difficile d'exclure toute éventualité d'exposition professionnelle dans certaines activités qui, à priori, en semblent exemptes. Dans notre étude, nous avons effectivement été confrontés chez les témoins à une exposition au plomb qui n'avait pas été suspectée a priori par nous ou par le médecin du travail. L'exposition des deux groupes de salariés témoins a été également mesurée.

Par ailleurs, il n'est pas toujours facile d'obtenir un échantillon de personnes assez important pour faire un tirage au sort, le choix s'impose souvent de lui-même à cause des contraintes d'appariement et d'acceptation ce qui peut entraîner un biais de sélection de ce groupe témoin : soit qu'il soit très sensible aux questions de santé, soit qu'il se sente malade ; dans les deux cas, il semble que les symptômes rapportés seraient alors surdimensionnés, ce qui aurait pour tendance de diminuer les différences entre les deux groupes.

Une solution alternative aurait été de comparer 2 filières d'activité industrielle englobant l'ensemble du personnel (l'analyse se chargeant de prendre en compte les facteurs confondants (âge, habitudes de vie...) : l'étude aurait cherché les différences entre les deux populations, chacune ayant ses expositions propres documentées comme telles.

3.5. Choix des examens réalisés

La méthodologie employée a permis de tester la faisabilité et la pertinence de l'utilisation de certains examens dans le cadre d'études épidémiologiques en milieu de travail. Le fait de standardiser les examens subis par les salariés, permet une comparaison des résultats plus fines. En effet, les mêmes personnes ayant fait passer les tests à chaque salarié (« exposé » comme « témoins ») donne une plus grande reproductibilité des résultats. La méthode serait tout à fait adaptable pour un suivi de plus grande ampleur.

L'introduction d'une batterie de tests neuro-psychologiques est originale. Cette approche nous avait paru nécessaire dans la mesure où il pouvait y avoir d'après les rares publications, une certaine pollution des atmosphères de travail des CET par des neurotoxiques (comme les solvants chlorés ou certains métaux lourds). Si elle semblait lourde au départ, elle s'avère simple à mettre en place. Les tests ont été choisis après revue de la littérature (Anger, 1990,1994) avec l'aide d'un psychologue en milieu professionnel et après discussion avec un épidémiologiste spécialisé dans le domaine neurologique, en fonction de plusieurs critères : - rapidité de passage, - simplicité de passation sans un

spécialiste (le spécialiste est nécessaire au moment de l'interprétation) , - reproductibilité, - sensibilité (ils doivent permettre la mise en évidence de troubles neurologiques minimes que pourraient occasionner une exposition faible mais chronique à des polluants). Il serait parfaitement possible de les intégrer dans le cadre d'un suivi médical obligatoire, si des mesures d'expositions faisaient apparaître la présence de composés à toxicité neurologique. Leur utilisation au cours d'un suivi longitudinal serait riche d'enseignement, chaque salarié devenant son propre témoin. Cependant Chouanière – Briançon et Hémon (Chouanière – Briançon 1994) soulignent le fait qu'il peut exister un effet de masque (ou de compensation) lorsque certains tests de comportement simple (comme la dextérité manuelle : Purdue) sont appliqués à des populations de salariés plus manuels, ce qui peut entraîner un biais qui correspond à un phénomène d'apprentissage "métier" rapide permettant de compenser jusqu'à un certain niveau une déficience de la fonction testée.

En ce qui concerne l'EFR, la méthodologie de réalisation de l'examen a suivi les recommandations faites par les spécialistes (Perdrix, 1994 ; Gardner , 1987) : - utilisation du même appareil, - étalonnage tous les matins, - réalisation de 3 essais par salarié , la meilleure courbe débit-volume étant gardée pour l'interprétation, respect des crières d'acceptation des courbes.

3.6. Mode de recueil des informations

Il aurait été souhaitable de faire réaliser les diverses épreuves cliniques ou para-cliniques par des enquêteurs « aveugles », c'est à dire ne connaissant pas le statut d'exposition des personnes examinées. Ce fait a pu introduire un certain biais d'information par une attitude différente de l'enquêteur face à la personne suivant qu'il la savait « exposée » ou « non exposée ». Cette méthodologie nous a été imposée par la nécessité d'être acceptée par les chefs d'entreprise (notamment dans les entreprises témoins), afin de perdre le moins de temps possible et de désorganiser le moins possible le fonctionnement des entreprises. Nous pensons cependant que ce biais est minime compte-tenu des examens très standardisés que nous avons choisis, et de la formation que nous avons donnée aux enquêteurs.

4. Etudes des bioindicateurs végétaux et animaux

Comme nous l'avons précisé auparavant, il était intéressant d'introduire dans cette étude une approche faisant intervenir des bioindicateurs déjà éprouvés dans la détection de la pollution atmosphérique et permettant d'en apprécier l'impact sur le site même des décharges en apportant des informations complémentaires. En effet, les lichens sont des indicateurs d'exposition aux polluants émis dans l'atmosphère alors que les rats peuvent jouer le double rôle d'indicateurs d'exposition et d'effets, les voies d'exposition couvrant à la fois la voie aérienne et les voies par contact et ingestion.

4.1. Apport du suivi des lichens

L'intégration du suivi des lichens a permis d'apporter des compléments sur la détection des pollutions atmosphériques et de confirmer les premiers résultats. L'étude conduite au préalable sur le site 3 a donné la possibilité de déceler la présence forte de certains métaux, en l'occurrence le manganèse, dans les lichens présents sur le site. Des analyses de différents éléments ont été réalisées (métaux, anions, azote etc...). mais ce sont les analyses de métaux qui ont apporté les résultats les plus démonstratifs dans le cas des lichens pour cette étude.

Les lichens peuvent donc être utilisés comme bioaccumulateurs pour le suivi des métaux sur les sites de décharge.

Pour la réalisation des travaux conduits au cours de l'étude, nous avons appliqué deux méthodologies en fonction des sites retenus : site avec lichens (site 3) et sites sans lichens (sites 1 et 2).

Sur site avec lichens : c'est le cas le plus aisé, on peut réaliser les prélèvements de lichens dans les différentes stations où ils sont présents et comparer les teneurs avec celles d'échantillons de même espèce mais se développant dans des zones hors site et loin de toute source de contamination. Il s'agit d'une technique très fiable et qui peut fournir rapidement l'estimation d'une pollution globale en un ou plusieurs métaux d'un site par l'évaluation des concentrations dans les lichens.

Cependant, elle présente deux inconvénients :

- l'expérimentateur n'a pas le choix des localisations exactes des stations à surveiller. Or il s'avère qu'une décharge est un site très hétérogène avec des zones plus sensibles que d'autres,

- par un suivi régulier des analyses par répétitivité, on risque d'épuiser rapidement les stations à lichens, la croissance de ces végétaux étant très lente et ne permettant pas le remplacement rapide des thalles prélevés.

Sur site sans lichens : nous avons mis en oeuvre la technique des transplants qui a apporté aussi des résultats pertinents.

C'est une technique plus délicate à utiliser car elle nécessite des précautions préalables :

- choix de l'espèce (ou des espèces à implanter),
- choix du lieu de prélèvement,
- préparation des transplants (nous avons choisi de prélever les lichens avec leur support d'origine, le mieux étant le prélèvement de branchettes recouvertes de thalles de différentes tailles),
- implantation dans le site sur des supports naturels (arbres ou piquets de bois).

Cette technique des transplantations est une technique qui a fait ses preuves en lichénologie. Dans les premiers travaux datant de 1961 Brodo a utilisé des transplants de *Parmelia caperata* pour étudier à Long Island (New-York) les dégâts morphologiques causés par la pollution acide. Depuis, de nombreuses recherches se sont basées sur cette technique pour des études concernant différents aspects de la biologie des lichens : la croissance (McCune et al., 1996; Webster & Brown, 1997), la recolonisation (Scheidegger, 1995), l'effet de l'habitat sur la taxonomie (Richardson, 1967).

Plusieurs types de pollution ont pu être suivis grâce aux transplantations lichéniques, pollution industrielle (Steinnes, 1976; Evans & Hutchinson, 1996; Garty, 1993), pollution radioactive (Jeran et al., 1995), pollution urbaine (Garty et al., 1996; Zambrano & Nash III, 2000), pour suivre la bioaccumulation de métaux essentiellement, mais aussi, depuis quelques années seulement, pour des études concernant les réponses physiologiques des lichens (Garty, 1993; Garty et al., 1997; Silberstein et al., 1996 a et b).

Le plus souvent ce sont les lichens à thalle fruticuleux qui sont utilisés (*Usnea*, *Ramalina*, *Cladonia*) ou des lichens à thalle foliacé (*Peltigera*, *Parmelia caperata*, *Hypogymnia physodes*, *Lobaria pulmonaria*) mais *Xanthoria parietina* corticole a été encore peu employé pour suivre la bioaccumulation des métaux (Bartok & Osvath, 1990; Bartok et al., 1992).

Quelle que soit la méthode suivie (lichens in situ ou transplantation), le choix des stations faisant l'objet de prélèvement ou de transplantation doit être basé sur l'emplacement des zones sensibles du site et la direction des vents. L'idéal serait de pouvoir multiplier les

analyses par station afin d'en tirer des résultats statistiquement interprétables (ce qui n'a pas été possible dans la présente étude en fonction du coût des analyses).

Dans les deux cas, il est important de comparer les résultats obtenus avec les teneurs des mêmes espèces de lichens prélevés hors site dans la région. Des comparaisons doivent être réalisées également avec les références de la littérature (dans la mesure où elles existent, ce qui n'est pas encore le cas chez les lichens pour tous les métaux) ou avec des lichens à très faibles teneurs.

4.2. Apport de l'expérimentation animale

Le mode d'exposition des animaux aux sols testés, doit impérativement tenir compte des résultats de la métrologie. Dans cette étude, compte tenu des faibles concentrations de polluants mesurées dans les sols, il a été décidé d'exposer les animaux en utilisant le sol des centres de stockage de déchets comme litière. Avec ce type d'exposition, la voie de contamination (ingestion, contact, inhalation) préférentielle est difficile à mettre en évidence, mais contrairement à une exposition sans contact direct avec le sol, elle offre l'avantage de maximaliser la réponse de l'organisme et nous permet ainsi de savoir si une exposition au-dessus du sol est nécessaire. Par exemple, compte tenu de la faible induction des activités enzymatiques, une exposition sans contact avec le sol n'aurait pas permis de mettre en évidence de différence entre les lots d'une part et les témoins d'autre part, mais a posteriori, elle a été notamment utile dans le cadre de l'étude de l'effet clastogène.

Par ailleurs, l'activité EROD est principalement induite par les inducteurs du cytochrome P450 1A que sont les HAP (la majorité), les PCB coplanaires ou par d'autres molécules de structure plane. L'activité PROD est spécifique de l'isoforme 2B, induite par les composés de type phénobarbital, les PCB non coplanaires et certains COV. De plus, au cours d'expériences antérieures (Fouchécourt, 1996), des relations linéaires ont été mises en évidence entre les concentrations en HAP et PCB et les activités enzymatiques P450 dépendantes (foies, poumons). Il peut donc paraître redondant d'effectuer les dosages en polluants organiques et la mesure des activités EROD et PROD. En fait, la mesure de ces activités intègre globalement la réponse de l'organisme vis-à-vis des polluants présents qu'ils soient inducteurs (Benzo(a)pyrène) ou inhibiteurs (fluoranthène ; métaux). Ces deux types de mesures sont donc complémentaires et le dosage des polluants dans les sols et dans les organismes peut permettre d'apporter des explications quant à la biodisponibilité des différents polluants. C'est pourquoi il a paru cohérent d'utiliser les regroupements, définis après l'étude statistique, des concentrations en polluants organiques (HAP, PCB) dans les organes. Enfin, l'activité BROD (benzoxyrésorufine O-dééthylase) envisagée au début de

l'étude n'a pas été effectuée sur les échantillons pulmonaires et hépatiques car cette activité, contrairement aux autres, n'est pas spécifique d'une isoforme de cytochrome P450. Elle ne reflète qu'en partie l'induction des cytochromes 1A et 2B. Il aurait donc été, d'une part, difficile d'interpréter les résultats, et d'autre part, cette activité n'aurait pas apporté davantage d'information que les activités EROD et PROD.

Le dosage des porphyrines hépatiques a aussi été abandonné compte tenu des faibles concentrations en métaux et en PCB dans les sols et dans les organes. En effet, ce biomarqueur d'effet est altéré lors de la présence de fortes teneurs de ces molécules dans l'organisme, et les valeurs mesurées ne sont pas suffisamment significatives pour être capables de provoquer une altération du métabolisme des porphyrines.

La structure du sol est souvent négligée. Or, elle est très importante car elle permet dans un certain nombre de cas d'expliquer les variations de la biodisponibilité des différents polluants. Effectivement, certains constituants des sols comme les argiles et la matière organique (Berry & Burton, 1997 ; Diamadopoulos *et al.*, 1998) sont connus comme étant capables de retenir les polluants organiques et donc ainsi de diminuer leur incorporation dans l'organisme. De plus, un travail antérieur sur d'autres types de sols (Billeret *et al.*, 2000), dans les mêmes conditions d'exposition nous a permis de montrer que la granulométrie et la quantité de matière organique totale devaient impérativement être prises en compte. Les autres paramètres comme, par exemple, le pH, l'humidité et la capacité d'échange cationique (CEC) apparaissent moins indispensables ; de plus, ils sont le plus souvent corrélés à au moins l'un des paramètres précédents. Ces mesures peuvent être effectuées à posteriori dans le but d'apporter des informations complémentaires quant aux phénomènes régissant le passage de certains polluants dans les organismes.

Dans le cadre de cette étude, le biomarqueur d'effet choisi a été le " test des comètes ", dont le nom s'explique par la forme que prennent les noyaux lésés après migration électrophorétique. Ce test n'est pas spécifique d'un polluant, puisque de nombreux polluants sont clastogènes, mais rend compte de l'intégrité globale du génome. De plus, il est facile à réaliser, non invasif et apporte une information générale, rapide sur le pouvoir clastogène *in vivo* des polluants présents même si les dosages ne sont pas exhaustifs. Par contre, les dosages des polluants dans les organes peuvent éventuellement apporter un éclaircissement sur l'origine de l'effet clastogène. Le choix des sols (S1, S2, S5) pour effectuer ce test a reposé sur leurs particularités. En effet, le sol S1 correspond à la couverture finale de la décharge du site 1 et permet d'imaginer à long terme les effets potentiels puisque ce type de sol, à terme, sera le dernier à couvrir la zone de décharge. Les sols S2 et S5 sont représentatifs des problèmes rencontrés au cours de l'évolution de la

décharge (formation de fissures, remontée de lixiviat...). Aucun sol prélevé sur le site 2 n'a été retenu pour cette étude compte tenu de l'impossibilité à effectuer de nouveaux prélèvements identiques à ceux qui ont servi aux premières expositions. Le " test des comètes " peut aussi bien être effectué à un moment donné ou bien sous forme de cinétique. L'évolution journalière du nombre et de la forme des comètes, bien que plus longue à effectuer, nous a paru plus pertinente. La cinétique permet d'apprécier la rapidité de la mise en place de l'effet clastogène et de son évolution. Par ailleurs, le calcul du moment mathématique des comètes reste, dans cette étude, un paramètre qualitatif pour des raisons de retard de développement du logiciel. Aussi, il n'a pas été possible de l'utiliser pleinement alors que ce paramètre est le plus pertinent dans le cadre d'une étude de ce type (Kent *et al.*, 1995).

Les lésions pulmonaires sont de nature inflammatoire et peuvent vraisemblablement être rattachées à la simple présence de polluants particuliers volatils et irritants (COV). Néanmoins, l'existence potentielle d'agents pathogènes particuliers (bactéries Gram négatives,...), souvent présents dans les décharges et susceptibles de déclencher ce type de lésions ne peut pas totalement être exclue.

4.3. Apport des bioindicateurs en général

Si nous replaçons les études des bioindicateurs (rats et lichens) dans le cadre des travaux conduits en métrologie et en épidémiologie, nous pouvons souligner l'intérêt de leur suivi. En effet, les lichens et les rats renseignent sur plusieurs points non pris en compte dans cette étude par les dosages métrologiques et le suivi des travailleurs.

Les lichens, par leur caractère accumulateur des polluants, fournissent des indications sur le mode d'exposition plus réaliste que les dosages ponctuels. Par ailleurs, ils prennent en compte la totalité des sources de pollution (de l'atmosphère, du sol, des précipitations). Les lichens renseignent sur le type d'exposition (aiguë, chronique) puisqu'ils peuvent mettre en évidence des vagues de pollution fortes durant de courtes périodes ou une accumulation à long terme de faibles concentrations. Ainsi, leur étude peut contribuer à déceler des polluants inhabituels (exemple du manganèse) et aider à l'interprétation des effets pouvant être observés chez les travailleurs.

Les dosages des polluants présents dans les organes de rats exposés, montrent la biodisponibilité réelle des polluants présents dans les sols. En effet, dans les sols, les polluants ont des comportements différents du fait de leurs interactions possibles avec les constituants du sol (capacités physico-chimiques d'adsorption ou de désorption). Les études conduites sur les rats permettent de mettre en évidence, selon le biomarqueur choisi, les

effets au niveau des organes (analyses histologiques) ou au niveau du génome (essai comètes) difficiles à étudier sur une population humaine. En effet, les méthodes employées nécessitent parfois la mort de l'animal et d'autre part, toutes les études concernant les effets génotoxiques sont délicates à appliquer chez l'homme pour des raisons psychologiques. En outre, les effets observés sur les rats peuvent parfois être corrélés à une ou plusieurs familles de polluants.

Enfin, les approches conduites ici, avec les rats et les lichens s'avèrent tout à fait complémentaires si on considère les points suivants :

Durée et type d'exposition : les rats sont exposés uniquement aux polluants présents dans les sols pendant une courte durée (4 jours) alors que les lichens sont exposés non seulement à la pollution globale du site mais aussi aux modifications climatiques durant de plus longues durées (plusieurs mois).

Par ailleurs, la faible concentration et la diversité des polluants présents dans les décharges justifient l'usage des deux types de bioindicateurs, dans les conditions d'expositions choisies, les rats révèlent plus facilement les polluants organiques (HAP, PCB, COV) alors que les lichens sont manifestement très pertinents pour la détection des métaux.

Enfin, les biomarqueurs moléculaires choisis (P450, ADN) ne peuvent être, à l'heure actuelle, utilisés que chez les rats et expriment de façon globale la réponse de l'organisme vis-à-vis de la pollution. Quant à eux, les lichens par leur rôle de bioaccumulation, sont révélateurs de l'exposition.

VII. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Les CET d'ordures ménagères sont des installations encore très mal connues en matière d'émissions de produits toxiques gazeux et donc de risques pour la santé. De plus en plus souvent des riverains de CET s'inquiètent des risques qu'ils courent ; il est alors difficile de leur fournir une information valide. C'est pourquoi nous avons proposé une étude dont l'objectif était d'acquérir des données dans divers domaines :

- connaissance des émissions et des niveaux d'exposition aériennes des populations au voisinage des sites;
- connaissance des impacts possibles sur la santé des travailleurs ;
- recherche d'indicateurs végétaux et animaux, pour le suivi des pollutions atmosphériques.

Dans la mesure où l'objectif était de travailler pour l'avenir, nous avons également fait le choix de travailler sur deux sites gérés dans le respect des dernières réglementations en vigueur.

Par ailleurs, il paraît nécessaire de rappeler plusieurs éléments qui ont prévalu lors de la définition du programme d'étude :

- Etant donné que nous ne disposions pas de données de métrologie pour les CET d'ordures ménagères (autres que des données américaines de décharges mixtes), nous n'avions aucune idée des ordres de grandeur des niveaux de polluants que nous pourrions mesurer. Avant d'aller réaliser des études en population, il nous paraissait indispensable, en premier lieu, de faire cette expertise au niveau des sites eux-mêmes et des populations les plus exposées que sont les salariés, des investigations plus directement au contact des populations ne se justifiant que dans un deuxième temps, en cas de niveaux (et de troubles perçus chez les salariés) conséquents.

- L'aspect « odeurs » n'a été abordé que par la mesure de certains polluants, notre objectif étant la recherche d'éléments toxiques et non une expertise complète des sites, qui aurait pris en compte en plus les nuisances environnementales (non directement responsables de pathologies toxiques). Pour ce faire, les moyens financiers nécessaires auraient été beaucoup plus élevés.

- Il n'était pas dans les objectifs de cette étude de réaliser une étude de perception auprès des populations, ni de faire une évaluation des risques liés aux CET d'ordures ménagères ; mais seulement d'apporter des éléments pouvant être utilisés par la suite (par d'autres...) dans des études d'évaluation de risques.

Avant d'envisager les conclusions de cette étude et de proposer des compléments pour un suivi des CET, il s'agit de se rappeler qu'elle ne présente qu'un instantané de la situation

dans deux centres d'enfouissement technique. En effet, cette étude a été limitée dans le temps (une seule campagne de métrologie, une étude épidémiologique transversale...) et dans la puissance d'étude (faibles effectifs). Elle ne saurait donc représenter de façon complètement fidèle ce qui se passe sur un centre d'enfouissement technique tout au long d'une année.

Avec ses limites, l'étude apporte cependant un certain nombre d'enseignements concernant ces deux centres d'enfouissement technique en fonctionnement normal :

- **Les concentrations mesurées dans l'air du site et de son environnement proche sont dans l'ensemble faibles, à l'exception des poussières, du manganèse et des microorganismes.**
- **Les niveaux d'exposition sont en fait assez variables d'un site à l'autre ; cela semble dépendre du tonnage annuel d'ordures ménagères reçues, de l'environnement extérieur, de la réception de tonnage important ou non des boues. Il sera donc toujours nécessaire de faire un point initial pour cibler les meilleurs « indicateurs » pour un site donné.**
- **En terme** d'émissions tant au niveau qualitatif que quantitatif :
 - Les composés organiques volatils représentent une famille très présente dans l'atmosphère des centres d'enfouissement technique, notamment au niveau de l'alvéole de travail. Le trafic d'engins diesel paraît jouer un rôle non négligeable dans les émissions de cette famille. Les COV majoritaires sont représentés par les cétones, les aldéhydes et les alcools. Certains de ces composés participent aux émissions d'odeurs dont se plaignent parfois les riverains de Centre d'enfouissement technique. Par ailleurs, il s'agit pour les deux premières familles de composés ayant une action essentiellement irritative. Seul le formaldéhyde est classé comme cancérigène probable mais les niveaux observés sont faibles, plutôt inférieurs à ceux observés en atmosphère urbaine.
 - En ce qui concerne les alcools, le méthanol paraît être un agent toxique réellement en rapport avec les déchets. Le niveau observé reste cependant très faible.
 - Les mercaptans (légers) tels que le méthylmercaptan (CH_3SH) n'avaient pas été retenus dans notre étude car les niveaux globaux observés dans les sources étaient très faibles en regard des niveaux représentant des risques toxicologiques (voir annexe B 5'); cependant, ils sont responsables à ces niveaux de production d'odeurs qui justifient qu'ils soient pris en compte par la suite dans la méthodologie de surveillance, ainsi que cela se passe dans l'exploitation de certains sites de

compostage (où les niveaux de ces composés malodorants sont cependant bien supérieurs).

- Le benzène est un composé effectivement retrouvé dans les émissions aériennes. Toutefois, les niveaux mesurés tant en ambiance sur les sites que dans l'environnement sont du même niveau, voire inférieurs, à ce qui est mesuré en atmosphère urbaine.
- Les composés organochlorés sont décrits dans la littérature comme étant régulièrement retrouvés en quantité non négligeable dans les ambiances de décharges. S'ils sont effectivement présents dans les émissions et sont dans certains cas de bons indicateurs de l'activité de la décharge, nous n'observons, en revanche, pas de niveau significatif en terme de santé pour le trichloréthylène ou le tétrachloréthylène dans l'ambiance ou à l'extérieur des sites.
- Les analyses réalisées sur les HAP particuliers nous conduisent à mettre l'accent sur l'impact des mouvements d'engins et de camions sur ces sites. En effet, les niveaux en HAP sont nettement supérieurs lors des journées de travail que la nuit, et parallèlement la répartition des divers HAP est caractéristique des émissions diesel. Les niveaux observés sont de l'ordre des niveaux observés en milieu urbain. Ces résultats montrent que les salariés des Centres d'enfouissement technique peuvent être considérés comme étant exposés à la pollution provenant des véhicules diesel aux mêmes niveaux que les agents de la circulation ou les taxis.
- Les poussières, notamment en poussières alvéolaires (<5µm), sont observées à des niveaux variables dans les ambiances des deux sites. En particulier, des niveaux ponctuels très élevés ont été mesurés sur chacun des deux sites. Sur des prélèvements longue durée, certains prélèvements dépassent les valeurs guides de l'OMS. Les poussières sont irritatives pour les muqueuses oculaires ou des voies respiratoires.
- En ce qui concerne les métaux, le manganèse est le métal le plus représenté dans les analyses que nous avons réalisées. Il paraît être un élément traceur du traitement des déchets (on le retrouve aussi dans les atmosphères internes de centre d'incinération d'ordures ménagères). Il est retrouvé à des niveaux nettement supérieurs sur le site à ce qui est mesuré habituellement dans les atmosphères urbaines. Les niveaux sont toutefois faibles et ne présentent a priori pas de danger pour la santé (notamment en ce qui concerne les pathologies neurologiques qui représentent le danger le plus documenté).

Nous souhaitons attirer l'attention de l'intérêt du suivi par les lichens en tant qu'indicateurs de pollution atmosphérique, puisque ce sont les résultats du suivi lichénique sur le site 3 qui ont attiré notre attention sur ce métal et nous ont conduits à le suivre plus particulièrement.

En ce qui concerne les métaux en général, l'étude lichen a montré qu'il existait effectivement une pollution spécifique des décharges qui venait s'ajouter à une pollution ambiante locale.

- Les micro-organismes sont mesurés sur les deux sites à des niveaux élevés qui, même s'ils n'atteignent pas les niveaux observés dans d'autres activités (les centres de compostage par exemple) sont cependant ponctuellement à des niveaux dépassant les valeurs de référence proposés et concernent des bactéries et des champignons (bactéries GRAM (-), *Aspergillus* ou *Penicillium*....) susceptibles d'avoir des répercussions sur la santé. Dans l'environnement, les niveaux observés sont faibles, mais il peut y avoir de façon ponctuelle des pics élevés. Ce point reste à approfondir.
- Les poussières, en quantité importante sur le site, peuvent être un mode de véhicule des micro-organismes.

Les seuls résultats notables de la partie de l'étude consacré à la « santé des travailleurs » montrent l'existence de symptomatologie des voies respiratoires. Compte-tenu des objectifs de l'étude, ils sont intéressants à rapprocher aux résultats de l'étude sur les micro-organismes et des analyses de tissu pulmonaire des rats. En effet, les *Aspergillus* et les *Penicillium* font partie des espèces de champignons les plus allergisantes. Pour éclaircir cette question, il serait particulièrement intéressant de compléter l'étude (en complétant l'étude métrologique des micro-organismes, en étudiant les taux de glucan aériens, la réponse immunitaire des salariés en réalisant une recherche et un dosage des précipitines sériques spécifiques (anti- *Aspergillus*...)).

Cette question des micro-organismes et de leurs possibles effets sur la santé est importante à clarifier dans la mesure :

- où l'atteinte pathologique peut survenir lors d'expositions ponctuelles très importantes;
- où l'étude a montré qu'il pouvait y avoir des « bouffées » de particules et de micro-organismes dans l'environnement des décharges. Mais ces données, très insuffisantes aujourd'hui, méritent également d'être précisées à l'avenir, en particulier, en terme de niveaux, de leur fréquence et de leur type.

Sur cette question des effets potentiels sur la santé les points suivants peuvent également être relevés :

- Les rats autopsiés après avoir vécu au contact de litières constitués par des sols de décharge montrent l'existence de foyers inflammatoires au niveau des tissus

pulmonaires, ces foyers inflammatoires pouvant être une réaction à une agression microbiologique.

- Les poussières peuvent par elles-mêmes entraîner une irritation et une inflammation des voies respiratoires, tant chez l'homme que chez l'animal. Il est à ce niveau nécessaire de préciser que la composition de ces poussières n'est, exception faite de la part liée à la pollution autoroutière, probablement pas la même que celle des poussières urbaines et donc que les risques associés diffèrent probablement largement. Les relations "doses/effets" qui existent pour les poussières fines urbaines ne pourront donc pas être utilisées ultérieurement pour caractériser les risques associés à ces sites sans une analyse chimique préalable des différentes fractions granulométriques.
- Enfin, il est intéressant de noter l'existence d'une réponse des rats en terme d'induction enzymatique (essentiellement CYP1A et CYP2B) respiratoire et à un degré moindre hépatique. Cette réponse confirme l'exposition des animaux à des composés de type COV (induction CYP2B) et, dans une moindre mesure, à des composés coplanaires comme les HAP. Seule l'utilisation conjointe des dosages et des activités enzymatiques a permis d'aboutir à ces conclusions. Une possible agression de type génotoxique (test des comètes) des rats exposés aux sols des centres d'enfouissement technique est mise en évidence aussi bien après contact direct qu'après exposition par inhalation. La cinétique de formation et de disparition des comètes indique une atteinte transitoire et réversible compatible avec l'inhalation de composés volatils (type COV).

Au total, cette étude apporte les premiers éléments de connaissance sur les effluents aériens des Centres d'Enfouissement Technique et leurs possibles effets sur la santé des salariés, ceci dans des conditions de fonctionnement courant. Ils nécessiteraient d'être validés par de nouvelles campagnes de mesure sur les sites et dans leur environnement au niveau des populations avoisinantes, réalisées à des périodes différentes et lors de la réalisation de travaux exceptionnels (reprise de couverture, pose de drain, apport exceptionnel de boues ...). On pourrait poursuivre les réflexions engagées concernant la méthodologie de prélèvements dans l'environnement des populations avoisinantes (positionnement des points en fonction des données météorologiques et de mesures préliminaires par chromatographe portable, automatisation...) et la compléter par le dosage spécifique des composés odorants très légers (méthylmercaptans...).

Par ailleurs, une investigation plus approfondie de l'aspect microbiologique serait riche d'enseignements :

- **analyse des conditions d'émission des micro-organismes et de leur possible émission hors site, par une campagne de mesure sur au moins une journée complète de fonctionnement avec déclenchements de prélèvements brefs à intervalles réguliers et relevé des travaux réalisés lors de chacun de ces prélèvements (déchargement de camions d'ordures ménagères, de boues, travaux à la station d'épuration ou pompage de lixiviats , etc...)**
- **recherche de l'existence d'une réponse humaine par mesures des anticorps spécifiques ou tests de sensibilisation cutanée ou même culture de prélèvements ORL et de lavage bronchique etc.... et caractérisation de la réaction inflammatoire animale, avec culture des prélèvements de tissus à la recherche d'une contamination respiratoire des rats.**

Ces questions méritent d'être approfondies avant de pouvoir extrapoler les résultats d'une surveillance de santé des salariés aux populations riveraines de ce type d'installation.

A partir des éléments notés ci-dessus, il a toutefois déjà été possible de proposer un complément de suivi de l'ambiance et de l'environnement des Centres d'Enfouissement Technique de classe II qui permettra de préciser les données ainsi recueillies à ce jour, puis éventuellement de réaliser des études d'évaluation de risque... D'ores et déjà, il est possible de proposer des améliorations techniques ou organisationnelles ainsi que des mesures de protection adaptées pour les salariés.

VIII. VALIDATION DE L'ETUDE SUR D'AUTRES SITES ET PROPOSITION DE SUIVI DES CENTRES DE STOCKAGE DE CLASSE 2

A ce jour, il ne nous est pas possible de proposer une méthodologie de surveillance des sites de stockage de déchets ménagers, pour plusieurs raisons :

1- Cette étude a été réalisée sur deux sites de stockage de déchets ménagers, considérés comme étant exploités selon les meilleurs principes de gestion du moment. Les résultats que nous avons obtenus ne peuvent, à ce stade, en aucune façon être généralisés à l'ensemble du parc français des centres de stockage de déchets ménagers pour les raisons déjà rappelées dans les conclusions :

- analyses réalisées sur une seule période sur chacun des deux sites ;
- analyses réalisées lors de conditions de fonctionnement normales (et non lors de travaux spécifiques.....)
- analyses sur deux sites gérés suivant les meilleures techniques actuelles, ayant chacun leur spécificité, en terme de tonnage, de traitement des lixiviats...

2- Pour mettre en place une surveillance, il est nécessaire d'avoir mis en évidence une possibilité effective d'exposition, et défini des critères de sécurité à respecter, qui permettent la mise en place d'un processus de contrôle et des actions de correction adaptée en cas de dépassement des objectifs de salubrité.

Cette étude n'a pas mis en évidence de niveaux d'exposition à des polluants potentiellement dangereux : dans la plupart des cas, les composés volatils retrouvés dans l'ambiance des sites et à l'extérieur sont à des niveaux proches de ce qui peut être observé dans de nombreux environnements. La principale exception concerne les micro-organismes, pour lesquels cependant nous n'avons pas encore assez de données concernant leur dissémination hors des sites.

De ce fait, il est trop tôt pour décider s'il est nécessaire, ou non, de mettre en place une surveillance des émissions atmosphériques sur tous les CET d'ordures ménagères, et pour en déterminer les modalités. Des informations complémentaires doivent en effet être acquises.

De même, ces premiers résultats pourraient être utilisées dans une approche d'évaluation de risque, à condition de prendre en compte les éléments cités ci-dessus (facteurs d'incertitude importants). Un complément d'expertise permettrait d'affiner ce type d'approche.

Ceci étant, cette première étude apporte des enseignements déjà utilisables pour l'expertise d'autres sites, qui seule permettra de proposer, si cela s'avère nécessaire, une méthode standard pour la surveillance des centres de stockage d'ordures ménagères.

Enfin cette étude permet cependant de proposer des éléments pour réaliser une surveillance des salariés, qui représentent pour l'instant la population exposée à un niveau de pollution pouvant avoir des impacts sur leur santé.

La démarche que nous proposons n'est donc pas une démarche de surveillance (sauf pour les salariés) mais bien une généralisation de la démarche initiale entreprise afin d'acquérir des données plus représentatives de l'activité de stockage des OM dans son ensemble. Elle reprend donc la totalité des éléments étudiés, tout en épurant la méthodologie de façon à n'en garder que les aspects les plus informatifs pour un suivi systématique ultérieur. Au fur et à mesure de la réalisation de telles expertises, il est vraisemblable que les paramètres de suivi se simplifieront pour aboutir à une proposition assez simple et standardisée pour être utilisée partout si besoin est.

Enfin, il est bon de rappeler que cette étude n'a eu pour but que la connaissance des ambiances aériennes des CET et qu'il serait nécessaire de faire une expertise du même ordre pour l'environnement *hydrique*.

A. Méthodologie proposée pour un suivi chimique et microbiologique de l'air

1. Stratégie générale de prélèvement

Comme nous l'avons précisé auparavant, il n'est pas possible, sur la base des deux seules campagnes de mesures effectuées sur site, de proposer un ou quelques paramètres de surveillance chimiques et microbiologiques universel(s) à suivre pour tout type de Centre d'Enfouissement Technique (CET) de classe 2. En revanche, il est possible, sur la base de ces deux campagnes et des données de la littérature, de proposer des familles de polluants et micro-organismes à surveiller.

Dans ces conditions, la stratégie générale proposée repose sur des prélèvements effectués tout d'abord dans l'air ambiant du site, avec une recherche exhaustive des polluants chimiques des familles présélectionnées et des organismes aéroportés présents, puis dans l'environnement proche du site (notamment au niveau des habitations les plus proches), avec seulement une recherche des polluants caractéristiques repérés.

2. Dosage dans l'air ambiant du site

Les mesures sont effectuées dans des conditions météorologiques stables⁽³²⁾ à 1 m du sol au niveau des différentes zones représentatives du site [alvéole en exploitation, alvéoles fermées, station d'épuration des lixiviats, zone de torchères ainsi qu'au niveau de un ou deux points "témoins" extérieurs situés en amont du site (par rapport au sens du vent le jour de la mesure)].

A ce niveau, les principales familles de polluants couramment rencontrées sur les CET d'ordures ménagères sont recherchés afin d'identifier les polluants caractéristiques du site. Ces familles sont les suivantes :

⁽³²⁾ La stabilité atmosphérique peut être classée en plusieurs catégories en fonction de la vitesse du vent, de la nébulosité du ciel et de la température. Une atmosphère stable est le résultat d'un vent faible (< 3 m/s), d'un ciel peu ou pas couvert et d'une température fraîche (< 15°C si possible, < 25 °C dans tous les cas).

2.1. Composés chimiques

- Composés Organiques Volatils (COV), dont les composés organiques organohalogénés, les composés aromatiques monocycliques (benzène, toluène, xylène), les aldéhydes, les cétones légers, les alcools (méthanol...) et les mercaptans (méthylmercaptan...);
- Hydrocarbures aromatiques polycycliques particulaires ;
- Poussières totales et alvéolaires ;
- Métaux particulaires (chrome, cuivre, nickel, plomb, cadmium, mercure, manganèse et arsenic.)

A ces familles, il est souhaitable d'ajouter la recherche de polluants individualisés typiques des émissions gazeuses des décharges d'ordures ménagères, tels que l'ammoniac, l'hydrogène sulfuré ou le limonène.

En complément de ces mesures d'ambiance, censées intégrer les émissions surfaciques des diverses zones du site, il est nécessaire d'effectuer une mesure sur les émissions canalisées, à savoir les cheminées des différentes torchères du site.

Il est à noter que des mesures aux diverses sources primaires du site (drains à biogaz, fissures...) ne sont pas préconisées ici, contrairement à ce qui a été réalisé au cours du programme, compte tenu du bon recoupement observé durant le programme entre les deux niveaux de mesure.

2.2. Microorganismes

- Flore bactérienne totale à 30°C (milieu Trypticase-Soja) et identification des genres ou espèces
- Bactéries à Gram négatif ; (exemple de milieu : Drigalski)
- Flore fongique à 30°C (milieu Malt Agar Chloramphénicol) et identification des genres (espèces pour *l'Aspergillus*) ;
- Actinomycètes thermophiles (exemple de milieu : Trypticase-Soja à 52°C)
- Endotoxines

3. Sélection des paramètres à doser dans l'environnement proche du site

A l'issue de la phase de mesures en ambiance et au niveau des torchères, une sélection des polluants chimiques et des micro-organismes aéroportés à suivre dans l'environnement proche du site sera établie en fonction d'une part des niveaux de concentration relatifs observés (entre polluants et par rapport aux témoins extérieurs du site), d'autre part de leur toxicité vis-à-vis de la santé humaine et/ou de leur caractère odorant.

Cette sélection ne pourra être correctement effectuée qu'après un renouvellement des campagnes de mesures d'ambiance la première année (au moins une mesure en été et une en hiver, ou mieux une mesure par saison).

4. Détermination des points et des périodes de mesures dans l'environnement proche du site

L'objectif est double :

- Mesurer les niveaux de concentrations dans l'air périphérique du site aux moments les plus défavorables. Pour cela, il est nécessaire de suivre la lentille de biogaz qui se forme dans certaines conditions météorologiques (atmosphère stable) et qui peut conduire, durant des périodes bien précises, à des émissions d'odeurs et de polluants toxiques plus fortes à l'extérieur du site. Cette phase est nécessaire pour pouvoir sélectionner les polluants qui seront analysés à l'extérieur du site.
- Mesurer des niveaux de concentrations moyens à l'extérieur du site.

Pour les mesures aux moments les plus défavorables, les différentes étapes présentées dans le tableau ci-après sont préconisées :

Tableau 47 : Étapes préconisées pour le dosage des polluants dans l'air extérieur du site aux moments les plus défavorables

| Étapes | |
|---|--|
| 1 Étude de la topographie du site | Étude de la carte, visite du site → Repérage des points potentiels de mesures (amont, aval) |
| 2 Suivi de la météorologie locale | Recherche d'une atmosphère stable et choix du jour des mesures sur site → Choix du jour des mesures sur le site |
| 3 Validation in situ des conditions météorologiques recherchées | Acquisition des données (vent : sens, vitesse ; température) → Validation des conditions atmosphériques stables → Choix des zones de mesures |
| 4 Repérage du panache à l'aide d'un chromatographe portable | Mesure des polluants traceurs en direct en balayant les zones sélectionnées → Positionnement des points de prélèvements définitifs |
| 5 Prélèvements définitifs | Prélèvements définitifs à différentes distances en amont et en aval du site (au minimum trois stations seront définies : une en amont et deux en aval du site) → Dosage dans l'environnement des polluants gazeux et particuliers sélectionnés → Prélèvements et recherche des microorganismes aéroportés identifiés |

Pour la mesure des niveaux de concentration moyens à l'extérieur du site sur plusieurs semaines, nos préconisations sont les suivantes :

- COV : prélèvements sur supports par diffusion passive, suivis d'un dosage des COV par CPG – Masse.

- poussières, HAP particuliers et métaux particuliers - mesure moyenne des poussières, des métaux particuliers et des HAP particuliers sur une période de deux semaines : prélèvement et dosage des poussières totales et alvéolaires selon les techniques classiques utilisées pour le suivi de la pollution urbaine (prélèvements par pompage sur filtres plans de grande surface, suivis d'une pesée et d'une analyse des poussières).

B. Méthodologie proposée pour parfaire l'expertise des sites de stockage à l'aide des lichens

L'objectif de cette nouvelle phase d'expertise des lichens sera de

- confirmer les études réalisées précédemment en appliquant la technique des transplants lichéniques comme outil de bioaccumulation d'un panel de métaux atmosphériques,
- évaluer avec précision la distance où les effets des flux d'émission métallique sont encore observables hors du site,
- rechercher à partir de quel seuil d'accumulation les lichens présentent des dommages ou disparaissent en comparant le potentiel de bioaccumulation lichénique de plusieurs espèces entre elles avec le potentiel d'adsorption du support (écorce).

Pour préciser ces points, il serait très utile de conduire une étude en parallèle sur une décharge modèle de composition connue.

1. Choix des espèces à utiliser pour analyses

En fonction des sites à étudier, il est nécessaire de repérer les espèces lichéniques présentes sur les arbres du site ou dans les environs. La plupart des décharges, dans nos régions, étant situées en plaine, on peut trouver les espèces présentes dans l'étage collinéen telles que *Xanthoria parietina*, *Parmelia sulcata*, *Parmelia caperata*, *Hypogymnia physodes* qui peuvent être choisies pour les transplants.

2. Choix de la méthode à suivre

En fonction des travaux réalisés au cours de l'étude précédente, il apparaît judicieux d'utiliser la technique des transplants. En effet, d'une part, sur CET sans lichens, cette technique s'impose; d'autre part, sur des sites présentant des lichens en abondance ou des lichens peu nombreux, elle est intéressante car elle permet le choix des stations à surveiller.

Nous conseillons de prélever les lichens à transplanter avec leur support d'origine, le mieux étant le prélèvement de branchettes recouvertes de thalles de différentes tailles. La mise en place doit être faite sur un support naturel (arbre, arbuste) ou piquet de bois.

3. Stations témoins

Les zones de prélèvement de lichens pour effectuer les transplantations sont à choisir avec précaution (zones supposées non polluées en régions protégées).

En outre, il est important de trouver une ou des stations témoins dans la même région que le CET surveillé afin de tenir compte de la pollution de fond.

4. Durée et période de transplantation

Une durée de 6 mois au moins apparaît nécessaire pour que les transplants se mettent en équilibre avec le milieu tout en se maintenant en bon état.

Mais en fonction des objectifs de surveillance, on peut choisir de laisser les transplants en place durant une année.

Une surveillance de l'état des transplants eux mêmes s'impose soit par observation directe soit par photographies. Toute dégradation entraîne la dépose des transplants et le renouvellement.

La période de transplantation dépendra de l'objectif choisi : comparaison été/hiver, comparaison en fonction des types de déchets enfouis, etc...

5. Stations d'implantation

Un CET apparaissant hétérogène, il semble nécessaire de placer des transplants dans différentes stations du site : stations sensibles (zone d'activité, torchère, etc...) et stations plus abritées

6. Choix des éléments à analyser

Les lichens sont retenus pour leur capacité fixatrice de métaux. A l'issue de l'étude on se rend compte qu'il n'est pas possible de retenir seulement un métal comme traceur spécifique mais qu'il apparaît plus sage de retenir un ensemble de métaux dont les plus fréquents sont Cd, Cr total, Cu, Mn, Ni, Pb et Zn dont les teneurs peuvent varier en fonction des types de déchets enfouis et des stations du site.

Les lichens pourront à la fin de cette étape être retenus pour la surveillance de certains aspects de pollution par les métaux.

C. Méthodologie proposée pour compléter notre connaissance des impacts notamment respiratoires sur les rats des décharges d'ordures ménagères

L'objectif de cette étape complémentaire est double :

1. déterminer l'origine des effets respiratoires observés (inflammation), notamment en recherchant les microorganismes dans les organes et tissus des animaux exposés.
2. Confirmer l'existence d'effets génotoxiques potentiels par inhalation en contrôlant les émissions à partir des sols dans le local d'exposition des rats (chromatographe portable) et en reprenant l'essai COMET sur plusieurs animaux exposés uniquement par voie aérienne à différents sols (voir ci dessous).

1. Choix des sols à utiliser pour les expositions :

En fonction des sites à étudier, il est nécessaire de repérer les différentes zones constituant la décharge (alvéole en exploitation, zone stabilisée, couverture provisoire, couverture finale, etc) ainsi que les zones altérées (fissures, etc.). Ces sols doivent être rapidement sélectionnés et prélevés pour la métrologie et conservés au froid. Pour les essais à visée bactériologique, des sols frais doivent être collectés et utilisés immédiatement..

2. Choix de la méthode à suivre :

En fonction des travaux réalisés au cours de l'étude précédente, il apparaît judicieux de commencer l'étude animale après les études métrologiques, afin d'avoir une idée des polluants présents et de leur concentration. L'exposition doit se faire, dans un premier temps, directement sur le sol et, selon les résultats préliminaires, par inhalation uniquement. Le choix des polluants et biomarqueurs à étudier doit être adapté au site. Une investigation microbiologique (bactérienne et fongique) dans le tissu pulmonaire doit être envisagée. De plus, l'utilisation d'appareils de type chromatographe portable devrait pouvoir fournir des éléments complémentaires sur l'émission des polluants volatils à partir des sols d'exposition.

3. Durée de l'exposition

Une exposition brève (4 jours) suffit à mettre en évidence la plupart des modifications. Pour les métaux, les résultats de l'étude montrent que les concentrations dans les sols de décharge sont faibles. Aucune augmentation significative des teneurs hépatique ou rénale

n'est donc à attendre après exposition prolongée sur ce type de sols. Il serait cependant utile de confirmer ce délai pour des contaminations microbiologiques. L'existence de lésions inflammatoires pulmonaires est en faveur d'une irritation d'origine chimique (COV etc.) ou microbiologique, que les données actuelles ne permettent pas de séparer.

4. Choix des éléments à analyser:

L'étude nous permet de proposer a priori le dosage des HAP, de métaux lourds (Pb, Cd, Cr, Mn) et le suivi de biomarqueurs comme l'activité EROD et PROD et le test des comètes pour évaluer les effets génotoxiques globaux. Le suivi des contaminations microbiologiques (poumon) doit être envisagé. L'examen microbiologique (bactériologique et fongique) de différents tissus et organes est nécessaire à ce stade.

Cette étape est plus destinée à parfaire notre connaissance des retentissements biologiques généraux sur une espèce sentinelle que pour mettre en évidence des indicateurs utiles à une surveillance ultérieure des sites.

D. Surveillance proposée pour les salariés

1. Objectifs

La réalisation d'un suivi médical s'intégrant dans une étude épidémiologique va permettre le suivi d'indicateurs d'exposition et d'effets précoces sur la santé des salariés des CET de classe II, en tant que population exposée à des dangers professionnels potentiels.

2. Stratégie générale

Une surveillance des salariés d'une entreprise repose sur deux types d'action : la surveillance des expositions et des situations potentiellement dangereuses et la mise en place de mesures techniques destinées à éviter un risque d'atteinte du salarié ; le suivi médical, accompagné de la mise en place d'un enregistrement de données intéressantes sur le plan du suivi épidémiologique des salariés eux-mêmes. Ce suivi médical est basé sur les connaissances acquises au cours de l'étude et sur les données complémentaires apportées par le suivi métrologique. Elle permet de s'assurer que l'impact sur la santé est nul ; ou si nécessaire d'apporter des corrections aux pratiques professionnelles. L'intérêt d'un suivi épidémiologique réside dans le fait que l'on dispose encore de très peu d'informations sur les perturbations de la santé des salariés des CET liées aux expositions, dont on a mis en évidence la réalité en ce qui concerne les niveaux de micro-organismes et les niveaux de poussières observés aux postes de travail.

2.1. Caractéristiques d'un suivi épidémiologique des salariés

Un suivi épidémiologique de salariés pour lesquels existent des risques sanitaires dans une entreprise doit répondre à un certain nombre de critères pour pouvoir être efficace [Hours, UIC, 1997]:

Les objectifs d'un suivi épidémiologique ont été discutés, précisés et acceptés par tous les acteurs

- il doit être systématique
- il doit être standardisé tant en terme de collecte des informations (examens cliniques et paracliniques) qu'en terme d'archivage des données (langage commun des utilisateurs du système à travers des nomenclatures communes adoptées par tous).

- le recueil de données doit être cohérent et suffisamment simple pour être fiable et pérenne
- il doit associer des connaissances sur les expositions et sur les troubles de santé recherchés.
- il doit être réalisé sur un nombre suffisant de sujets.
- il doit permettre des analyses statistiques régulières dans le cadre d'un réseau de praticiens participant à l'étude.

Ce suivi est réalisé par les acteurs de terrain que sont les services médicaux du travail , organisé en réseau animé par une personne compétente (épidémiologiste ou avec l'aide d'un (-)) ; il doit s'appuyer sur un outil d'enregistrement de données fiables du point de vue de l'épidémiologie. Pour qu'un recueil de données de médecine du travail permette de réaliser des études, il doit répondre à des conditions très précises (voir Annexe).

2.2. La surveillance des expositions et des situations « critiques »

5 types de postes ont été définis.

- Les postes de réception
- Le travail en compacteur (et engins de terrassement)
- Les postes de la station d'épuration ou de pompage des lixiviats
- Les postes de vérificateurs ou sur les quais de transfert
- Les postes polyvalents

A chacun de ses postes pourra correspondre la mise en place d'un suivi d'indicateurs d'exposition qui pourront être différents et qui auront été déterminés lors de la campagne initiale (paragraphe 3.1.2).

La campagne initiale décrite dans le premier chapitre, aura permis :

- de sélectionner les paramètres pertinents à suivre en fonction des postes de travail,
- de proposer des mesures techniques d'amélioration des postes de travail en collaboration avec le médecin du travail du site
- de proposer des solutions de protection individuelle si l'action technique « collective » n'est pas possible ;
- d'analyser avec le salarié les «tâches critiques » pour envisager des solutions techniques spécifiques.

Une dosimétrie de bruit initiale aux postes de travail les plus bruyants sera envisagée lors de l'analyse initiale.

Une surveillance régulière des indicateurs ainsi repérés sera mise en place.

- Fréquence : tous les deux ans ou si la typologie des déchets change (accroissement de la part des boues, nouveaux DIB....)
- Période : comme pour la première étape : plutôt à une période défavorable.

Analyse des tâches « critiques » avec le médecin du travail, les salariés :

Si nécessaire, et après analyse commune des circonstances d'apparition de troubles ou si une tâche paraît placer le salarié en situation dangereuse (analyse préalable des risques), une métrologie très ciblée sera envisagée afin de rechercher :

- une émission inhabituelle
- une émission habituelle mais à des niveaux importants.

Paramètres à analyser :

D'ores et déjà, il semble que deux paramètres devraient être suivis de façon systématique

- les poussières (alvéolaires et totales)
- les micro-organismes

En fonction de l'analyse initiale (et suivant les postes)

les HAP

Certains COV : dont le méthanol,

Les métaux (en fonction de la campagne initiale et suivant les apports (ordures ménagères, DIB ou boues).

Les informations sur les expositions doivent être archivées et pouvoir être rattachées nominativement à un salarié et au poste de travail analysé, grâce à un outil informatique permettant l'établissement de ce lien.

- Remarques en ce qui concerne le suivi des expositions des salariés :

Il n'existe pas toujours de normes ou de valeurs limites auxquelles il est possible de se faire référer (exemple des micro-organismes). Par ailleurs, il faut tenir compte de la susceptibilité individuelle, de l'histoire médicale de chacun et d'une hypersensibilité éventuelle. Tous les individus ne réagissent pas de la même façon pour une exposition similaire. D'autre part dans l'univers des décharges, l'exposition n'est pas univoque : les salariés sont soumis à la fois à des bioaérosols et à des composés chimiques aéroportés, avec possibilité d'action en synergie de ces différents composants.

L'appréciation de l'exposition et l'évaluation des risques doivent être adaptées aux personnes les plus fragiles.

Dans un premier temps, les résultats de métrologie sont comparés à la VME, en se rappelant que les VME ne sont pas des données intangibles : elles évoluent dans le temps ; par ailleurs, leur respect ne garantit pas de l'innocuité d'une exposition chronique. Enfin, tout phénomène de survenue anormale (réurrence d'une pathologie par exemple) demande un renouvellement ou un élargissement des prélèvements.

Dans un deuxième temps, la répétition des prélèvements permet de suivre l'évolution des niveaux de contamination, d'affirmer la pertinence des résultats, de mesurer l'impact des aménagements techniques ou des protections individuelles mises en place.

Pour compléter l'évaluation de l'exposition atmosphérique, reflet de l'exposition par voie respiratoire, la réalisation d'une surveillance biologique de certains paramètres en fonction de l'étude initiale, permettrait de prendre en compte l'ensemble des voies d'exposition (voies cutanée et digestive).

A terme, et associées à une surveillance médicale adéquate, des propositions de valeurs limites de composants typiques d'une exposition des salariés des CET de classe II pourraient être faites.

3. Le suivi médical des salariés

Le suivi médical proposé ci-dessous concerne les points qui paraissent importants pour le suivi des salariés par le médecin du travail. Tous ces éléments n'ont pas le même intérêt en terme de suivi épidémiologique de type longitudinal : seuls certains éléments, ainsi que cela a été expliqué au début de ce chapitre, seront à archiver dans le but d'une analyse ultérieure.

Nous insistons sur la nécessaire standardisation des examens (incluant une formation préalable des médecins participant au suivi) et sur la réalisation de certains examens à l'aide d'outils choisis en commun et identiques (par exemple pour l'exploration fonctionnelle respiratoire).

3.1. La visite médicale d'embauche

Compte-tenu des risques microbiologiques et des pathologies engendrées par les niveaux de concentrations mis en évidence, il est nécessaire de dépister dès l'embauche, les sujets présentant des pathologies pulmonaires tels que les asthmatiques actifs mal contrôlés sous-traitement ou encore les sujets porteurs d'immunodépression, afin de limiter l'exposition de ces salariés aux postes les moins contaminants.

La visite d'embauche permettra de faire le point sur un certain nombre d'éléments et permettra d'enregistrer des données de base à partir d'un protocole précis qui serviront de point initial de santé pour toute comparaison ultérieure.

(1) Questionnaire standardisé :

1. Antécédents médicaux :

- antécédents allergiques
- antécédents infectieux
- pathologies articulaires....

2. Statut vaccinal :

vaccination anti-tuberculeuse, anti-diphtérie, tétanos, poliomyélite (vaccinations légales habituelles)

hépatites A ou B (on peut s'assurer auparavant de l'existence ou non d'anticorps anti A, anti B...)

La vaccination anti leptospirose ne paraît pas nécessaire dans ce contexte (dans la mesure où des rats ne vivent pas sur le site)

Habitudes de vie (tabac..)

(2) examen clinique général standardisé

(3) exploration fonctionnelle respiratoire

comportant cinq paramètres de base (CVL, CVF, VEMS/CV, DEM 25-75 en exigeant une courbe débit-volume).

(4) Examens biologiques de base

Ils permettront d'obtenir les données de base pour un suivi ultérieur (NF, bilan hépatique, plombémie)

(5) une audiométrie de base

(6) les examens neuropsychomoteurs

Les examens neuropsychomoteurs ne paraissent pas avoir leur place dans un suivi systématique compte-tenu des faibles niveaux d'exposition observés. Cependant, ils seront nécessaires, si la campagne initiale montre des niveaux de pollution plus importants que ceux observés dans notre étude.

La visite médicale d'embauche doit s'accompagner d'une formation obligatoire aux consignes d'hygiène et de sécurité spécifiques au travail dans le secteur des déchets.

3.2. Le suivi médical systématique

Dans le cadre de la surveillance médicale spéciale des salariés exposés aux ordures (Article R-241-50 du Code du Travail), le temps consacré à ces salariés est plus important que pour des activités classiques. Les modalités de cette surveillance ne sont pas spécifiées et sont à la discrétion du médecin. La participation du médecin à un suivi de type épidémiologique des salariés pourrait être envisagée dans ce cadre.

La surveillance clinique sera orientée particulièrement sur :

- l'appareil respiratoire,
- l'appareil digestif
- l'appareil neurologique
- la recherche de signes d'irritation des muqueuses, avec une surveillance particulière des agents opérant sur les alvéoles.

Les articulations ne seront pas oubliées lors de l'examen.

3.3. Une exploration fonctionnelle respiratoire tous les deux ans

Elle permet la détection précoce de troubles respiratoires, lors de la comparaison des résultats antérieurs, à condition de respecter les règles de réalisation des EFR et d'utiliser le même appareil.

Une audiométrie tous les deux ans sera envisagée pour le salarié présent à certains postes de travail si la dosimétrie du bruit montre un dépassement du Leq (8h) de 85 dB.

Sur le plan biologique, un suivi annuel de la fonction rénale par bandelette urinaire, de pratique simple, est un bon outil de détection.

En ce qui concerne les examens biologiques sanguins, l'utilité d'un dépistage systématique de troubles enzymatiques hépatiques ou la pratique d'une plombémie à certains postes restent à démontrer. Dans tous les cas, une fréquence de 5 ans permettrait de s'assurer qu'il n'existe pas de dérive biologique.

4. Prévention technique proposée

4.1. Prévention collective.

Suite à cette étude, des modifications techniques peuvent être proposées pour les conducteurs d'engins de l'alvéole.

Compte tenu des taux élevés de micro-organismes mis en évidence au niveau de la réception et sur l'alvéole, la filtration de l'air sur filtres HEPA (Haute Efficacité vis à vis des Particules de l'Air) est conseillée ; le nettoyage des cabines et le changement des filtres régulièrement doit être effectué (pour le nettoyage des filtres, attention à la pratique de la soufflette qui remet en suspension les particules).

Mise en surpression des bureaux et des cabines des engins travaillant sur l'alvéole, permettraient de diminuer l'exposition des salariés aux particules aéroportées [Rakhonen et al., 1987].

Organisation des vestiaires dans un sens unique : sas « sale » (dépôt des vêtements de travail) → douches → sas propre (habit civil) et lavage des vêtements de travail au minimum une fois par semaine ³³

4.2. Prévention individuelle.

Les mesures de prévention individuelle passent par l'information et l'éducation du personnel pour obtenir une participation à des comportements souvent contraignants.

(1) Les mesures existantes et obligatoires doivent être poursuivies.

Elles comprennent :

- le port de vêtements de travail (combinaison de travail, chaussures de sécurité ou bottes, gants...),
- un lavage soigneux des mains lors de chaque pause (repas, toilettes, cigarettes),
- la prise d'une douche à la fin du poste de travail.

³³ Au minimum, si des travaux de sont pas possibles dans l'immédiat : mise à disposition de vestiaires doubles (une partie affectée aux vêtements civils ; l'autre à la combinaison de travail,

(2) port d'Equipement de Protection Individuelle.

Par ailleurs, compte tenu de l'évaluation de l'exposition qui a été réalisée, le port d'EPI (Equipement de Protection Individuelle) sur de courtes périodes, est à envisager pour tous les travaux effectués dans les atmosphères de fortes contaminations microbiologiques, à proximité des sources, notamment pour l'agent vérificateur.

Ainsi, une protection respiratoire adaptée au risque microbiologique (de type P2) est fortement conseillée sur l'alvéole, à proximité des lixiviats ou lors de tâches exposant à des émanation de biogaz..

Le port de protection cutanée doit être prévu en cas de contact direct avec les déchets ou leurs effluents.

La surveillance du niveau de dégradation et le renouvellement de ces EPI doivent être réguliers.

IX. BIBLIOGRAPHIE

Allen MR, Braithwaite A, Hills CC. Trace organic compounds in landfill gas at seven U.K. waste disposal sites. *Environ. Sci. Technol.* 1997, 31, 1054-1061.

Almaguer D, Martinez KF. Health Hazard Evaluation Report No 96-0109. NIOSH, U.S. 1996 : 1-19.

Andersen AA. New sampler for the collection, sizing and enumeration of viable airborne particles. *J Bacteriol* 1958 ; 76 : 471-484.

Anger W.K. Worksite behavioral research : results sensitive : methods, test batteries and the transition from Laboratory data to human health. *Neurotoxicology* , 1990, 11: 629-720.

Anger WK, Cassitto MG. Individually administered human behavioral test batteries to identify neurotoxic chemicals. *Environ Res*, 1993, 61, 93-106.

Anger WK, Cassitto MG, Liang Y, et al. Comparison of performance from 3 continents on the WHO-recommended neurobehavioral core test battery. *Environ Res.* 1993, 62, 125-47.

Anger W.K, Letz R, Chrislip DW, Frumkin H, Hudnell K, Russo JM, Chappell W, Hutchinson L. Neurobehavioral test methods for environmental health studies of adults. *Neurotoxicol Teratol* . 1994, 16(5), 489-497.

Assmuth T, Kalevi K. Concentrations and toxicological significance of trace organic compounds in municipal solid waste landfill gas. *Chemosphere*, 1992, 24 (9): 1207-1216.

Bartok K. & Osvath, T.. Influence of pollutants emanated from the Dej cellulose manufactures, over lichens. *Contributii Botanice, Cluj-Napoca*, 1990, 67-72.

Bartok K., Nicoara A., Bercea V. & Osvath T. Biological responses in the lichen *Xanthoria parietina* transplanted in biomonitoring stations. *Revue Roumaine de Biologie, Série de Biologie Végétale.*, 1992, 37 (2), 135-142.

Belandria G., Asta J., and Garrec J.P. Diminutions of fluorine contents in lichens due to a regression of pollution in an alpine valley(Maurienne, Savoie, France) from 1975 to 1985. *Rev.Ecol.Alp*, 1991. 1 : 45-58.

Brosseau J. et Heitz M. Trace gas compound emissions from municipal landfill sanitary sites. *Atmosph. Environm.* 1994, 28 (2), 285-293.

Castellan RM, Olenchock SA, Kinsley KB, Hankinson JL. Inhaled endotoxin and decreased spirometric values. *New Eng. J. Med.* 1987; september 3:605-610.

Chiron M, Quénel P, Zmirou D. La pollution atmosphérique d'origine automobile et la santé publique. *Pollution atmosphérique*, jan-mars 1997.

Chouanière-Briançon D, Hemon D. Méthodes épidémiologiques pour l'étude de la toxicité des solvants. XXIII^e journées de Médecine du Travail, Besançon, 1994. in *Arch Med Trav* 1995, pp 114-125

Collins CH, Kennedy DA. The microbiological hazards of municipal and clinical wastes. *J. Appl. Bacteriol.* 1992; 73:1-6.

Dally S. and Garnier R. Notes de congrès. 23^eme journées nationales de la médecine du travail. Besançon 7-10 juin 1994. *INRS.Document pour le Médecin du Travail* 60 (4^eme trimestre) , 1994: 379-385.

Déportes I, Benoit-Guyod J, Zmirou D. Hazard to man and the environment posed by the use of urban waste compost : a review. *The Science of the Total Environment* 1995; 197-222. Abstract.

Deschamps S, Momas I, Festy B. Quelques aspects du risque professionnel lié à l'inhalation d'endotoxines. *Arch Mal Prof* 1994; 55:(5)327-333.

Enterline PE, Henderson VL, Marsh GM. (1987) Exposure to Arsenic and Respiratory Cancer. *Am. J. Epidemiol.* 125 (6), 929-938.

Evans CA. & Hutchinson TC. Mercury accumulation in transplanted moss and lichens at high elevation sites in Quebec. *Water, Air and Soil Pollution.*, 1996, 90, 475-488.

Fabries JF, Leprince A. Collecte et recyclage des déchets. Exposition aux agents biologiques et problèmes de santé. Documents pour le Médecin du Travail. 1997 ; 71 : 273-4.

Feldmann J, Hirner AV. Occurrence of volatile metal and metalloid species in landfill and sewage gases. Intern J Environ Anal Chem 1997; 60:339-359.

Fouchécourt MO,. Bioévaluation de la contamination organique des sols : recherche de biomarqueurs chez des rats sentinelles et mise au point d'un bioessai avec le rat de laboratoire, Thèse de docteur d'université en toxicologie de l'environnement, Université de Metz, 203 p. 1996

Garty J, Kauppi J. & Kauppi M. Accumulation of airborne elements from vehicles in transplanted lichens in urban sites. J. Environ Quality.,. 1996, 25 (2), 265-272.

Garty J, Kloog N., Cohen Y. Wolfson & R. Karnieli A. The effect of air pollution on the integrity of chlorophyll, spectral reflectance response, and on concentrations of nickel, vanadium and sulfur in the lichen *Ramalina duriaei* (De Not.) Bagl. Environmental research., 1997, 74, 174-187.

Garty J. The impact of air pollution on the integrity of cell membranes and chlorophyll in the lichen *Ramalina duriaei* (De Not.) Bagl. transplanted to industrial sites in Israel. Arch. Environ. Contamin. Toxicol.,. 1993, 24, 455-460.

Gautier MA. Evaluation de l'exposition professionnelle à la pollution atmosphérique urbaine d'agents de police municipaux. Thèse de médecine. Grenoble : Univ. Joseph Fourier. 1997.

Gelberg KH. Health study of New York city department of sanitation landfill employees. JOEM 1997; 39:1103-1110.

Goldberg MS, Al-Homsi N, Goulet L, Riberdy H. Incidence of cancer among persons living near a municipal solid waste landfill site in Montreal, Québec. Arch Environ Health 1995, 50 (6), 416-424.

Goldberg MS, Goulet L, Riberdy H, Bonvalot Y. Low birth weight and preterm births among infants born to women living near a municipal solid waste landfill site in Montreal, Quebec. Environ Research 1995; 69:37-50.

Goldberg MS, Siemiatycky J, Désy M. Risk of developing cancer relative to living near a municipal solid waste landfill site in montreal,Quebec,Canada. Arch Environ Health 1999; 54:291-296.

Gombert S. and Asta, J. The effect of refuse incinerator fumes on the lead and cadmium content of experimentally exposed corticolous lichens. Water,Air and Soil Pollution, 1998, 104 : 29-40.

Gombert S. Utilisation de la bioindication lichénique dans l'estimation de la qualité de l'air de l'agglomération grenobloise : étude à différents niveaux d'organisation biologique. Thèse d'Université, Grenoble I. : 1-287, 1999.

Heederik D, Douwes J. Towards an Occupational Exposure Limit for endotoxins ? Ann Agric Environ Med. 1997 ; 4 : 17-9.

Hertzman C, Hayes M, Singer J, Highland J. Upper Ottawa street landfill site health study. Environ. Health Persp. 1987; 75:173-195.

Hofer L. Gaz d'échappement des moteurs Diesel : aspects physicochimiques, toxicologiques et concernant la médecine du travail. Suva – Inf. médicales, n°70. Hiver 1997 – 1998.

Hogstedt C, Hane M, Agrelle A, Bodin L. Neuropsychiatric test results and symptoms among workers with well-defined long-term exposure to lead. Br. J. Ind. Med. 1983, 40 : 99-105

Hogstedt C, Lundberg I Epidémiologie des risques professionnels neurocomportementaux : expériences méthodologiques tirées de la recherché sur les solvants organiques. Arch. Mal. Prof. 1992,53 (6b) : 499-506

Hours M, Anzivino- Viricel L, Stoklov M, Collot D, Maitre A, Parat S, Mann S, Bergeret A, Richioud M, Robinet J, Panchairi Ph. Risque pour la santé des travailleurs d'unités d'incinération des ordures ménagères : evaluation des expositions et detection des effets sur la Santé. Rapport ADEME, Sept 1998, 54pages.

Ignatiadis I., Coliche C., Abou Akar A., Battaglia F., Lesueur H. Etude des phénomènes responsables de l'encrassement ou du colmatage des drains servant à la collecte des lixiviats dans les centres de stockage de déchets. Rapport final (convention Ademe - BRGM 47 4 0037) Rap. BRGM R 39076, (1996) 167p. 28 fig., 34 tabl., 1 ann.

Ivens UI, Ebbehoj N, Poulsen OM, Skov T. Season, equipment, and job function related to gastrointestinal problems in waste collectors. *Occup Environ Med* 1997; 54:861-867.

Ivens UI, Breum NO, Ebbehoj N, Nielsen HB, Poulsen OM, Würtz H. Exposure-response relationship between gastrointestinal problems among waste collectors and bioaerosol exposure. *Scand J Work Environ Health* 1999; 25:238-245.

Jeran Z, Byrne AR, Batic F. Transplanted epiphytic lichens as biomonitors of air-contamination by natural radionuclides around the Zirovski Vrh uranium mine. *Lichenologist*, 27 (5), 375-385.

Jonhsen H, Lund SP, Malikainen E, Midtgard U, Simonsen L, Wennberg A. 1992, Occupational neurotoxicity criteria document for evaluation of existing data. Nordic council of ministers and national institute of occupational health, Denmark, 52 pages.

Kent C.R.H., Eady J.J, Ross G.M. & Steel. The comet moment as a measure of DNA damage in the comet assay, *Int. J. Radiat. Biol*, 1995., 67 (67), 655-660.

Khalil K. Utilisation de bioindicateurs (lichens et tabac) dans la détection de la pollution atmosphérique de la région lyonnaise. Thèse de l'Université Grenoble I, 1-284 (2000).

Koutsandreas A, Nikolaou K, Masclet P, Mouvier G. Analyse des pollutions en HAP dans l'air. *Les cahiers de l'analyse des données*. 1983 ;8 (3) :371-80.

Laitinen S, Kangas J, Kotimaa M, Liesivuori J, Martikainen PJ, Nevalainen A, Sarantila R, Husman K. Workers' exposure to airborne bacteria and endotoxins at industrial wastewater treatment plants. *Am Ind Hyg Assoc J*. 1994 ; 55 (11) : 1055-60.

Legrand I. and Asta, J. Epiphytic lichen flora and bark characteristics (ph, conductivity) in relation to forest decline in the Northern Alps. In: *Forest Decline and Atmospheric Deposition Effects Mountains*, Landmann G. and Bonneau M. ed : 394-403, 1995.

Loizidou M, Kapetanios EG. Study on the gaseous emissions from a landfill. *Sci. Total Environ*. 1992; 127:201-210.

Lundberg I, Michelsen H, Nise G, Hogstedt C, et al . Neuropsychitrix function of housepainters with previous long-term heavy exposure to organic solvents. *Scand. J. Work Environ. Health*; 1995, 21 (suppl 1) : 1-44

McCune B, Derr CC, Muir PS, Shirazi A, Sillett SC, Daly WJ. Lichen pendants for transplant and growth experiments . *Lichenologist*, 28 (2), 161-169

Malmros P, Sigsgaard T, Bach B. Occupational health problems due to garbage sorting. *Waste Manage Res* 1992; 10:227--234.

Nielsen T, Jorgensen HE, Grundhal L. Traffic PAH and other air pollutants in the center of a large city. *RISO-R-787 (EN)*. 1995.

Nielsen EM, Breum NO, Herbert Nielsen B, Wurtz H, Poulsen OM, Midtgaard U. Bioaerosol exposure in waste collection : a comparative study on the significance of collection equipment, type of waste and seasonal variation. *Ann Occup Hyg* 1997; 41:325-344.

Pahren H.R. Microorganisms in municipal solid waste and public health implications. *Crit. Rev. Environ. Cont*, 1987. 17(3) : 187-228.

Palmisano A.C. and Barlaz, M.A. Microbiology of solid waste. *CRC Press* : 1-224, 1996.

Parat S, Mann S. Mesure de l'aérobiocontamination au sein de l'usine d'incinération des déchets, un risque pour la santé des travailleurs d'unités d'incinération des ordures ménagèresb: évaluation des expositions et détections des effets sur la santé (in Rapport Ademe, Hours M et al 1998.)

Perdrix A. Guide pratique d'exploration fonctionnelle respiratoire. Utilisation en milieu professionnel. *Masson Ed.*1994. 184 pages.

Perdrix A, Cohen N, Mann S, Parat S, Bouvier M, Maître A. Stratégie d'échantillonnage et résultats microbiologiques dans une station de compostage. *Arch Mal Prof.* 1997b ; 58 (4) 379-81.

Perdrix A, Madon N, Maître A, Parat S, Mann S, Clavel T. Risques biologiques autres qu'infectieux. *Encycl Méd Chir, Toxicologie-Pathologie professionnelle.* 1997a ; 16-080-B-10, 6 pages.

Pinel C., Parat, S., Grillot, R., and Perdrix, A. Mycotoxines. In: *Encycl. Méd. Chir.* : 1-4, 1997.

Poulsen OM, Breum NO, Ebbehoj N, Hansen AM, Ivens UI, van Lelieveld D, et al. Sorting and recycling of domestic waste. Review of occupational health problems and their possible causes. *Sci Total Environ.* 1995; 168:33-56.

Poulsen OM, Breum, N.O., Ebbehoj, N., Hansen, A.M. Collection of domestic waste. Review of occupational health problems and their possible causes. *Sci. Total Environ.* 1995a, 170, (1-2), 1-19.

Quanjer PH. Standardized lung function testing. *Bull Eur Physiopath. Resp*, 1983. 19 (suppl. 5), 1-95.

Rahkonen P, Ettala M, Loikkanen I. Working conditions and hygiene at sanitary landfills in Finland. *Ann Occup Hyg.* 1987 ; 31 (4A) : 505-13.

Rahkonen P, Ettala M. Airborne microbes and endotoxins in the work environment of two sanitary landfills in Finland. *Aerosol Science and Technology.* 1990 ; 13 (4) : 505-13.

Richardson D.H.S. The transplantation of lichen thalli to solve some taxonomic problems in *Xanthoria parietina* (L.) Th. Fr. *Lichenologist.*, 1967, 3, 386-391.

Rylander R, Lundholm M, Clark CS. Exposure to aerosols of micro-organisms and toxins during handling of sewage sludge. University of Calgary Press. Biological health risk of sludge disposal to land in cold climates. Calgary, Alberta, Canada. 1984 ; 69-78.

Rylander R. Endotoxins in the environment : a criteria document. *Int.J.Occup.Environ.Health*, 1997 (3) : S1-S48.

Rylander R., Bake, B., Fischer, J.J., Helander, I.M. Pulmonary function and symptoms after inhalation of endotoxin. *Am. Rev. Resp. Dis.*, 1989, 140 : 981. ref 105, p 211.

Savage G.M. and Sharpe, H. Assessment of non regulated hazardous wastes in the Seattle area. *Waste Manage.Res.* , 1987 (5) : 159-171.

Schweisfurth H, Schöttes C. Acute intoxication of a hydrazine-like gas by 19 workers in a garbage dump. *Zbl Hyg* 1993; 195:46-54.

Sheidegger C. Early development of transplanted isidioid soredia of *Lobaria pulmonaria* in an endangered population. *Lichenologist*, 1995, 27(5), 361-374.

Sigsgaard T, Abel A, Donbaek L, Malmros P. Lung function changes among recycling workers exposed to Organic Dust. *Am J Ind Med* 1994; 25:69-72.

Silberstein L., Siegel, B.Z., Siegel, S.M., Mukhtar, A. & Galun, M. Comparative studies on *Xanthoria parietina*, a pollution-resistant lichen, and *Ramalina duriaei*, a sensitive species. I. Effects of air pollution on physiological processes. *Lichenologist*., 1996a, 28 (4), 355-365.

Silberstein L., Siegel, B.Z., Siegel, S.M., Mukhtar, A. & Galun, M. Comparative studies on *Xanthoria parietina*, a pollution-resistant lichen, and *Ramalina duriaei*, a sensitive species. II. Evaluation of possible air pollution-protection mechanisms. *Lichenologist*., 1996b, 28 (4), 367-383.

Société française de santé Publique. La pollution atmosphérique d'origine automobile et la santé publique. Collection santé et société n°4, mai 1996 – 251 pages.

Steinnes E. & Krog, H. Mercury, arsenic and selenium fall-out from an industrial complex studied by means of lichen transplants. *Oikos*., 1976, 28, 160-164.

Thorn J, Beijer L, Rylander R. Airways inflammation and glucan exposure among household collectors. *Am J Ind Med* 1998; 463-470.

Tilson HA, Mitchell CL, *Neurotoxicology*. Raven press New-York, 400 pages. , 1992

Tolvanen OK., Hänninen KI. Veijanen A. Villberg K. Occupational hygiene in biowaste composting. *Waste Manage Res*, 1998, 16 (6) : 525-540.

Van Haluwyn, C., Asta, J., Beguinot, J., Botineau, M., Deruelle, S., Lerond, M., et Roux, C., - Lichens et environnement. Quelques travaux français depuis 1970. In Progrès récents en lichénologie, Journées d'Etudes du 24 Janvier 1986. *Bull. Soc. Bot. Fr.*, 133, Actualités Botaniques, 1986, 2, 81-112.

Van Haluwyn C. et Lerond, M. Guide des lichens. Editions Lechevalier : 1-344, 1993.

Van Tongeren M, Van Amelsvoort L, Heederik dP. Exposure to organic dusts, endotoxins, and microorganisms in the municipal waste industry. *Int J Occup Environ Health* 1997; 3:30-36.

Weber S, Kullman G, Petsonk E, Jones WG, Olenchock S, Sorenson W, et al. Organic dust exposures from compost handling : case presentation and respiratory exposure assessment. *Am J Ind Med* 1993; 24:365-374.

Webster, M. & Brown, D.H. Preliminary observations on the growth of transplanted *Peltigera canina* under semi-natural conditions., 1997.

Who Regional Publications Air quality guidelines for Europe, European series. 1987, 23.

Who Regional Publications Air quality guidelines, 2000

Wood JA, Porter ML. Hazardous pollutants in class II landfills. *J. Air Poll. Control Assoc.* 1987 ; 37 (5) : 609-15.

Young PJ, Parker A. The identification and possible environmental impact of trace gases and vapours in landfill gas. *Waste Manage. Res.* 1983 ; 1 : 213-26. Zambrano, A. & Nash III, T.H. Lichen responses to short-term transplantation in Desierto de Los Leones, Mexico City. *Environmental Pollution.*, 2000, 107, 407-412

TABLE DES ANNEXES ET DES TABLEAUX

X – ANNEXES METHODOLOGIQUES

| | |
|---|-------|
| ANNEXE X-1: CRITERES DE CHOIX DES SITES | X-273 |
| ANNEXE X-2 : POINTS DE PRELEVEMENTS SOURCE : COMPLEMENTS POUR LES CARTES DES SITES 1 ET 2 | X-274 |
| ANNEXE X-3: PRINCIPALES METHODES D'ANALYSES CHIMIQUES – DOSAGE AUX SOURCES | X-276 |
| ANNEXE X-4: CAMPAGNE DE MESURES EN AMBIANCE DU SITE ET EN ENVIRONNEMENT PROCHE (SITE 1 -> 2 CARTES, SITE 2 -> 1 CARTE) | X-281 |
| ANNEXE X-5 : METROLOGIE DES SALARIES :PRELEVEMENTS INDIVIDUELS ET D'AMBIANCE | X-285 |
| ANNEXE X-6 : METHODES DE PRELEVEMENT ET ANALYSES DES COMPOSES CHIMIQUES DANS L'AIR POUR LES SALARIES | X-289 |
| ANNEXE X-7 : COMPARAISON DES METHODES ANALYTIQUES..... | X-293 |
| ANNEXE X-8: METHODE D'EVALUATION DE LA STABILITE ATMOSPHERIQUE SELON LES CLASSES DE PASQUILL | X-297 |
| ANNEXE X-9 / MESURES COMPLEMENTAIRES EN AMBIANCE ET EN ENVIRONNEMENT | X-300 |
| ANNEXE X-10 : LES EXAMENS COMPLEMENTAIRES DU SUIVI MEDICAL DES SALARIES : EXPLORATION FONCTIONNELLE RESPIRATOIRE ET TESTS NEURO-PSYCHOLOGIQUES. | X-301 |
| ANNEXE X-11 : STATIONS DE PRELEVEMENTS DES LICHENS SITE 3..... | X-305 |
| ANNEXE X-12 : METHODES D'ANALYSES DETAILLEES DANS LES LICHENS..... | X-306 |
| ANNEXE X-13 : STATIONS DE PRELEVEMENTS DES LICHENS SITES 1 ET 2 | 309 |

XI- ANNEXE DES RESULTATS

| | |
|--|--------|
| ANNEXE XI-1 : RESULTATS DES METROLOGIES AUX SOURCES, EN AMBIANCE, DANS L'ENVIRONNEMENT ET AUX POSTES DE TRAVAIL SUR LE SITE 1 | XI-313 |
| ANNEXE XI-2: RESULTATS DES METROLOGIES AUX SOURCES, EN AMBIANCE, DANS L'ENVIRONNEMENT ET AUX POSTES DE TRAVAIL SUR LE SITE 2..... | XI-325 |
| ANNEXE XI-3 : MESURE EN DYNAMIQUE DES POUSSIERES EN AMBIANCE ET EN ENVIRONNEMENT XI- 337 | |
| ANNEXE XI-4 / RESULTATS DES ANALYSES COMPLEMENTAIRES REALISEES DANS L'ENVIRONNEMENT AVEC LE CHROMATOGRAPHE PORTABLE | XI-344 |
| ANNEXE XI-5 : MESURES DES COV SUR 14 JOURS PAR DIFFUSION PASSIVE : SITE 2 | XI-349 |
| ANNEXE XI-6 : RESULTATS DES MESURES MICROBIOLOGIQUES | XI-350 |
| ANNEXE XI-7 : SITE 3 : TENEURS EN ELEMENTS DES LICHENS ANALYSES DANS LES DIFFERENTES STATIONS | XI-367 |

| | |
|---|--------|
| ANNEXE XI-8 : - SITE 1 : TENEURS EN METAUX DES LICHENS ANALYSES DANS LES DIFFERENTES STATIONS | XI-368 |
| ANNEXE XI-9 : SITE 2 : TENEURS EN METAUX DES LICHENS ANALYSES DANS LES DIFFERENTES STATIONS | XI-369 |

TABLES DES TABLEAUX DES ANNEXES

| | |
|---|--------|
| Tableau 1 : comparatif des méthodes utilisées pour l'analyse des poussières | X-293 |
| Tableau 2 : Tableau comparatif des méthodes utilisées pour l'analyse des COV : | X-293 |
| Tableau 3 : Tableau comparatif des méthodes utilisées pour l'analyse des HAP : | X-294 |
| Tableau 4 : Tableau comparatif des méthodes utilisées pour l'analyse des métaux : | X-295 |
| Tableau 5 : Tableau comparatif des méthodes utilisées pour l'analyse des aldéhydes : | X-296 |
| Tableau 6 : Tableau comparatif des méthodes utilisées pour l'analyse des gaz : | X-296 |
| Tableau 7: Prélèvements d'air – Salariés - Site 1. 19-20 Octobre 1998 - Résultats en CFU/m ³ | XI-352 |
| Tableau 8l : Prélèvements d'air – Salariés - Site 1. 19-20 Octobre 1998 - Résultats en CFU/m ³ | XI-353 |
| Tableau 9 : Prélèvements d'air – Salariés - Site 1. 19-20 Octobre 1998 - Résultats en CFU/m ³ | XI-354 |
| Tableau 10 : Prélèvements d'air – Salariés - Site 1. 19-20 Octobre 1998 - Résultats en CFU/m ³ | XI-355 |
| Tableau 11: Prélèvements d'air – Salariés - Site 1. 19-20 Octobre 1998 - Résultats en CFU/m ³ | XI-356 |
| Tableau 12 : Prélèvements d'air – Salariés - Site 1. 19-20 Octobre 1998 - Résultats en CFU/m ³ | XI-357 |
| Tableau 13 : Prélèvements d'air – Salariés - Site 1. 19-20 Octobre 1998 - Résultats en CFU/m ³ | XI-358 |
| Tableau 14: Prélèvements d'air – Salariés - Site 2. 25 Mars 1999 - Résultats en CFU/m ³ | XI-359 |
| Tableau 15 : Prélèvements d'air – Salariés - Site 2. 25 Mars 1999 - Résultats en CFU/m ³ | XI-360 |
| Tableau 16 : Prélèvements d'air – Salariés - Site 2. 25 Mars 1999 - Résultats en CFU/m ³ | XI-361 |
| Tableau 17: Prélèvements d'air – Salariés - Site 2. 25 Mars 1999 - Résultats en CFU/m ³ | XI-362 |
| Tableau 18 : Prélèvements d'air – Salariés - Site 2. 25 Mars 1999 - Résultats en CFU/m ³ | XI-363 |

Tableau 19 : Prélèvements d'air – Salariés - Site 2. 25 Mars 1999 - Résultats en CFU/m³XI-364

Tableau 20 : Site 1. Mesures dans l'environnement : Concentrations microbiologiques en CFU/m³ XI-365

X. ANNEXES METHODOLOGIQUES

Annexe X-1: critères de choix des sites

| RUBRIQUE | CRITÈRES PRÉLIMINAIRES | | SITA | | VIVENDI | | |
|--|---|---|--|----------------------|------------|----------------|--------|
| | | | SITE 3 | SITE 2 | SITE 4 | SITE 1 | |
| | SITES (dans l'ordre des visites dans chaque groupe) : | | | | | | |
| Caractéristiques de base | TECHNIQUES | Accessibilité à toutes les parties du site et à sa périphérie | +++ | +++ | / | +++ | |
| | | Proportions de déchets: (% OM) | -- (30 %) | +++ (70 %) | / | +++ (70 %) | |
| | | Non existence d'une pollution antérieure liée à une industrie | ++ | ++ | / | +++ | |
| Métrologie aérienne | TECHNIQUES | Vents dominants clairement définis | ++ | ++ | / | +++ | |
| | | Existence d'une topographie intéressante | + | +++ | --- | +++ | |
| | | Existence d'un dossier analytique des gaz | + | ++ | / | +++ | |
| | HUMAINS | Possibilité d'analyses spécifiques des différentes zones en fonction de leur ancienneté | ++ oui | ++ oui | --- non | +++ oui | |
| | | Autre activité industrielle de proximité limitante | -- activité S | - activité E | / | - autoroute | |
| | | Plaintes des populations proches | + | +++ | / | +++ | |
| Plantes lichens | TECHNIQUES | Diversité des lichens | +++ | - | / | + | |
| | | Nombre d'emplacements dans l'environnement proche du site | +++ | - | / | + | |
| | | Nombre d'emplacements dans la périphérie éloignée du site | +++ | - | / | ++ | |
| | | Présence d'autres indicateurs végétaux pouvant être utilisés | | ++ | / | ++ | |
| Animaux | PAS DE CONTRAINTES PARTICULIÈRES | | | | | | |
| Métrologie salariés | TECHNIQUES | Nombres de salariés | 14 | 20 | 15 | 8 | |
| | | Unicité des tâches | ++ | ++ | / | ++ | |
| | | Distance pour l'intervention | - | + | / | ++ | |
| | HUMAINES | Acceptation par le directeur : mise à disposition d'une salle | +++ | +++ | / | +++ | |
| | | temps de la visite médicale (1h30) | +++ | +++ | / | +++ | |
| | | Acceptation par les salariés port des pompes prise de sang tests spéciaux | | | | ++ | |
| | ECONOMIQUES | Coopération du Médecin du travail | Données non disponibles au moment du choix | | | | |
| Prise en charge du coût des visites médicales des salariés dits « témoins » par l'Entreprise | | | | | | +++ | |
| Autres | | Autre activité sur le site intéressante ou limitante | aucune | ++ amiante-ciment | --- | compostage | aucune |

points débattus avec l'ensemble des protagonistes

Annexe X-2 : points de prélèvements source : compléments pour les cartes des sites 1 et 2

Correspondance des points de mesures:

Site 1 :

Alvéole en exploitation :

| | |
|------------------------------------|-----|
| Source alvéole (gaz interstitiels) | G9 |
| 20 m au-dessus de l'alvéole | G10 |

Sources :

| | |
|--------------------------|--------------------|
| Fissures alvéole fermées | G7, G8, G8', G7-G8 |
| Biogaz réseau | G0, G1, G2, G3 |
| Sortie torchère | G4 |

Ambiance générale (campagne 27 et 28 janvier 2000) :

| | |
|------------|-----|
| Alvéole A' | P'1 |
| Alvéole B | P'2 |
| Alvéole C | P'3 |

Mesure environnement campagne 1 (campagne 27 et 28 septembre 1999) :

| | |
|---------------------------------------|----|
| Aval limite site et proximité alvéole | P0 |
| Aval 120 m alvéole | P1 |
| Aval 270 m alvéole | P2 |
| Aval 500 m alvéole | P3 |

Mesure environnement campagne 2 (campagne 27 et 28 janvier 2000) :

| | |
|----------------------|-----------|
| Amont 250 m | P amont 1 |
| Amont limite du site | P amont 2 |
| Aval 120 m alvéole | P aval 1 |
| Aval 600 m alvéole | P aval 2 |

Site 2 :

Alvéole en exploitation :

Source alvéole (gaz interstitiels) G4

Sources :

Fissures alvéole fermées G8
Biogaz réseau G0, G13, G14
Sortie torchère G1, G2, G3
STEP G10, G11, G12

Ambiance générale (campagne 11 et 12 mai 2000) :

Bordure alvéole exploitée (jour) P1
Zone réhabilitée P7, P7 bis
Digue aval (jour) P6

Mesure environnement campagne 1 (campagne 11 et 12 mai 2000) :

Amont limite du site P5
Aval 100 m P2
Aval 250 m P3
Aval 400 m P4
Aval 1000 m P8

Mesure environnement campagne 2 (campagne 12 septembre 2000) :

Aval 250 m alvéole P'1

Annexe X-3: principales méthodes d'analyses chimiques – dosage aux sources

EUROPOLL

Mesures fines des polluants & C.O.V.

Santé - Risques - Odeurs - Bruits

Etudes & Réalisations

Mesures C.O.V.

Etudes Conseils et d'Impact

Expertises Organiques et Olfactives

Mesures sur sources fixes

Principes Méthodes

Modes analytiques sensibilités

Europoll APE 742C

31

SARL Capital 50 000.00Frs

RCS Versailles B 320 060 080

45

S.S. 2 rue Amortaux B.P.

78730 ST Arnoult en Y

Tél : (1) 30 41 21

Fax : (1) 30 59 37 45

**EUROPOLL : MODES ANALYTIQUES ET SENSIBILITES
DES ANALYSES LES PLUS FREQUENTES**

| Types des Analyses | Modes des prélèvements | Choix des Durées | Choix des sensibilités µg/m3 |
|--|--|------------------|------------------------------|
| Comp. Organiques Volatils par Espèce | NIOSH GC - SM Cartouche ½' | 30' à 6h | >0,005 |
| Comp. Organiques Volatils par Famille | NIOSH GC - SM Cartouche ½'' | 30' à 6h | >0,005 |
| C.O.V. Global H.C.T. | NF X43-301 FID directe | 30'' à 6h | 0,3 à 2 ppm |
| | FID séquentiel rapide | 30'' à 6h | 0,1 µg/m3 |
| | NF X43-301 FID directe ou SM | 30'' à 6h | 0,3 à 2 ppm |
| | FID séquentiel rapide | 30'' à 6h | 0,1 µg/m3 |
| C.O.V. Global N.M.H. C.T.(Non méthanique) | Mode NF X43-301 FPD (Global S et/ou P) | 30'' à 6h | 0,01 |
| | Séparatif soufrés et/ou phosphorés | 10' à 6h | >0,1 |
| | H.P.L.C. | 30'' à 6h | 0,3 à 2 ppb |
| Soufrés et phosphorés | GC - SM avec C.O.V. | 30' à 6h | >0,010 |
| | GC - SM avec C.O.V. | 30' à 6h | >0,030 |
| Aldéhydes & cétones par espèce C1 à C6 | Electrophorèse capillaire | 30' à 6h | >0,050 |
| | GC - SM avec C.O.V. | 30' à 6h | >0,030 |
| Aldéhydes & cétones par espèce C3 à Cx>30 | GC - SM avec C.O.V. | 30' à 6h | >0,040 |
| | GC - SM avec C.O.V. | 30' à 6h | >0,005 |
| Alcools > C2 | GC - SM avec C.O.V. | 30' à 6h | >0,1 |
| Amines | | | |
| Amines > C2 | | | |
| Azotés (sauf thermolabiles) | | | |
| Esters | | | |
| Acides > C2 linéaires (quanti non répétitives) | | | |

| Types des Analyses | Modes des prélèvements | Choix des Durées | Choix des sensibilités µg/m3 |
|--|--|---|---|
| CH ₄ C ₂ H _x , C ₃ H _x CO, CO ₂ , N ₂ , O ₂ Cl F ⁻ SO _x H ₂ S, RSH NO _x NO _x NO ₂ | Microcatharométrie, FID, SM FID, SM Microcatharométrie, FID, SM Barbotage Chromato ionique Barbotage Electrode spécifique Barbotage Chromato ionique Barbotage spectrophotométrie Barbotage Chromato ionique Directe Chimi-luminescence Chimie - Spectrophotométrie | 30" à 6h 30" à 6h 30" à 6h 6h à 24h 6h à 24h 6h à 24h 6h à 24h 6h à 24h 15" à 1h 1h à 24 h | 0,5 à 50 0,005 à 0,1 0,5 à 3 ppm 0,5 à 2 0,5 à 2 0,5 à 2 0,1 à 5 0,1 à 2 0,3 à 2 ppm 3 à 5 ppb |

| Types des Analyses | Modes des prélèvements | Choix des Durées | Choix des sensibilités µg/m3 |
|--|--|------------------|------------------------------|
| Poussières | Filtration >0,7µm. | 8h à 24h | 10 à 50 |
| Poussières alvéolaires | Cyclone NF X43-259 | 8h à 40h | 10 à 50 |
| H.A.P. particulaires | NF X 43-265 NF X43-025, HPLC. | 6h à 24h | >0.050 |
| H.A.P. Volatils | XPX 43 239 ou NX 43294 ou NIOSH | 10' à 12h | >0.005 |
| Métaux lourds Particulaires Hg, As, Cd | Sur Filtre Abs. et spectro atomique | 12h à 24h | 0.1 à 5 |
| Métaux lourds Volatils Hg, As, Cd | Sur solution Abs. et spectro atomique | 12h à 24h | 0.01 à 1 |
| Autres Métaux | Sur Filtre spectro émission atomique | 12h à 24h | 1 à 5 |
| Dioxines sur air, gaz et eau | Prélèvement normalisée pour exploitation sous traitée agréée | | |

C.O.V. Composés Organiques Volatils

GC-SM Exploitation en Chromatographie Gazeuse et détection par Spectrométrie de Masse

FID Mesures de carbone organique global par Détecteur à Ionisation de Flamme séquentielle.

H.P.L.C. Chromatographie liquide haute performance

SPD Détection par Photo-ionisation de flamme des éléments Soufrés et Phosphorés.

EUROPOLL : AUTRES DONNEES

Arrêté en cours pour 1998 sur gaz d'émissions de sources fixes

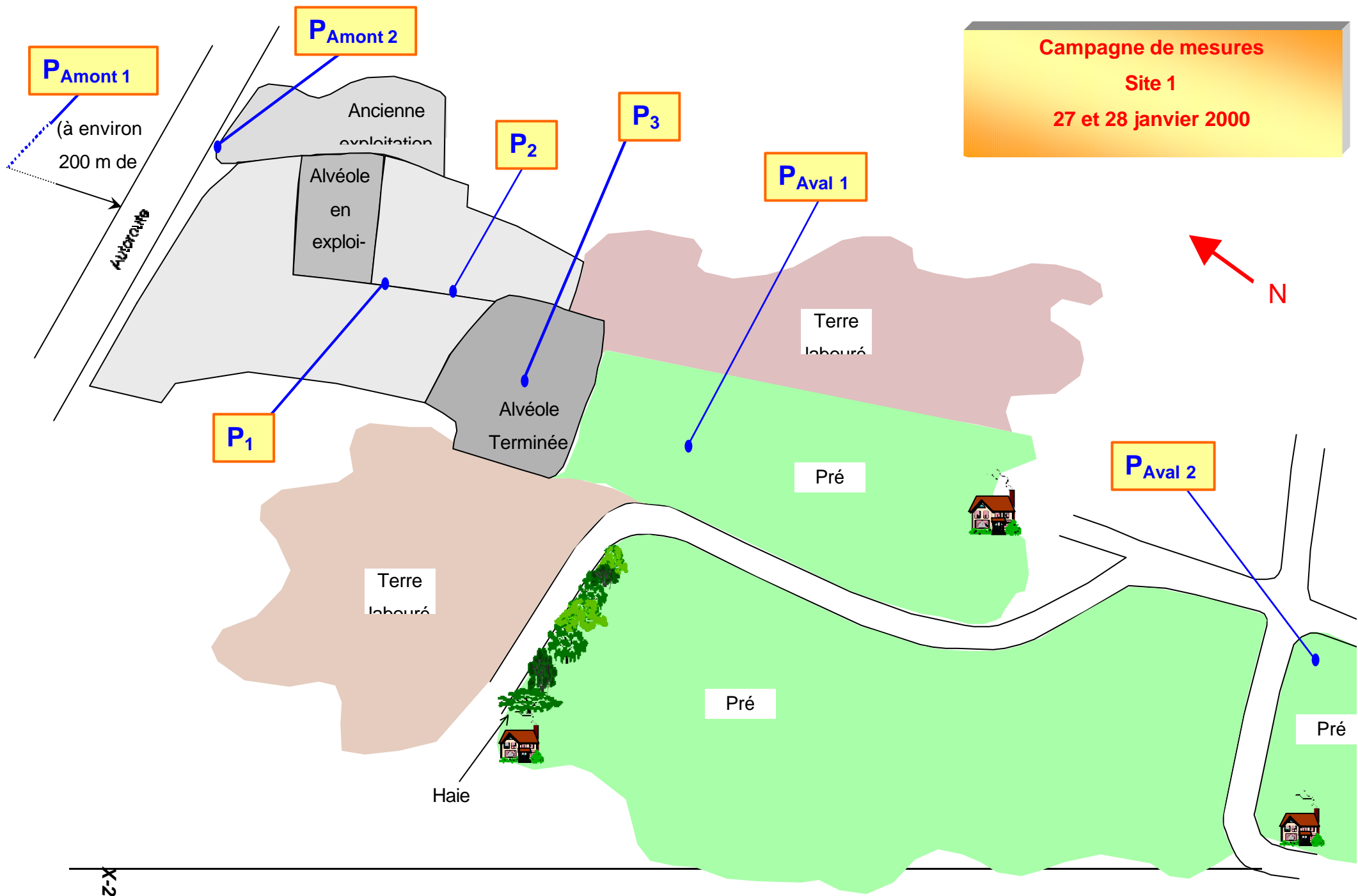
| Emissions des sources fixes | | Proposé |
|------------------------------------|------------------------------------|--|
| Europoll | | |
| Débit | NFX 10 112 | NFX 10112 ou NF X10-141, NF X43-260 CDU 674 INRS |
| O ₂ | NFX 20 372 à 379 | NFX 20 373 |
| Poussières | NFX 44 052 | NFX 44 052 |
| SO ₂ | NFX 43 310 - X 20 351 à 355 et 357 | X20 353 - 352 |
| CO | NFX 20 361 et 363 | NFX 20 363 |
| HCl | NFX 43 309 et NF X 43 330 | NF T 90 004 |
| Hg | NFX 43 308 | NFX 43 308 |
| HCT | NFX 43 301 | NFX 43 301 |
| Odeurs | NFX 43 101 à 104 | Calculs à |
| partir | | NFX 43 101 à 104 |

Autres mesures non citées

Proposé Europoll

| | |
|--------|-------------|
| Cd, As | ISO 11 835 |
| HF | ISO 10304-1 |
| SOx | ISO 10304-1 |

Annexe X-4: campagne de mesures en ambiance du site et en environnement proche (site 1 -> 2 cartes, site 2 -> 1 carte)

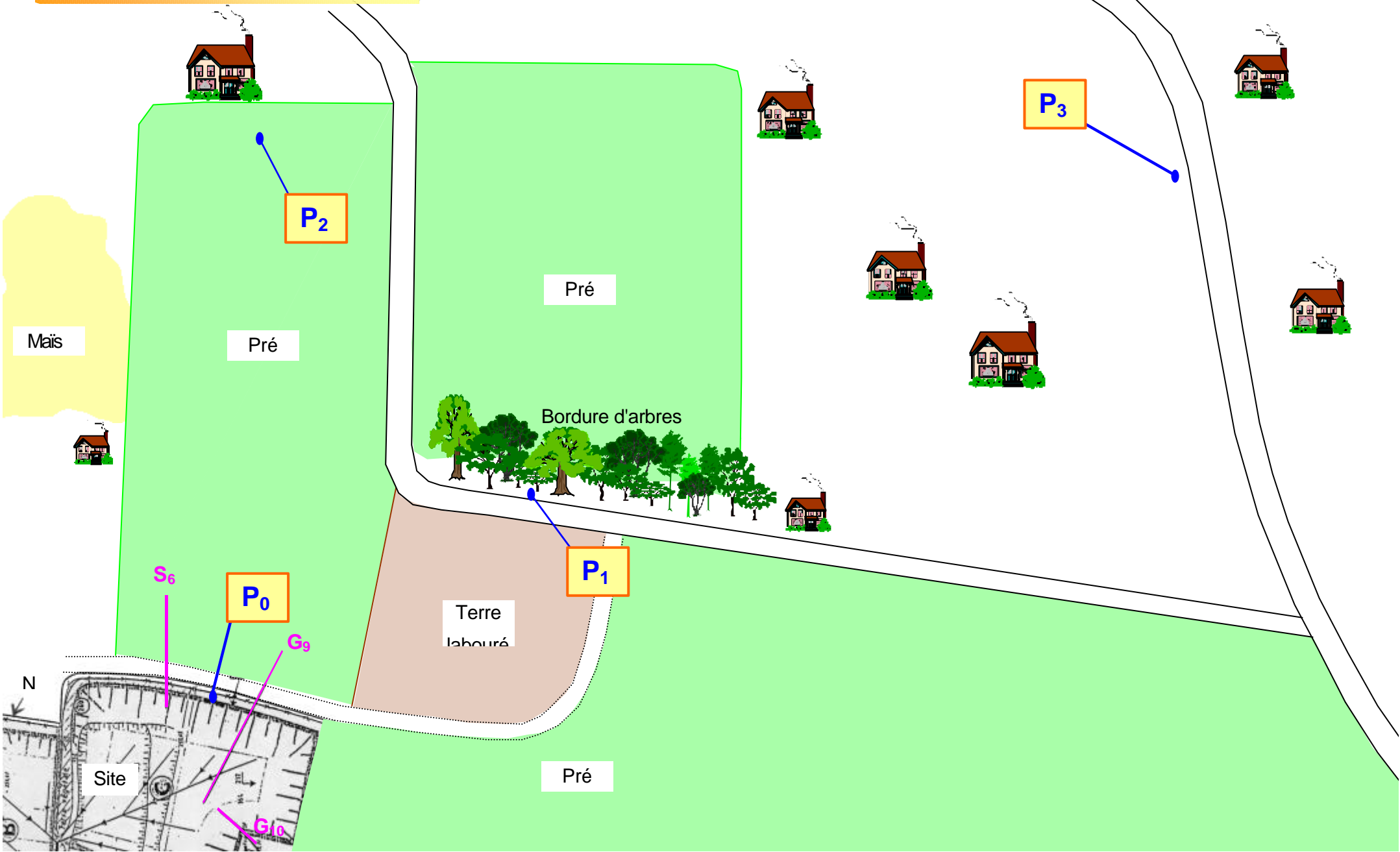


Campagne de mesures
Site 1
27 et 28 janvier 2000



X-282

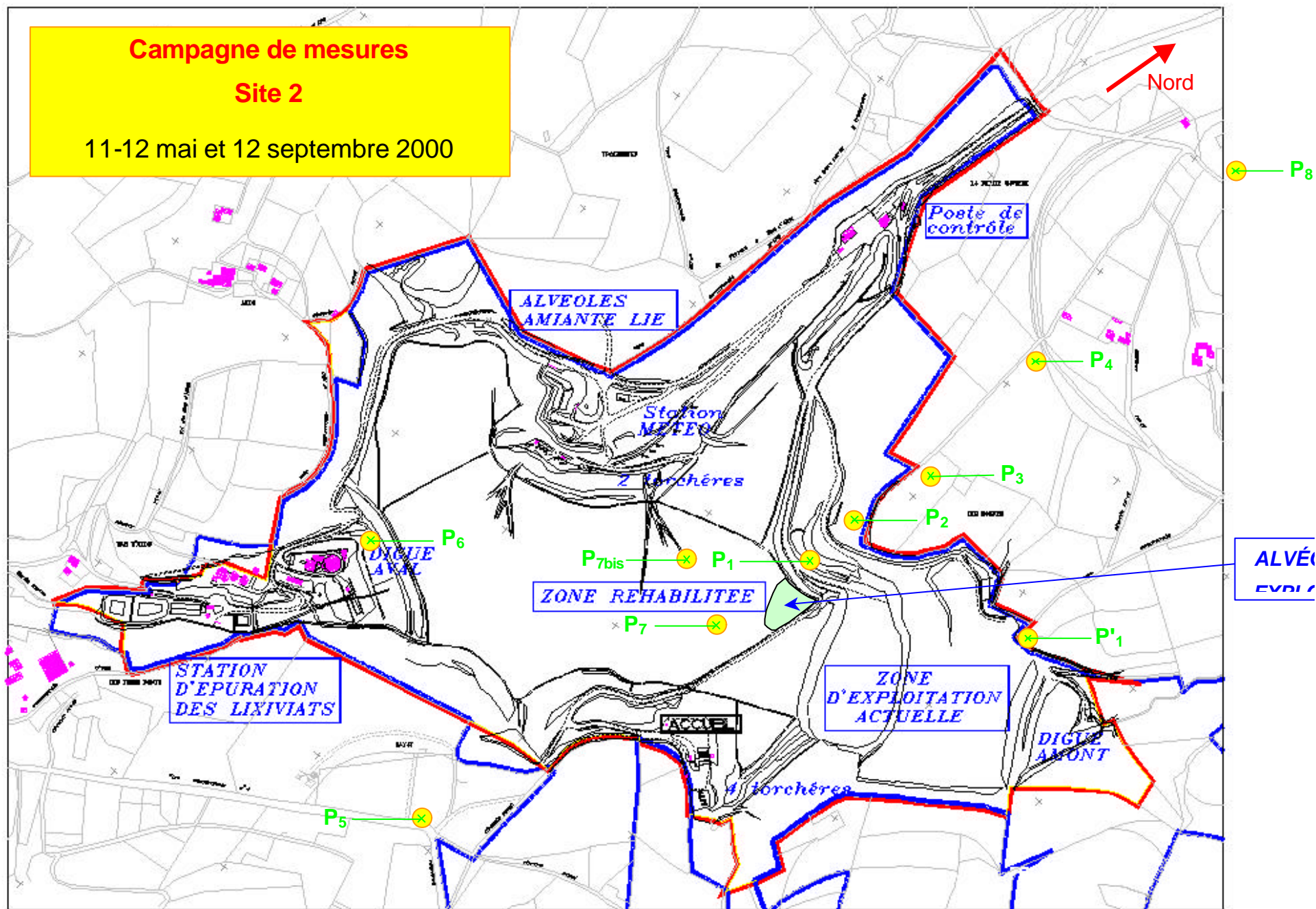
Campagne de mesures
Site 1
27 et 28 septembre 1999



Campagne de mesures

Site 2

11-12 mai et 12 septembre 2000



Annexe X-5 : Métrologie des salariés :prélèvements individuels et d'ambiance

Les jours où les prélèvements des salariés ont eu lieu, l'activité du site 1 était un peu plus élevée que celle habituellement enregistrée, notamment au niveau du nombre de transactions. Pour le site 2, elle était représentative de celle normalement constatée. Par contre sur ce site, durant les trois jours d'intervention, le pourcentage de DIB était égal voire supérieur à celui des ordures ménagères.

a / Planning pour le Site 1

| POSTE | J1 : Lundi 19 / 10 | J2 matin : Mardi 20 / 10 | J2 A-M : Mardi 20 / 10 | J3 matin : Mercredi 21 / 10 | J3 A-M : Mercredi 21 / 10 | J4 : Jeudi 22 / 10 |
|------------------------|---|-----------------------------|---------------------------|--------------------------------|------------------------------|--|
| agent réception | - Poussières alvéolaires - Poussières inhalables/ Métaux lourds | - Acides -Mercaptans | - Solvants - Aldéhydes | - Mercaptans - HAP | | |
| conducteur d'engin n°1 | - Poussières alvéolaires - Poussières inhalables/ Métaux lourds - CO | - Acides -Mercaptans | - Solvants - Aldéhydes | - Mercaptans - HAP | | - Solvants - Aldéhydes |
| conducteur d'engin n°2 | Poussières alvéolaires - Poussières inhalables/ Métaux lourds | - Acides -Mercaptans | - Aldéhydes | - Mercaptans - HAP | | - Solvants - Aldéhydes - CO |
| conducteur d'engin n°3 | | | | | | - Solvants -Mercaptans - Acides - Aldéhydes - HAP -Poussières alvéolaires -Poussières inhalables/ Métaux lourds |
| agent d'entretien | - Poussières alvéolaires - Poussières inhalables/ Métaux lourds | - Acides -Mercaptans | - Solvants - Aldéhydes | - Mercaptans - HAP | | |
| agent polyvalent | | - Acides -Mercaptans | - Solvants - Aldéhydes | - Mercaptans - HAP | | |
| agent lixiviats | | - Acides -Mercaptans | - Solvants - Aldéhydes | - Mercaptans - HAP | | |

Etude des polluants atmosphériques émis dans deux centres d'élimination des ordures ménagères : caractérisation et mesure des niveaux d'exposition ; mise au point d'outils de suivi en vue de l'évaluation des risques sanitaires.

| POSTE | J1 : Lundi 19 / 10 | J2 matin : Mardi 20 / 10 | J2 A-M : Mardi 20 / 10 | J3 matin : Mercredi 21 / 10 | J3 A-M : Mercredi 21 / 10 | J4 : Jeudi 22 / 10 |
|----------------|---|--|---------------------------|--|--|---|
| zone alvéole | - Poussières alvéolaires - Poussières inhalables/ Métaux lourds | - Acides | | - Mercaptans - HAP - Poussières alvéolaires - Poussières inhalables/ Métaux lourds | | Poussières alvéolaires Poussières inhalables/ Métaux lourds |
| | - CO (x2 : proche et éloignée camions) | - Poussières alvéolaires - Poussières inhalables/ Métaux lourds (proche camions) | | | - Solvants - Aldéhydes (proche camions) | (proche camions) |
| zone torchère | - Poussières alvéolaires - Poussières inhalables/ Métaux lourds - CO | - Poussières inhalables/ Métaux lourds - Mercaptans | - Solvants - Aldéhydes | HAP / Poussières inhalables Métaux lourds | | - Mercaptans |
| zone lixiviats | - Poussières inhalables/ Métaux lourds | - Poussières inhalables/ Métaux lourds | | - Poussières inhalables/ Métaux lourds | | |
| zone témoin | - Solvants - Poussières alvéolaires | - Acides - Mercaptans | | - HAP | | - Solvants - Mercaptans - Acides |
| | - Poussières inhalables/ Métaux lourds | - Solvants | | - Solvants - Mercaptans | | -Aldéhydes - HAP |

B/ Planning des prélèvements individuels et d'ambiance sur le Site 2

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|---------------|---|----------------------|---------------------|---|-------------------------------------|-----------|-------------------------------------|----------------------|-----------------------|---|---------------------|-----------------------|--|--|---------------------|---|-------------------------------------|---------------------|--|---------------------|----------------------|--|----------------------|--|
| GHE | | J1 : 23/03/99 : 5h30-12h30 Mardi matin | | | Mardi A-M J1 : 23/03/99 : 12h 30-19h00 | | | J1 : 19h à J2: 5h ambiance | | | Mercredi matin J2 : 24/03/99 : 5h30-12h30 | | | Mercredi A-M 2 : 24/03/99 : 12h 00-19h00 | | | J2 : 19h à J3: 5h ambiance | | | Jeudi matin J3 : 25/03/99 : 6h-12h30 | | | Jeudi A-M J3 : 25/03/99 : 12h 00-19h00 | | |
| Alvéole 1 Vérific. | indiv. | COV R-SH Pb/pou | | | | | | COV HAP Ald Pb/pou R-SH | | | COV HAP | | | | | | COV HAP Ald Pb/pou R-SH | | | COV Ald | | | | | |
| Alvéole 3 Condu. engins | indiv. | COV Ald. | Pb/pou. R-SH | CO HAP | COV Ald. | Pb/pou. R-SH | CO HAP | | COV Ald. | Pb/pou. u. R-SH | CO HAP | COV Ald. | Pb/pou. u. R-SH | CO HAP | | COV Ald. | Pb/pou. R-SH | CO HAP | COV Ald. | Pb/pou. R-SH | CO HAP | COV Ald. | Pb/pou. u. R-SH | CC HA | |
| BTP 2 Condu. engins | indiv. | COV Ald. R-SH | HAP Pb/pou. CO | COV Ald. R-SH | HAP Pb/pou. CO | COV HAP Ald Pb/pou R-SH | | COV Ald. R-SH | HAP Pb/pou. CO | COV Ald. R-SH | HAP Pb/pou. CO | COV Ald. R-SH | HAP Pb/pou. CO | COV HAP Ald Pb/pou R-SH | | COV Ald. R-SH | HAP Pb/pou. CO | COV HAP Ald Pb/pou R-SH | COV Ald. R-SH | HAP Pb/pou. CO | COV Ald. R-SH | HAP Pb/pou. CO | COV Ald. R-SH | HAP Pb/pou. CO | |
| Alvéole amiante | indiv. | | | | | | | 8h – 12h : 1 amiante | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Station ttt eaux | indiv. | 8h – 16h R-SH acides | | | | | | | | | 8h – 16h : R-SH acides | | | | | | 8h – 16h : R-SH acides | | | | | | | | |
| | ambia. longue | Ozone ? H2S /NH3/CO/CO2 COV Ald HAP | | | | | | | | | Ozone ? H2S /NH3/CO/CO2 COV Ald HAP | | | | | | Ozone ? H2S /NH3/CO/CO2 COV Ald HAP | | | | | | | | |
| Bascule | indiv. | 5h 45 – 12h 45 : | | | 12h 45 – 19h 00 : | | | | | | 5h 45 – 12h 45 : | | | 12h 45 – 19h 00 : | | | | | | 5h 45 – 12h 45 : | | | 12h 45 – 19h 00 : | | |
| | | COV HAP CO | | | COV HAP CO | | | COV HAP CO | | | COV HAP CO | | | COV HAP CO | | | COV HAP CO | | | COV HAP CO | | | COV HAP CO | | |
| Torchère | ambia. | COV | | | COV | | | | | | COV | | | COV | | | | | | COV | | | COV | | |
| Polyvalnt (biogaz) | indiv. | 8h – 16h : COV Ald. HAP | | | | | | | | | 8h – 16h : COV R-SH | | | | | | 8h – 16h : COV Pb/pou. | | | | | | | | |
| | instant | H2S /NH3/CO/CO2 | | | | | | | | | H2S /NH3/CO/CO2 | | | | | | H2S /NH3/CO/CO2 | | | | | | | | |

Annexe X-6 : Méthodes de prélèvement et analyses des composés chimiques dans l'air pour les salariés

a) Phase gazeuse

(i) les Composés Organiques Volatils :

Quantification des solvants apolaires : norme AFNOR NFX 43-252 adaptée et validée

- Prélèvement :

- Support : tube en verre contenant du charbon actif, deux plages de 100 et 50 mg de charbon actif.
- Débit : 100 ml / mn.

- Analyse :

- Désorption : 1 ml de sulfure de carbone
- Technique : CPG sur colonne capillaire/ FID

Alcools-Phénol : norme AFNOR NFX 43-258 adaptée et validée

Prélèvement: • Support : tube en verre contenant deux plages de silicagel

- Débit : 100 ml / mn.

Analyse :

- Désorption : Eau / méthanol
- Technique : CPG sur colonne capillaire / FID

Mercaptans :

Prélèvement :

- Support : filtre fibre de verre avec liant acrylique (\varnothing 37 mm) imprégné d'acétate mercurique
- Débit : 1l / mn.

Analyse :

- Désorption : en milieu acide
- Technique : CPG / détection de masse.

Aldéhydes : norme AFNOR NFX 43-264 adaptée et validée

Prélèvement :

- Support de silicagel imprégné de 2,4-dinitrophénylhydrazine (à conserver au froid, validité = 3 semaines).
- Débit : 100 ml / mn.

Analyse :

- Désorption : 5 ml d'acétonitrile
- Technique : HPLC / détection UV.
-

(ii) les Acides :

norme AFNOR NFX 43-281

Prélèvement :

- Support : deux filtres : PVC + cellulose imprégnée sulfate de sodium
- Débit : 1000 ml / mn.

Analyse :

- Technique : Chromatographie ionique

(iii) Monoxyde de carbone :

- Prélèvement :

- analyseurs en continu MULTIWARN et PAC CO
- Durée: 8 heures

Analyse :

- Transfert des données : l'appareil est relié à un enregistreur de données, le transfert se fait sur ordinateur en fin d'intervention.
- Technique : analyse électrochimique.

b) Phase particulaire

(i) Les Particules inertes (poussières) :

Granulométrie :

Sonde laser (GRIMM)

Impacteur en cascade ANDERSEN :

Prélèvement :

- Support : filtres en cellulose (sept niveaux granulométriques).
- Durée et débit : l'appareil est relié à un moteur lui assurant un débit constant de 28,32 L / mn (ce type de prélèvement nécessite donc une prise électrique à proximité), ceci pendant 8 heures.

Analyse :

- Technique : sélection granulométrique par impaction des particules sur des filtres en cellulose, dépendant directement des plateaux dont il est équipé.

Les filtres sont pesés avant et après le prélèvement.

(a) Poussières Inhalables : norme
AFNOR NFX 43-257

Prélèvement :

- Support : filtre en fibre de quartz, taré (\varnothing 37 mm), placé dans un porte-filtre fermé en polystyrène.
- Débit : 1000 ml / mn

Analyse :

- Technique : pesée des filtres avant et après intervention (comparaison à des filtre témoins) et évaluation en mg / m^3 . Il s'agit de particules de diamètre aérodynamique moyen = 20 μm .

(b) Poussières Alvéolaires : norme
AFNOR NFX 43-259

- Prélèvement :
- Support : filtre fibre de quartz, taré (\varnothing 37 mm), placé dans un porte-filtre fermé en polystyrène inclus dans un cyclone.
 - Appareil : pompe individuelle.
 - Débit : 1700 ml / mn.
- Analyse :
- Technique : pesée des filtres avant et après intervention (comparaison à des filtre témoins) et évaluation en mg / m^3 . Il s'agit de particules de diamètre < 5 μm .

c) Les Particules métalliques

Prélèvement :

- Support : filtre en fibre de quartz posé dans un porte-filtre en polystyrène, cassette fermée.
- Débit : 1000 ml / mn.

Analyse :

- Désorption : acide nitrique / acide fluorhydrique (2 / 3).
- Technique : spectrométrie d'Absorption Atomique électrothermique.

d) Les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques :

norme AFNOR NFX 43-294

Prélèvement :

- Support : filtre en PTFE/ polypropylène non taré (Ø 25 mm) placé dans un porte-filtre fermé en polypropylène
- Débit : 1000 ml / mn.

Analyse : •

- Désorption : acétonitrile aux ultrasons (60 mn). •
- Technique : HPLC gradient - détection par fluorescence.

Annexe X-7 : comparaison des méthodes analytiques

Table 1: comparatif des méthodes utilisées pour l'analyse des poussières

| Particules inspirables | Exposition salariés - ambiance travail - environnement - ambiance site - IUMTE | Source POLDEN - EUROPOLL |
|---------------------------|---|-----------------------------------|
| durée - débit prélèvement | 8h - 1 l/mn | 14 – 18 h à 1 l/mn |
| support | Filtre fibres de quartz cassette fermée | Filtre en fibre de verre 0.7µm |
| technique d' analyse | gravimétrie | gravimétrie |
| limite de détection | 20 µg/m ³ /8h | 0.1 mg/m ³ |
| Particules alvéolaires | Exposition salariés - ambiance travail - environnement - ambiance site - IUMTE | |
| durée - débit prélèvement | 8h - 1.7 l/mn | |
| support | Filtre fibres de quartz cyclone | |
| technique d' analyse | gravimétrie | |
| limite de détection | 20 µg/m ³ /8h | |

Table 2 : Tableau comparatif des méthodes utilisées pour l'analyse des COV :

| COV | Exposition salariés - ambiance travail IUMTE | source - environnement - ambiance site POLDEN - EUROPOLL |
|---------------------------|--|--|
| durée - débit prélèvement | 8h - 100 ml/mn | 1 – 2 h - 100 à 300ml/mn |
| support | Charbon actif 100/50 mg | Cartouche de carbotrap ou ténax |
| désorption | Solvant (CS ₂) | Thermique sous hélium |
| technique d' analyse | CPG-FID et CPG-SM | Spectrométrie de masse |
| colonne | DBwax - DB 5 | Capillaire apolaire (CP cil 5 cb) |
| limite de détection | 5 à 40 µg/m ³ /8h | 0.005 µg/m ³ |

Table 3: Tableau comparatif des méthodes utilisées pour l'analyse des HAP :

| | |
|---------------------------|---|
| HAP volatils | Source - environnement - ambiance site POLDEN - EUROPOLL |
| durée - débit prélèvement | 1 – 2 h à 100 à 300ml/mn |
| support | Cartouche de carbotrap ou ténax |
| désorption | Thermique sous hélium |
| technique d' analyse | Spectrométrie de masse |
| colonne | Capillaire apolaire (CP cil 5 cb) |
| limite de détection | 0.005 µg/m3 |

| | |
|---------------------------|---|
| HAP particulaires | Exposition salariés - ambiance travail - environnement - ambiance site - IUMTE |
| durée - débit prélèvement | 8h - ml/mn |
| support | Filtre téflon |
| désorption | Solvant (CS2) |
| technique d' analyse | HPLC-fluorescence |
| colonne | C18 |
| limite de détection | 0.05.10 ⁻³ µg/m3/8h |

Table 4: Tableau comparatif des méthodes utilisées pour l'analyse des métaux :

| Métaux particuliers | Exposition salariés - ambiance travail - environnement - ambiance site - IUMTE | Source - POLDEN - EUROPOLL |
|------------------------------|--|----------------------------------|
| durée – débit prélèvement | 8h 1l/mn | 14 à 18 h 1 l/mn |
| support | Filtre fibre de quartz | Filtre de 0.7µm |
| désorption | HF/HNO3 | |
| technique d' analyse | SAA électrothermique | ICP |
| limite de détection | 0.8.10 ⁻³ µg/m ³ /8h à 0.2 µg/m ³ | 10 à 50 µg/m ³ |

| Métaux volatils | Source POLDEN - EUROPOLL |
|------------------------------|-----------------------------|
| durée – débit prélèvement | 1 h à 12h 1l/mn |
| support | Barbotage |
| désorption | |
| technique d' analyse | ICP |
| limite de détection | 0.01 à 1 µg/m ³ |

Table 5: Tableau comparatif des méthodes utilisées pour l'analyse des aldéhydes :

| Aldéhydes et cétones légers | Exposition salariés - ambiance travail - environnement - ambiance site - IUMTE | Source POLDEN - EUROPOLL |
|-----------------------------|---|-------------------------------|
| durée - débit prélèvement | 8h - 200 ml/mn | 1 h à 8 h 1l/mn |
| support | Silicagel imprégné DNPH | Solution de barbotage DNPH |
| désorption | Solvant | |
| technique d'analyse | HPLC-UV | HPLC + UV |
| colonne | C18 | LC 18 |
| limite de détection | 1 µg/m ³ /8h | 0.5 µg/m ³ |

Table 6: Tableau comparatif des méthodes utilisées pour l'analyse des gaz :

| | Exposition salariés - ambiance travail -IUMTE | Source - environnement - ambiance site POLDEN - EUROPOLL |
|------------------|--|--|
| CO ₂ | Analyseur en continu (infra-rouge) | Mesure ponctuelle (chromatographie +catharométrie) |
| CO | Analyseur en continu (électrochimie) | Mesure semi-continue par infra-rouge |
| H ₂ S | Analyseur en continu (électrochimie) | Barbotage+colorimétrie (1,7l/min 1 à 8h sens:0,5 à 3 µg/m ³) |
| NH ₃ | Analyseur en continu (électrochimie) | Barbotage+colorimétrie (1,7l/min 1 à 8h sens:10 µg/m ³) |
| O ₃ | Analyseur en continu (électrochimie) | |

Annexe X-8: méthode d'évaluation de la stabilité atmosphérique selon les classes de Pasquill

A défaut de mesures directes de la turbulence (mesures SODAR, par exemple), la stabilité atmosphérique est estimée par un indicateur : la classe de PASQUILL. La stabilité de l'atmosphère est ainsi classée en six catégories :

- (1) Classe A : Très fortement instable
- (2) Classe B : Très instable
- (3) Classe C : Instable
- (4) Classe D : Neutre
- (5) Classe E : Stable
- (6) Classe F : Très stable

La turbulence ayant deux origines, l'une thermique et l'autre mécanique, il est nécessaire de disposer des indications suivantes :

- (1) Une mesure de vent pour évaluer la turbulence d'**origine mécanique** ;
- (2) Des informations concernant le rayonnement (solaire et infrarouge) : la position astronomique du soleil (heure dans l'année) et la couverture nuageuse (nébulosité en 1/8) pour apprécier la turbulence d'**origine thermique**.

Une nébulosité de 8/8 indique que le ciel est couvert. Une nébulosité de 1/8 est utilisée pour un ciel complètement dégagé.

La turbulence mécanique est prépondérante par vent fort et a tendance à rendre l'atmosphère thermiquement neutre. La turbulence thermique conduit à de fortes instabilités lorsque le sol est surchauffé et qu'un vent faible laisse s'établir la convection naturelle.

La détermination de la stabilité basée sur la classification de PASQUILL-TURNER est la suivante :

1. Détermination d'un indicateur I_v portant sur les effets mécaniques et utilisant la mesure du vent à 11 m :

| Vent (m/s) | $0 < v \leq 0,5$ | $0,5 < v \leq 1,5$ | $1,5 < v \leq 3,5$ | $3,5 < v \leq 5,5$ | $5,5 < v \leq 6,5$ | $6,5 < v$ |
|------------|------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------|
| I_v | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |

2. Détermination d'un indicateur de rayonnement R caractérisant les effets thermiques et utilisant la hauteur du soleil H , fonction du jour dans l'année et de l'heure dans le jour, ainsi que la nébulosité N :

| | Nuit | $0^\circ < H < 15^\circ$ | $15^\circ < H < 35^\circ$ | $35^\circ < H < 60^\circ$ | $60^\circ < H < 90^\circ$ |
|---------|---------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| $N = 0$ | $R = 5$ | $R = 5$ | $R = 3$ | $R = 2$ | $R = 1$ |
| $N = 1$ | $R = 5$ | $R = 5$ | $R = 3$ | $R = 2$ | $R = 1$ |
| $N = 2$ | $R = 5$ | $R = 5$ | $R = 3$ | $R = 2$ | $R = 1$ |
| $N = 3$ | $R = 5$ | $R = 5$ | $R = 3$ | $R = 2$ | $R = 1$ |
| $N = 4$ | $R = 5$ | $R = 4$ | $R = 6$ | $R = 2$ | $R = 1$ |
| $N = 5$ | $R = 4$ | $R = 4$ | $R = 6$ | $R = 3$ | $R = 2$ |
| $N = 6$ | $R = 4$ | $R = 4$ | $R = 6$ | $R = 3$ | $R = 2$ |
| $N = 7$ | $R = 4$ | $R = 4$ | $R = 6$ | $R = 3$ | $R = 2$ |
| $N = 8$ | $R = 6$ | $R = 6$ | $R = 6$ | $R = 6$ | $R = 3$ |

3. Croisement des deux indicateurs pour obtenir la classe de PASQUILL :

| | $R = 1$ | $R = 2$ | $R = 3$ | $R = 4$ | $R = 5$ | $R = 6$ |
|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| $I_v = 1$ | A | A | B | F | F | D |
| $I_v = 2$ | A | B | B | E | F | D |
| $I_v = 3$ | A | B | C | E | F | D |
| $I_v = 4$ | B | C | C | D | E | D |
| $I_v = 5$ | C | C | D | D | D | D |
| $I_v = 6$ | C | D | D | D | D | D |

On retrouve dans cette démarche les principes énoncés :

- (1) Par vent fort, l'atmosphère est bien brassée et neutre (D) ;
- (2) Par vent faible et si de l'énergie thermique près du sol est disponible, la convection naturelle peut s'établir (A, B ou C) ;
- (3) A défaut, l'atmosphère est stable (E ou F).

Il est nécessaire de préciser que cette méthode permet d'avoir une estimation globale de la stabilité atmosphérique. Elle ne permet en aucun cas d'avoir une description de la structure verticale de l'atmosphère. L'accès à cette structure (altitude et épaisseur des couches stables ou **inversion**) passe par une instrumentation spécifique du site qui n'est pas réalisée en routine par les centres météorologiques.

Annexe X-9 / Mesures complémentaires en ambiance et en environnement

1 – Composés Organiques Volatils (COV) :

- mesures avec différents temps de prélèvements
- Suivi dynamique pour un point

2 – Poussières : mesures ponctuelles

Annexe X-10 : Les examens complémentaires du suivi médical des salariés : exploration fonctionnelle respiratoire et tests neuro-psychologiques.

A/ L'exploration fonctionnelle respiratoire

La spirométrie a pour objectif de mesurer les volumes pulmonaires et les débits bronchiques. Les données obtenues ont un intérêt diagnostique, permettent de suivre l'évolution naturelle d'une maladie, les effets d'une thérapeutique, ou de chiffrer un handicap. Elles permettent également le dépistage d'une affection respiratoire débutante.

Toutes les spirométries sont réalisées par le même technicien. L'étalonnage de l'appareil est effectué en renseignant le paramètre température ambiante. A chaque spirométrie, avant l'inspiration forcée, il est demandé au salarié de bien vider ses poumons pour se rapprocher du zéro volume mobilisable (donc du volume résiduel (VR)).

Pour chaque sujet, 3 spirométries considérées interprétables sont réalisées consécutivement.

Les valeurs jugées nécessaires et indispensables sont les suivantes :

- la capacité vitale forcée (CVF) , c'est-à-dire, à la suite d'une inspiration profonde, d'expirer aussi puissamment , rapidement et complètement que possible.
- le volume expiratoire maximum seconde (VEMS) qui mesure la quantité d'air exhalé pendant la première seconde d'une expiration forcée.
- le débit expiratoire médian (DEM 25-75) ou le débit moyen entre 25% et 75 % de la capacité vitale (CV).
- le débit expiratoire moyen à 25 % de la capacité vitale (DEM 75).
- le débit expiratoire moyen à 50 % de la capacité vitale (DEM 50).
- le débit expiratoire moyen à 75 % de la capacité vitale (DEM 25).
- le débit expiratoire de pointe (DEP).

Volumes pulmonaires et débits expiratoires varient avec l'âge, le sexe et surtout la taille.

La méthode d'expression des résultats la plus habituelle consiste à rapporter les valeurs observées à des valeurs théoriques pour des sujets de même sexe, âge et taille, obtenues par l'étude d'une large population de sujets normaux. Un groupe de travail de la CEE a réalisé et proposé un jeu de valeurs théoriques couvrant un grand nombre d'index et applicables aux sujets de 18 à 70 ans (Quanjer, 1983)

Un autre moyen d'éliminer la plus forte source de variations c'est-à-dire les dimensions des poumons, consiste à rapporter la valeur observée à celle d'un autre indice. C'est l'un des

avantages du rapport VEMS/CV qui devient indépendant de la taille du sujet. Ce rapport est assez spécifique de l'obstruction car le VEMS et la CV ont à peu près la même sensibilité à l'égard de l'amputation parenchymateuse.

B/ Les tests neuro-psychologiques

Le choix des tests a été réalisé en collaboration avec Madame Hibert, psychologue, et Monsieur le Docteur Croisile de l'hôpital neurologique de Lyon.

La plupart des connaissances sur la neurotoxicité humaine provient d'une littérature abondante sur les effets de produits toxiques en milieu du travail. (Anger et Cassitto, 1993 ; Anger *et al.*, 1993). Ces études ont montré que beaucoup de substances peuvent être associées à une neurotoxicité après une exposition aiguë ou chronique. De plus, la plupart des effets sont sub-cliniques et non décelables sans l'administration de tests sensitifs. L'étendue des risques pour les salariés ont été décrit par Anger. Plus de 250 tests neuro-comportementaux ont été administrés à des travailleurs au cours de 185 études épidémiologiques. La méta-analyse a montré des effets toxiques significatifs dans 43 % des résultats de l'administration de ces tests. 28 substances et certaines expositions multiples à des produits chimiques ont été étudiées. L'exposition au disulfide de carbone, au plomb, au mercure, et à de nombreux solvants a été le plus souvent associée à des effets neuro-comportementaux (Anger, 1990). Les déficits les plus fréquents ont été retrouvés à l'aide des tests :

- d'intelligence et de mémoire,
- de relation spatiale,
- de coordination,
- de vitesse d'exécution.

Les études épidémiologiques en milieu de travail font état de plaintes subjectives : céphalées, insomnies, troubles de l'humeur, désintéressement, impuissance... Ces symptômes, d'allure banale, traduisent en réalité une détérioration intellectuelle portant sur l'essentiel des fonctions cognitives : mémoire, capacités visuo-motrices et visuo-spatiales, abstraction... Il s'agit le plus souvent de modifications mineures, parfois infra-cliniques. (Dally & Garnier, 1994).

Selon Tilson, « la neurotoxicité c'est la capacité qu'a un agent chimique, biologique ou physique d'induire sur le système nerveux des modifications structurelles ou fonctionnelles » (Tilson & Mitchell, 1992). La neurotoxicité s'exprime le plus souvent, dans un continuum de

symptômes et d'effets qui dépendent de la nature du produit chimique, de la dose et de la durée d'exposition (Jonhsen *et al*, 1992).

Dans notre étude transversale, les impacts neuro-comportementaux sont évalués par l'intermédiaire d'une batterie de tests adaptés. Dans notre cas, 6 tests ont été retenus, qui sont sensibles à l'exposition chronique à certains produits chimiques comme les solvants (benzène, toluène,...) et les métaux lourds (plomb, mercure,...). De plus, trois d'entre eux (Benton memory test, Purdue pegboard test et le test de vitesse de réaction avec choix) ont été retenus par l'Organisation Mondiale de la Santé (WHO Neurobehavioral Core Test Battery).

◇ Mini Mental State Examination

Pour faire une analyse de l'état mental général. Ce test consiste en une série de questions simples, faisant appel aux notions d'orientation, d'apprentissage, d'attention et de calcul, de rappel, de langage et de praxies constructives. C'est le test de base de tous les examens neuropsychologiques, qui peut être administré aussi bien à de jeunes enfants qu'à des adultes.

◇ Benton memory test

C'est un test de mémoire visuelle.

La lésion ou le trouble cérébral est la cause la plus fréquente d'un résultat imparfait. C'est cette sensibilité des tests de mémoire visuelle ou visuo-constructifs, comme le test de rétention visuelle de A.L. Benton, aux effets de la pathologie cérébrale qui constitue leur trait clinique exceptionnel et qui justifie la fréquente inclusion dans les batteries psycho-diagnostiques.

Ce test est un instrument clinique et de recherche destiné à l'examen de la perception visuelle, de la mémoire et des aptitudes visuo-constructives. Il existe différentes formes d'administration. Dans notre cas, l'administration choisie consiste en une série de 15 dessins-stimuli et 15 cartes de choix multiple. Chaque carte à choix multiple comprend le dessin-stimulus et trois autres. Chacune de ces quatre possibilités est désignée par les lettres A, B, C, D, selon la position sur la carte. Ce mode d'administration fournit un test de discrimination de formes relativement simples.

◇ Test de Stroop

Il permet la recherche d'un syndrome frontal. Le patient est soumis à la lecture de mots et des couleurs. Dans un premier temps, il doit lire le plus grand nombre de mots. Ensuite, il doit faire de même en donnant la couleur. Et enfin, la dernière liste associe en même temps les mots et les couleurs. Il devra cette fois indiquer la couleur de l'encre et ne pas lire le mot.

Grâce à ce test, il est aisé de voir si les connexions entre les différentes zones du lobe frontal se font correctement.

◇ **Purdue Pegboard Test**

Ce test mesure la dextérité manuelle, au niveau des bras, des mains et l'agilité des doigts. Il consiste en un tableau de bois, conçu avec des trous sur deux colonnes. Dans un premier temps, le patient doit prendre des pièces métalliques cylindriques et les enfiler dans chacun des trous en commençant par le haut et en descendant. Il le fait d'abord avec sa main droite, puis avec sa main gauche, et enfin avec les deux mains. A chaque exercice, l'examineur chronomètre le temps mis à remplir tous les trous. Il fait faire l'exercice trois fois de suite pour avoir un temps moyen.

Pour évaluer l'agilité des doigts, il est demandé au patient d'effectuer un petit exercice de construction d'une pièce métallique pré-définie, en utilisant les cylindres, des tubes creux et des rondelles. De même, l'exercice se fait trois fois de suite, en chronométrant.

◇ **Test de vitesse de réaction avec choix**

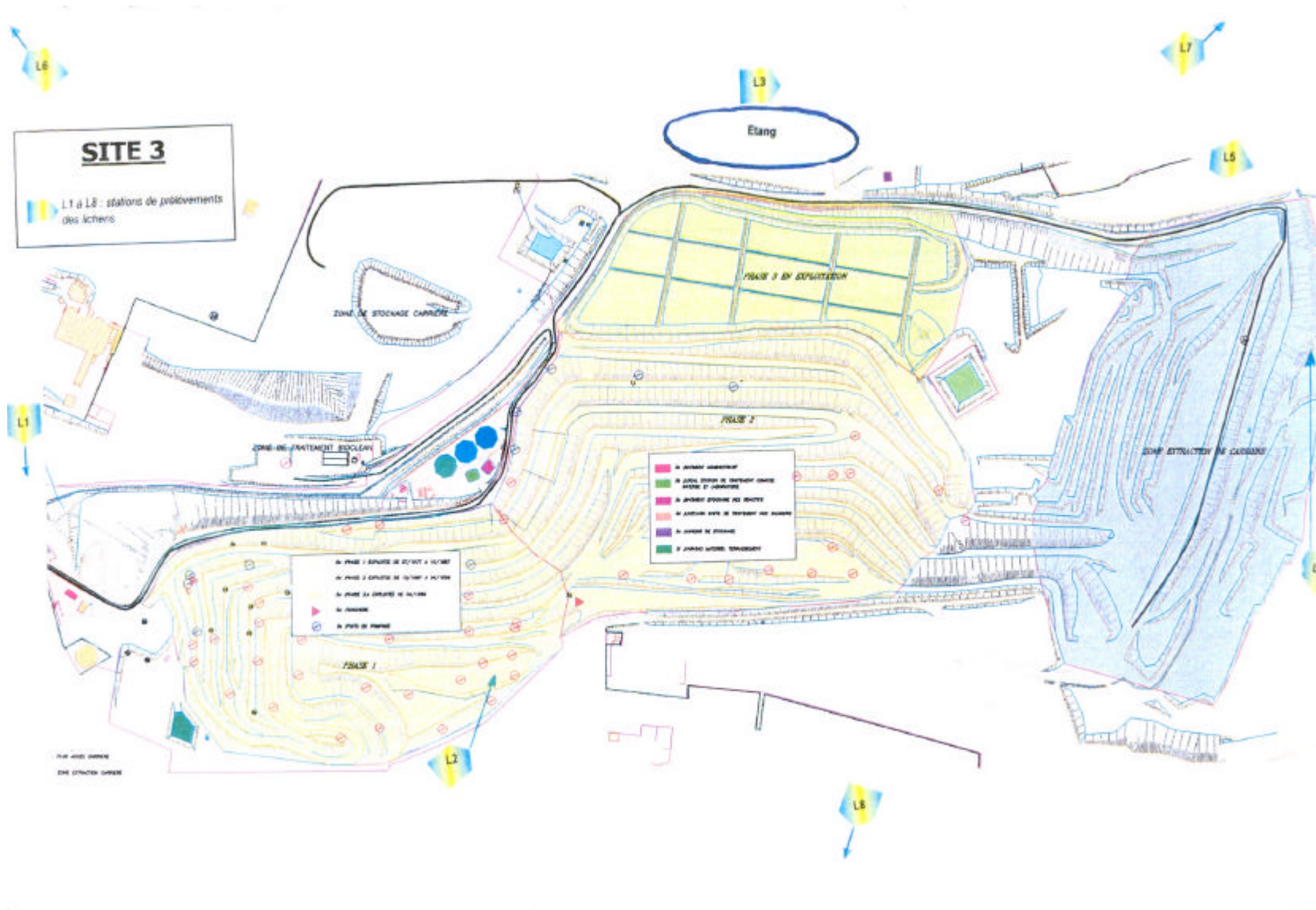
Le temps de réaction est souvent défini comme « le délai minimum d'une réponse volontaire déterminée par rapport à un stimulus donné ». Après les travaux d'Helmholz qui fut le premier à concevoir vraiment les mesures de vitesse de conduction des fibres nerveuses, le terme de temps de réaction fut adopté en 1873. Depuis, la méthode a étendu son champs d'application aussi bien à la médecine, des tout jeunes enfants à l'adulte, à la psychologie pathologique ou différentielle, à la psycho-physiologie, à la physiologie appliquée ou expérimentale, et à la psychologie du travail.

L'appareil, appelé chronoscope, envoie un stimulus visuel de couleur différente (rouge, vert, blanc), grâce à une lampe à incandescence. Le patient, tenant dans chacune de ses mains une presselle reliée à l'appareil, devra le plus rapidement possible et sans se tromper appuyer sur la ou les presselles correspondantes en fonction du stimulus visuel envoyé.

◇ **Echelle d'anxiété de Cattell**

Ce test d'anxiété permet d'interpréter les résultats des autres tests en fonction de la typologie de l'individu. La présente échelle d'anxiété est fondée sur une recherche étendue. elle est probablement le plus efficace des instruments disponibles sous forme de bref questionnaire, pour compléter le diagnostic clinique et apporter une mesure objective aux fins de recherche. La personne peut répondre aux 40 items sans surveillance. Le caractère privé et impersonnel de cette situation entraîne une moindre gêne et un plus grand consentement à être sincère et objectif.

Annexe X-11 : stations de prélèvements des lichens site 3



Annexe X-12 : méthodes d'analyses détaillées dans les lichens

Les analyses chimiques ont été réalisées au laboratoire municipal et régional de Rouen et au laboratoire ECE de Grenoble..

Métaux et chlorures :

Les analyses ont été réalisées sur les lichens, après congélation et lyophilisation.

Plomb – Cadmium – Mercure :

- Prise d'essai : environ 500 mg. Minéralisation en milieu nitrique à 90°C. Dosage par absorption atomique four ou flamme pour plomb et cadmium suivant la concentration de l'élément à analyser. Dosage par fluorescence atomique, technique des vapeurs froides pour le mercure.

Arsenic – Chrome total –Nickel – Manganèse – Zinc – Cuivre – Sélénium – Antimoine :

- Prise d'essai : environ 250 mg. Minéralisation à chaud en milieu acide par un mélange HNO₃/HCl O₄/H₂SO₄. Dosage par fluorescence atomique après formation de l'hydrure pour l'arsenic et le sélénium. Dosage par ICP pour le chrome, nickel, manganèse, zinc et cuivre. Dosage par absorption atomique, four graphite pour l'antimoine.

Chlorures – Nitrates – Soufre total :

- Prise d'essai : environ 500 mg. Minéralisation par calcination en bombe calorimétrique en présence d'oxygène et dosage par chromatographie ionique.

Thallium :

- Prise d'essai : environ 1 g. Calcination à 450°C en présence de nitrate d'ammonium. Reprise par un mélange HNO₃/HCl. Evaporation. Reprise par HCl. Dosage par polarographie (redissolution anodique).

➤ Hydrocarbures – COV – BTX :

- Hydrocarbures :

Extraction ultrasons + sulfure de carbone. Analyse par chromatographie en phase gazeuse sur colonne capillaire DB1 avec détecteur à ionisation de flamme.

- Composés organohalogénés volatils :

Extraction aux ultrasons + méthanol. Analyse des COHV suivant la norme T90-125 : espace de tête statique/chromatographie capillaire en phase gazeuse couplée à un détecteur à capture d'électrons.

- BTX :

Extraction aux ultrasons + méthanol. Analyse suivant la technique de « Purge and Trap » (purge à l'hélium) couplée à la chromatographie capillaire en phase gazeuse équipée d'un détecteur à ionisation de flamme (colonne : 60 m DB1 ; 0,32 mm ; μm).

Remarque : pour la station 3 on a rajouté une analyse de la forme orangé normale (n) et de la forme verte (v) des lichens récoltés.

➤ Analyse d'azote total (et de carbone total)

- Préparation des échantillons :

Les lichens ont été nettoyés afin d'éliminer les restes d'écorce et de terre à l'aide de pinces et d'une loupe binoculaire. Les thalles ont été découpés pour une meilleure homogénéisation (les doses accumulées variant en fonction de la taille des thalles) et ont été répartis dans 3 piluliers afin d'avoir 3 analyses désignées par a, b, c dans chaque station.

Les échantillons ont été placés à l'étuve à 105°C pendant 24 h.

La masse sèche a été broyée par broyage à bille pour obtenir la poudre à analyser.

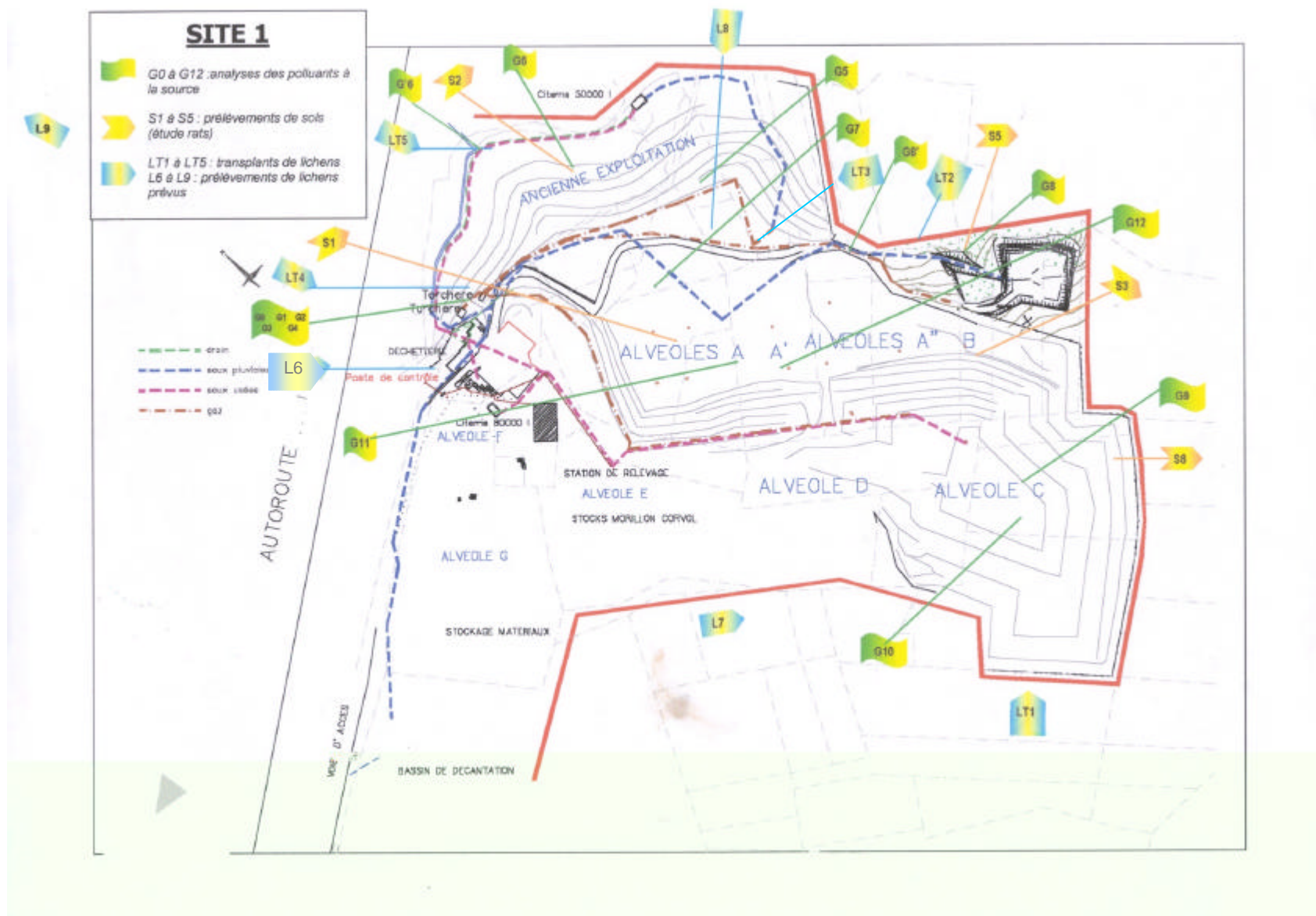
Analyse par chromatographie en phase gazeuse (CG, Carlo Erba NA 1500)

- Trois prélèvements de poudre sont réalisés à partir de chaque échantillon, pesés (1,5 mg, 2,5 mg et 4 mg) et placés dans une nacelle en étain. Installées dans le passeur d'échantillons, les nacelles sont alors introduites automatiquement dans l'appareil pour analyse.
- Analyse des anions par chromatographie liquide à haute performance (HPLC) (appareil de type DIONEX)
- Préparation des échantillons (nettoyage, passage à l'étuve, broyage), dilution, homogénéisation, suivi d'une centrifugation, puis d'une filtration.
 - Le filtrat obtenu a alors été passé au DIONEX.

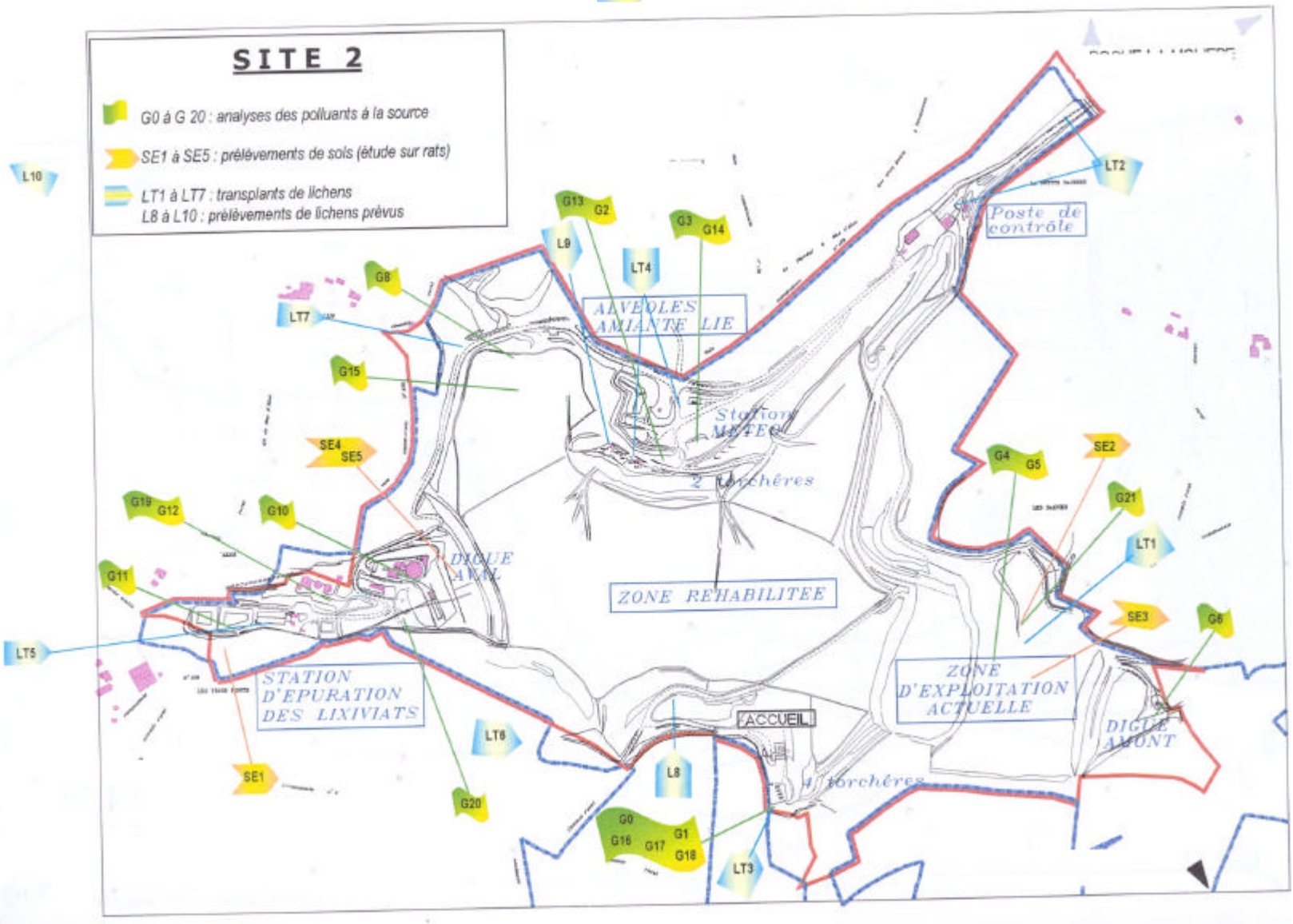
Exploitation des données

Pour les données obtenues au laboratoire de Grenoble, les résultats ont été précisés à l'aide du test statistique non paramétrique de Mann et Whitney calculé sur logiciel MINITAB.

Annexe X-13 : stations de prélèvements des lichens sites 1 et 2



L9



XI. ANNEXES DE RESULTATS

Annexe XI-1 : Résultats des métrologies aux sources, en ambiance, dans l'environnement et aux postes de travail sur le SITE 1

Table 7: Les Composés Organiques Volatils (COV) : SITE 1 ; mesures sur site

| Polluants (mg/m ³) | VME | POSTES DE TRAVAIL | | | ALVÉOLE EN EXPLOITATION | | | | AUTRES PARTIES DU SITE | | | | | | | |
|-----------------------------------|------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|----------------------|-----------------------------|---------------------------|---------------|-----------------------|---------------------|------------------------|------------------------|------------------------|---------------------|
| | | Poste de réception (n=1) | Agent polyvalent (n=2) | Agent chargé Lixiviats (n=1) | Source alvéole (gaz interstitiels) | Conducteurs engins (n=3) | Ambiance alvéole | 20 m au-dessus de l'alvéole | Sources | | | Ambiance générale | | | | |
| | | | | | | | | | Fissures Alvéoles fermées | Biogaz réseau | Sortie torchère | Talus | Alvéole A' | Alvéole B | Alvéole C | Torchère |
| <u>HAM</u> | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - Benzène | 16 | 3.10 ⁻³ | 3.10 ⁻³ | 5.10 ⁻³ | 0,112 | 63.10 ⁻³ | 45.10 ⁻³ | 1.35.10 ⁻³ | 1,4-1,8 | 0,58-1,35 | 17.10 ⁻³ | 4. 10 ⁻³ | 3,1.10 ⁻³ | 2,61.10 ⁻³ | 1,41.10 ⁻³ | 2,10 ⁻³ |
| - Toluène | 375 | 10.10 ⁻³ | 9.10 ⁻³ | 10.10 ⁻³ | 2,68 | | | 5,5.10 ⁻³ | 110-146 | 11,2-37,45 | 27.10 ⁻³ | 9.10 ⁻³ | 8,31.10 ⁻³ | 11,8.10 ⁻³ | 8,66.10 ⁻³ | 3.10 ⁻³ |
| <u>Alcools</u> | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - Méthanol | 260 | ND | ND | ND | | 5488.10 ⁻³ | | | | | | ND | | | | |
| - Ethanol | 1900 | 123.10 ⁻³ | 68.10 ⁻³ | 444.10 ⁻³ | 31.10 ⁻³ | 1089.10 ⁻³ | | 1,08. | 1,3-1,5 | 1,6-3,9 | 2,56.10 ⁻³ | 61.10 ⁻³ | <0,03.10 ⁻³ | <0,03.10 ⁻³ | <0,03.10 ⁻³ | 34.10 ⁻³ |
| <u>Oxygénés</u> | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - Acétone | 1800 | 3 | 2 | 3 | 4,27 | 21 | 10 | | 46,6 | | | | 5.10 ⁻³ | 6,2.10 ⁻³ | 9,4.10 ⁻³ | |
| - Cétones lourdes | | | | | 7,6 | | | 66,7.10 ⁻³ | 105-129 | 14,3-48,6 | 584.10 ⁻³ | | 9,29.10 ⁻³ | 10,3.10 ⁻³ | 11,1.10 ⁻³ | |
| <u>Chlorés</u> | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - Trichloréthylène | 405 | <128.10 ⁻³ | <86.10 ⁻³ | <132.10 ⁻³ | 18.10 ⁻³ | <246.10 ⁻³ | <40.10 ⁻³ | 0,053.10 ⁻³ | 2,09-2,8 | 0,54-2,74 | 0,84.10 ⁻³ | | 1,2.10 ⁻³ | 0,95.10 ⁻³ | 0,51.10 ⁻³ | |
| - Tétrachloréthylène | 335 | <128.10 ⁻³ | <86.10 ⁻³ | <132.10 ⁻³ | 75.10 ⁻³ | <246.10 ⁻³ | <40.10 ⁻³ | 0,036.10 ⁻³ | 3,28-4,61 | 0,27-1,08 | 0,40.10 ⁻³ | | 0,86.10 ⁻³ | 0,37.10 ⁻³ | 0,29.10 ⁻³ | |

Table 8: Les Composés Organiques Volatils (COV) : SITE 1 ; mesures hors site

| Polluants (mg/m ³) | MESURES ENVIRONNEMENT | | | | | | | | RÉFÉRENCES | | | | |
|-----------------------------------|---------------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------------|---------------------|--|
| | Campagne 1 | | | | Campagne 2 | | | | Zone urbaine (valeur min) | Zone urbaine (valeur max) | Valeur guide OMS | Valeur limite CSHPF | |
| | Aval limite site et proximité alvéole | Aval 120 m alvéole | Aval 270 m alvéole | Aval 500 m alvéole | Amont 250 m | Amont limite du site | Aval 120 m du site | Aval 600 m du site | | | | | |
| <u>HAM</u> | | | | | | | | | | | | | |
| - Benzène | 0,85.10 ⁻³ | 1,6.10 ⁻³ | 1,1.10 ⁻³ | 0,9.10 ⁻³ | 2,2.10 ⁻³ | 1.10 ⁻³ | 2.10 ⁻³ | 1,6.10 ⁻³ | 5.10 ⁻³ | 5 | | 2 (moy/an) | |
| - Toluène | 10,2.10 ⁻³ | 4,29.10 ⁻³ | 7,38.10 ⁻³ | 12,9.10 ⁻³ | 2,16. 10 ⁻³ | 1,05.10 ⁻³ | 2,16.10 ⁻³ | 1,74.10 ⁻³ | 5.10 ⁻³ | 150.10 ⁻³ | 260.10 ⁻³ (1semaine) | | |
| <u>Alcools</u> | | | | | | | | | | | | | |
| - Méthanol | | | | | | | | | | | | | |
| - Ethanol | 0,6. 10 ⁻³ | 0,89. 10 ⁻³ | 0,30. 10 ⁻³ | 0,86. 10 ⁻³ | <0,03.10 ⁻³ | <0,03.10 ⁻³ | <0,03.10 ⁻³ | <0,03.10 ⁻³ | | | | | |
| <u>Oxygénés</u> | | | | | | | | | | | | | |
| - Acétone | | | | | | | | | 4.10 ⁻³ | 0,1 | | | |
| - Cétones lourdes | 8,3.10 ⁻³ | 7,84.10 ⁻³ | 5,24.10 ⁻³ | 8.10 ⁻³ | 13,4.10 ⁻³ | 3,54.10 ⁻³ | 10,6.10 ⁻³ | 9,13.10 ⁻³ | | | | | |
| <u>Chlorés</u> | | | | | | | | | | | | | |
| - Trichloréthylène | 0,68.10 ⁻³ | 0,25.10 ⁻³ | 0,63.10 ⁻³ | 0,32.10 ⁻³ | 0,57.10 ⁻³ | 0,15.10 ⁻³ | 0,69.10 ⁻³ | 0,54.10 ⁻³ | 1 | 10 | | | |
| - Tétrachloréthylène | 0,45.10 ⁻³ | 0,12.10 ⁻³ | 0,55.10 ⁻³ | 0,4.10 ⁻³ | 0,26.10 ⁻³ | 0,08.10 ⁻³ | 0,30.10 ⁻³ | 0,24.10 ⁻³ | 1 | 5 | 0,25 | | |

Table 9: Les H.A.P. SITE 1 ; mesures sur site

| Polluants (mg/m ³) | VME | POSTES DE TRAVAIL | | | ALVÉOLE EN EXPLOITATION | | | | AUTRES PARTIES DU SITE | | | | | | | |
|-----------------------------------|-----|-----------------------------|---------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|------------------------------|-----------------------|--|---|-----------------------|-----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | | Poste de réception (n=1) | Agent polyvalent (n=2) | Agent chargé Lixiviats (n=1) | Source alvéole (gaz interstitiels) | Conduc-teurs engins (n=3) | Ambiance alvéole | 20 m au-dessus de l'alvéole | Sources | | | Ambiance générale | | | | |
| | | | | | | | | | Fissures Alvéoles fermées | Biogaz réseau | Sortie torchère | Talus | Alvéole A' | Alvéole B | Alvéole C | Torchère |
| <i>HAP particulaires</i> | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Benzo(a)pyrène | | 0,66.10 ⁻⁶ | 4,36.10 ⁻⁶ | 1,89.10 ⁻⁶ | | 4,08.10 ⁻⁶ | 0,35.10 ⁻⁶ | | | | | 0,56.10 ⁻⁶ | 1,51.10 ⁻⁶ | 1,65.10 ⁻⁶ | 1,81.10 ⁻⁶ | 0,22.10 ⁻⁶ |
| Fluoranthène | | 3,51.10 ⁻⁶ | 7,57.10 ⁻⁶ | 3,37.10 ⁻⁶ | | 9,74.10 ⁻⁶ | 0,95.10 ⁻⁶ | | | | | 0,99.10 ⁻⁶ | 5,8.10 ⁻⁶ | 6,35.10 ⁻⁶ | 6,48.10 ⁻⁶ | 2,28.10 ⁻⁶ |
| Pyrène | | 2,78.10 ⁻⁶ | 14,37.10 ⁻⁶ | 4,44.10 ⁻⁶ | | 11,91.10 ⁻⁶ | 0,87.10 ⁻⁶ | | | | | 0,79.10 ⁻⁶ | 4,74.10 ⁻⁶ | 5,26.10 ⁻⁶ | 5,48.10 ⁻⁶ | 1,74.10 ⁻⁶ |
| HAP particulaires totaux | | 12.10 ⁻⁶ | 46.10 ⁻⁶ | 19.10 ⁻⁶ | | 45.10 ⁻⁶ | 4.10 ⁻⁶ | | | | | 5,65.10 ⁻⁶ | 22,5.10 ⁻⁶ | 25,9.10 ⁻⁶ | 26,1.10 ⁻⁶ | 6,36.10 ⁻⁶ |
| <i>HAP gazeux</i> | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - Naphtalène | | | | | 5.10 ⁻³ | | 0,14.10 ⁻³ | 12. 10 ⁻³ 92.10 ⁻³ | 40.10 ⁻³ 167.10 ⁻³ | 2,15.10 ⁻³ | | 0,51.10 ⁻³ | 0,54.10 ⁻³ | 0,52.10 ⁻³ | | |
| HAP gazeux totaux | | | | | 10.10 ⁻³ | | 0,25.10 ⁻³ | 11,3.10 ⁻³ 22,4.10 ⁻³ | 47.10 ⁻³ 556.10 ⁻³ | 3,84.10 ⁻³ | | 0,87.10 ⁻³ | 0,75.10 ⁻³ | 0,65.10 ⁻³ | | |

Table 10: Les H.A.P. SITE 1 ; mesures hors site

| Polluants (mg/m ³) | MESURES ENVIRONNEMENT | | | | | | | | RÉFÉRENCES | | | | |
|-----------------------------------|---------------------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------------|------------------------------|---------------------|------------------------|----------------------|
| | Campagne 1 | | | | Campagne 2 | | | | Zone urbaine (valeur min) | Zone urbaine (valeur max) | Valeur guide OMS | Valeur limite CSHPF | |
| | Aval limite site et proximité alvéole | Aval 120 m alvéole | Aval 270 m alvéole | Aval 500 m alvéole | Amont 250 m | Amont limite du site | Aval 120 m du site | Aval 600 m du site | | | | | |
| <u>HAP particulaires</u> | | | | | | | | | | | | | |
| Benzo(a)pyrène | | | | | 1,65.10 ⁻⁶ | 1,62.10 ⁻⁶ | 1,43.10 ⁻⁶ | 1,94.10 ⁻⁶ | 0,28.10 ⁻⁶ | 4,71.10 ⁻⁶ | | | 0,7.10 ⁻⁶ |
| Fluoranthène | | | | | 8,17.10 ⁻⁶ | 6,72.10 ⁻⁶ | 5,73.10 ⁻⁶ | 5,82.10 ⁻⁶ | 2,8.10 ⁻⁶ | 18,3.10 ⁻⁶ | | | |
| Pyrène | | | | | 12,92.10 ⁻⁶ | 5,37.10 ⁻⁶ | 4,85.10 ⁻⁶ | 4,67.10 ⁻⁶ | 2,1.10 ⁻⁶ | 25,9.10 ⁻⁶ | | | |
| HAP particulaires totaux | | | | | 38,5.10 ⁻⁶ | 26,5.10 ⁻⁶ | 23,1.10 ⁻⁶ | 23,9.10 ⁻⁶ | | | | | |
| <u>HAP gazeux</u> | | | | | | | | | | | | | |
| - Naphtalène | 0,20.10 ⁻³ | 0,055.10 ⁻³ | 0,15.10 ⁻³ | 0,12.10 ⁻³ | 0,61.10 ⁻³ | 0,038.10 ⁻³ | 0,55.10 ⁻³ | 0,45.10 ⁻³ | | | | | |
| HAP gazeux totaux | 0,39.10 ⁻³ | 0,27.10 ⁻³ | 0,34.10 ⁻³ | 0,31.10 ⁻³ | 0,79.10 ⁻³ | 0,15.10 ⁻³ | 0,74.10 ⁻³ | 0,62.10 ⁻³ | | | | | |

Table 11: Les métaux SITE 1 : mesures sur site

| Polluants (mg/m ³) | VM | POSTES DE TRAVAIL | | | ALVÉOLE EN EXPLOITATION | | | | AUTRES PARTIES DU SITE | | | | | | | |
|---|------|-----------------------------|---------------------------|------------------------------------|--|-----------------------------|-------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|------------------------|
| | | Poste de réception (n=1) | Agent polyvalent (n=2) | Agent chargé Lixiviats (n=1) | Source alvéole (gaz inters- ticiels) | Conducteurs Engins (n=3) | Ambiance alvéole | 20 m au-dessus de l'alvéole | Sources | | | Ambiance générale | | | | |
| | | | | | | | | | Fissures Alvéoles fermées | Biogaz réseau | Sortie torchère | Talus | Alvéole A' | Alvéole B | Alvéole C | Torchère |
| <u>Arsenic</u> particulaire | 0,2 | <0,046.10 ⁻³ | <0,051.10 ⁻³ | | | <0,09.10 ⁻³ | <0,03.10 ⁻³ | ND | | 0,01 | ND | <0,047.10 ⁻³ | <54.10 ⁻³ | <52.10 ⁻³ | <70.10 ⁻³ | |
| gazeux | | | | <12.10 ⁻³ | | | | | <32.10 ⁻³ | <5.10 ⁻³ | <16.10 ⁻³ | | | | | |
| <u>Chrome</u> particulaire | 0,5 | <0,091.10 ⁻³ | <0,145.10 ⁻³ | <0,031.10 ⁻³ | | <0,17.10 ⁻³ | 0,0215.10 ⁻³ | 5,3.10 ⁻³ | | 3,3.10 ⁻³ | 7,9.10 ⁻³ | 0,147.10 ⁻³ | 55.10 ⁻³ | 161.10 ⁻³ | 84.10 ⁻³ | |
| gazeux | | | | <2.10 ⁻³ | | | | | <5,3.10 ⁻³ | <5.10 ⁻³ | <2,7.10 ⁻³ | | | | | |
| <u>Cadmium</u> particulaire | 0,05 | 0,004.10 ⁻³ | <0,003.10 ⁻³ | 0,002.10 ⁻³ | | <0,052.10 ⁻³ | <0,001.10 ⁻³ | ND | | ND | ND | 0,03.10 ⁻³ | 7.10 ⁻³ | 1.10 ⁻³ | <1.10 ⁻³ | 0,001.10 ⁻³ |
| gazeux | | | | 303.10 ⁻³ | | | | | 62.10 ⁻³ | 47.10 ⁻³ | 7.10 ⁻³ | | | | | |
| <u>Manganèse</u> particulaire | 1 | <0,091.10 ⁻³ | <0,145.10 ⁻³ | 0,063.10 ⁻³ | | 0,315.10 ⁻³ | 0,3.10 ⁻³ | 1,8.10 ⁻³ | | ND | 8.10 ⁻³ | | 236.10 ⁻³ | 168.10 ⁻³ | 84.10 ⁻³ | |
| gazeux | | | | 137.10 ⁻³ | | | | | 3,12.10 ⁻³ | 17.10 ⁻³ | 1,58 | | | | | |
| <u>Nickel</u> particulaire | 1 | <0,091.10 ⁻³ | <0,145.10 ⁻³ | <0,031.10 ⁻³ | | 0,24.10 ⁻³ | <0,08.10 ⁻³ | 4.10 ⁻³ | | 9.10 ⁻³ | 12.10 ⁻³ | 0,098.10 ⁻³ | 116.10 ⁻³ | 70.10 ⁻³ | 95.10 ⁻³ | <.10 ⁻³ |
| gazeux | | | | <.10 ⁻³ | | | | | <3,5.10 ⁻³ | <8.10 ⁻³ | <1,8.10 ⁻³ | | | | | |
| <u>Plomb</u> particulaire | 0,15 | <.10 ⁻³ | 1,58.10 ⁻³ | 0,009.10 ⁻³ | | 0,08.10 ⁻³ | 0,005.10 ⁻³ | <3.10 ⁻³ | | <5,5.10 ⁻³ | 41.10 ⁻³ | <0,004.10 ⁻³ | <54.10 ⁻³ | <52.10 ⁻³ | <70.10 ⁻³ | 0,012.10 ⁻³ |
| gazeux | | | | <3.10 ⁻³ | | | | | <9.10 ⁻³ | <8.10 ⁻³ | <4,4.10 ⁻³ | | | | | |

Table 12: Les métaux SITE 1 ; mesures hors du site

| Polluants (mg/m ³) | MESURES ENVIRONNEMENT | | | | | | | | RÉFÉRENCES | | | |
|-----------------------------------|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------|
| | Campagne 1 | | | | Campagne 2 | | | | Zone urbaine (valeur min) | Zone urbaine (valeur max) | Valeur guide OMS | Valeur limite GSHPF |
| | Aval limite site et proximité alvéole | Aval 120 m alvéole | Aval 270 m alvéole | Aval 500 m alvéole | Amont 250 m | Amont limite du site | Aval 120 m du site | Aval 600 m du site | | | | |
| <u>Arsenic</u> particulaire | | | | | <79.10 ⁻³ | <60.10 ⁻³ | <66.10 ⁻³ | <68.10 ⁻³ | 0,01.10 ⁻³ | 0,75.10 ⁻³ | | |
| <u>Chrome</u> particulaire | | | | | 71.10 ⁻³ | 132.10 ⁻³ | 55.10 ⁻³ | 3.10 ⁻³ | 0,004.10 ⁻³ | 0,07.10 ⁻³ | | |
| <u>Cadmium</u> particulaire | | | | | 4.10 ⁻³ | ND | 2.10 ⁻³ | 1.10 ⁻³ | 0,01.10 ⁻³ | 0,06.10 ⁻³ | 5.10 ⁻⁶ | |
| <u>Manganèse</u> particulaire | | | | | <80.10 ⁻³ | 531.10 ⁻³ | 183.10 ⁻³ | 205.10 ⁻³ | 0,01.10 ⁻³ | 0,07.10 ⁻³ | 0,15.10 ⁻³ | |
| <u>Nickel</u> particulaire | | | | | 47.10 ⁻³ | 62.10 ⁻³ | ND | 10.10 ⁻³ | 0,003.10 ⁻³ | 0,25.10 ⁻³ | | |
| <u>Plomb</u> particulaire | | | | | <80.10 ⁻³ | 105.10 ⁻³ | 96.10 ⁻³ | 202.10 ⁻³ | 0,01.10 ⁻³ | 3.10 ⁻³ | 0,5.10 ⁻³ | 2.10 ⁻³ |

Table 13: Les aldéhydes SITE 1, mesures sur site

| Polluants (mg/m ³) | VME | POSTES DE TRAVAIL | | | ALVÉOLE EN EXPLOITATION | | | | AUTRES PARTIES DU SITE | | | | | | | | |
|-----------------------------------|-----|-----------------------------|---------------------------|---------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------|-----------------------------|---------------------------|--|-----------------------|-------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | | Poste de réception (n=1) | Agent polyvalent (n=2) | Agent chargé Lixiviats (n=1) | Source alvéole (gaz interstitiels) | Conducteurs engins (n=3) | Ambiance alvéole | 20 m au-dessus de l'alvéole | Sources | | | Ambiance générale | | | | | |
| | | | | | | | | | Fissures Alvéoles fermées | Biogaz réseau | Sortie torchère | Talus | Alvéole A' | Alvéole B | Alvéole C | Torchère | |
| <u>Aldéhydes légers</u> | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Formol | 0,6 | 2,01.10 ⁻³ | 1,03.10 ⁻³ | 1,66.10 ⁻³ | 56,7.10 ⁻³ | 7,02.10 ⁻³ | 1,37.10 ⁻³ | | 42.10 ⁻³ | 46.10 ⁻³ | | | 1,82.10 ⁻³ | 5,28.10 ⁻³ | 4,62.10 ⁻³ | 7,64.10 ⁻³ | 0,41.10 ⁻³ |
| Acétaldéhyde | 180 | 0,98.10 ⁻³ | 0,64.10 ⁻³ | 1,23.10 ⁻³ | 98,2.10 ⁻³ | 19,2.10 ⁻³ | 2,96.10 ⁻³ | | 103.10 ⁻³ | 54.10 ⁻³ | | | | 5,95.10 ⁻³ | 5,15.10 ⁻³ | 9,96.10 ⁻³ | 0,29.10 ⁻³ |
| Propionaldéhyde | | 0,17.10 ⁻³ | 0,06.10 ⁻³ | 0,14.10 ⁻³ | 21,9.10 ⁻³ | 1,10.10 ⁻³ | 0,15.10 ⁻³ | | 19.10 ⁻³ | ND | | | | 2,52.10 ⁻³ | 2,92.10 ⁻³ | 3,91.10 ⁻³ | 0,03.10 ⁻³ |
| Somme des aldéhydes légers | | 3,21.10 ⁻³ | 1,78.10 ⁻³ | 3,09.10 ⁻³ | 427.10 ⁻³ | 28,1.10 ⁻³ | 4,51.10 ⁻³ | | 190.10 ⁻³ | 153.10 ⁻³ | | | 2,97.10 ⁻³ | 14,3.10 ⁻³ | 13,2.10 ⁻³ | 22,2.10 ⁻³ | 0,76.10 ⁻³ |
| <u>Aldéhydes lourds</u> | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - Benzaldéhyde | | | | | 24.10 ⁻³ | | | ND | ND | 336.10 ⁻³ 622.10 ⁻³ | 5,15.10 ⁻³ | | | 0,30.10 ⁻³ | 0,27.10 ⁻³ | 0,27.10 ⁻³ | |
| Somme des aldéhydes lourds | | | | | 158.10 ⁻³ | | | 1,92.10 ⁻³ | 0,58-10,9 | 140.10 ⁻³ 769.10 ⁻³ | 18,3.10 ⁻³ | | | 0,70.10 ⁻³ | 0,59.10 ⁻³ | 0,45.10 ⁻³ | |

Table 14: Les aldéhydes SITE 1, mesures hors site

| Polluants (m g/m ³) | MESURES ENVIRONNEMENT | | | | | | | | RÉFÉRENCES | | |
|------------------------------------|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------------|------------------------------|---------------------|
| | Campagne 1 | | | | Campagne 2 | | | | Zone urbaine (valeur min) | Zone urbaine (valeur max) | Valeur guide OMS |
| | Aval limite site et proximité alvéole | Aval 120 m alvéole | Aval 270 m alvéole | Aval 500 m alvéole | Amont 250 m | Amont limite du site | Aval 120 m du site | Aval 600 m du site | | | |
| <u>Aldéhydes légers</u> | | | | | | | | | | | |
| Formol | | | | | 8,93.10 ⁻³ | 5,74.10 ⁻³ | 7,15.10 ⁻³ | 7,74.10 ⁻³ | 1 | 20 | 0,1 |
| Acétaldéhyde | | | | | 10,4.10 ⁻³ | 5,76.10 ⁻³ | 8,45.10 ⁻³ | 9,28.10 ⁻³ | 0,7.10 ⁻³ | 5,4.0 ⁻³ | 50.10 ⁻³ |
| Propionaldéhyde | | | | | 3,8.10 ⁻³ | 2,71.10 ⁻³ | 3,27.10 ⁻³ | 4,35.10 ⁻³ | | | |
| Somme des aldéhydes légers | | | | | 24.10 ⁻³ | 14,8.10 ⁻³ | 19,5.10 ⁻³ | 22,1.10 ⁻³ | | | |
| <u>Aldéhydes lourds</u> | | | | | | | | | | | |
| - Benzaldéhyde | 0,18.10 ⁻³ | ,022.10 ⁻³ | 0,17.10 ⁻³ | 0,38.10 ⁻³ | 0,20.10 ⁻³ | 0,19.10 ⁻³ | 0,18.10 ⁻³ | 0,19.10 ⁻³ | | | |
| Somme des aldéhydes lourds | 0,21.10 ⁻³ | 0,24.10 ⁻³ | 0,20.10 ⁻³ | 0,56.10 ⁻³ | 0,545.10 ⁻³ | 0,41.10 ⁻³ | 0,55.10 ⁻³ | 0,42.10 ⁻³ | | | |

Table 15: Les poussières SITE 1, mesures sur site

| Polluants (mg/m ³) | VME | POSTES DE TRAVAIL | | ALVÉOLE EN EXPLOITATION | | | | AUTRES PARTIES DU SITE | | | | | | | |
|-----------------------------------|-----|-----------------------------|---------------------------|--|------------------------------|------------------|-----------------------------|---------------------------|---------------|-----------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------|
| | | Poste de réception (n=1) | Agent polyvalent (n=2) | Source alvéole (gaz inters-ticiels) | Conduc-teurs engins (n=3) | Ambiance alvéole | 20 m au-dessus de l'alvéole | Sources | | | Ambiance générale | | | | |
| | | | | | | | | Fissures Alvéoles fermées | Biogaz réseau | Sortie torchère | Talus | Alvéole A' | Alvéole B | Alvéole C | Torchère |
| Particules alvéolaires 0,5 à 5 µ | | 0,03 | 0,08 | | 0,29 | 0,04 | | | | | 0,09 | * 0,018 | * 0,021 | * 0,256 | |
| Poussières totales (>0,5µ) | 10 | 0,27 | 0,12 | | 0,53 | 0,13 | <0,2 (>0,7 µm) | | ND | 0,5 (>0,7 µm) | 0,14 | 0,07 * 0,059 | 0,14 * 0,045 | 0,26 * 0,395 | 0,21 |

* 0,0177 : moyenne des mesures ponctuelles à la différences des autres mesures réalisées sur 4 ou 8 h

Table 16: les poussières SITE 1, mesures hors site

| Polluants (mg/m ³) | MESURES ENVIRONNEMENT | | | | | | | | RÉFÉRENCES | | |
|-----------------------------------|---------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------------|----------------------|--------------------|--------------------|------------------------------|------------------------------|---------------------|
| | Campagne 1 | | | | Campagne 2 | | | | Zone urbaine (valeur min) | Zone urbaine (valeur max) | Valeur guide OMS |
| | Aval limite site et proximité alvéole | Aval 120 m alvéole | Aval 270 m alvéole | Aval 500 m alvéole | Amont 250 m | Amont limite du site | Aval 120 m du site | Aval 600 m du site | | | |
| Particules alvéolaires 0,5 à 5 µ | | | | | * 0,436 | * 0,046 | * 0,047 | * 0,805 | | | |
| Poussières totales (>0,5µ) | | | | | 0,13 * 0,562 | 0,4 * 0,221 | 0,02 * 0,333 | 0,05 * 0,923 | 0,05 | 0,27 | 0,12 |

0,0177 : moyenne des mesures ponctuelles à la différences des autres mesures réalisées sur 4 ou 8 h

Table 17: Les microorganismes SITE 1, mesures sur site

| Polluants (mg/m ³) | POSTES DE TRAVAIL | | | ALVÉOLE EN EXPLOITATION | | | | AUTRES PARTIES DU SITE | | | | | | | | |
|---|--|---------------------------|---|--|------------------------------|--|-----------------------------|---------------------------|---|-----------------|-------------------|------------|-----------|-----------|----------|--|
| | Poste de Réception (n=1) | Agent polyvalent (n=2) | Agent chargé Lixiviats (n=1) | Source alvéole (gaz interstitiels) | Conduc-teurs engins (n=3) | Ambiance alvéole | 20 m au-dessus de l'alvéole | Sources | | | Ambiance générale | | | | | |
| | | | | | | | | Fissures Alvéoles fermées | Biogaz réseau | Sortie torchère | Talus | Alvéole A' | Alvéole B | Alvéole C | Torchère | |
| Bactéries (CFU : Colonies Formant Unités) | 2,2- 5.10 ³ gram<0 : 250 | | 0,1-3.10 ⁴ gram>0:++ | 1,5-6.10 ³ Gram>0 : +++ | | Med : 3,5.10 ³ Max : 2 .10 ⁴ Gram>0 : ++ | | | 2,8.10 ⁴ gram<0:6.10 ³ | | | | | | | |
| Champignons (CFU : Colonies Formant Unités) | 0,2-3,5.10 ³ A. fumigatus +++ ou polymorphe | | 0,4-4.10 ³ Flore polymorphe | 0,2-3.10 ³ A. fumigatus +++ | | 0,4-2,5.10 ³ Flore et prédominance variable | | | 4.10 ³ A. fumigatus +++ | | | | | | | |
| Endotoxines (EU/m ³) | | | | | | 4,6-12 | | | | | | | | | | |

Table 18: Les microorganismes SITE 1, mesures hors site

| Polluants (mg/m ³) | MESURES ENVIRONNEMENT | | | | | | | | RÉFÉRENCES | |
|---|---|--|---|--|----------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|---|--|
| | Campagne 1 | | | | Campagne 2 | | | | Témoin amont site | Références zone urbaine |
| | Aval limite site et proximité alvéole | Aval 120 m alvéole | Aval 270 m alvéole | Aval 500 m alvéole | Amont 250 m | Amont limite du site | Aval 120 m du site | Aval 600 m du site | | |
| Bactéries (CFU : Colonies Formant Unités) | <200 | <200 9000 levures | <200 | <200 | | | | | 60-700 gram>0 | <500 gram>0 majoritaires |
| Champignons (CFU : Colonies Formant Unités) | <600 | 0,5-1.10 ³ Flore polymorphe extérieure | 0,5-0, 9.10 ³ Flore polymorphe extérieure | 0,5-1,3.10 ³ Flore polymorphe extérieure | | | | | <300 Flore polymorphe extérieure | Dépend de la saison Flore caractéristique |
| Endotoxines (EU/m ³) | | | | | | | | | | |

Annexe XI-2 : Résultats des métrologies aux sources, en ambiance, dans l'environnement et aux postes de travail sur le SITE 2

Table 19: Les Composés Organiques Volatils (COV) : SITE 2 – mesures sur site

| Polluants (mg/m ³) | VME | POSTES DE TRAVAIL | | | ALVEOLE EN EXPLOITATION | | | | AUTRES PARTIES DU SITE | | | | | | | | |
|--------------------------------|------|--------------------------|------------------------|------------------------------|-------------------------|--------------------------|-----------------------|----------------------|---------------------------|---------------|-----------------------|--|----------------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|---------------------|
| | | Poste de réception (n=6) | Agent polyvalent (n=3) | Agent chargé Lixiviats (n=4) | Source alvéole | Conducteurs engins (n=6) | Conducteurs BTP (n=3) | Vérificateurs (n=3) | Sources | | | | Ambiance générale | | | | |
| | | | | | | | | | Fissures Alvéoles fermées | Biogaz réseau | Sortie torchère | STEP | Bordure alvéole exploitée (jour) | Alvéole exploitée (nuit) | Zone réhabilitée | Digue aval (jour) | Digue aval (nuit) |
| <u>HAM</u> | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Benzène | 16 | <2.10 ⁻³ | <2.10 ⁻³ | <2.10 ⁻³ | 95.10 ⁻³ | 5.10 ⁻³ | <2.10 ⁻³ | 13.10 ⁻³ | 0,93 | 0,64-2 | 0,7.10 ⁻³ | 0,49.10 ⁻³ 2,62.10 ⁻³ | 0,295.10 ⁻³ | <2.10 ⁻³ | 0,237.10 ⁻³ | 0,142.10 ⁻³ | <2.10 ⁻³ |
| Toluène | 375 | 3.10 ⁻³ | 289.10 ⁻³ | | 11,2 | 223.10 ⁻³ | 86.10 ⁻³ | 95.10 ⁻³ | 0,42 | 4,65-58 | 7,8.10 ⁻³ | 5,2.10 ⁻³ 107.10 ⁻³ | 19,2.10 ⁻³ | 27.10 ⁻³ | 73,45.10 ⁻³ | 2,35.10 ⁻³ | ND |
| <u>Alcools</u> | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Méthanol | 260 | | 283.10 ⁻³ | | | 3007.10 ⁻³ | 392.10 ⁻³ | 298.10 ⁻³ | | | | | | 211.10 ⁻³ | | | |
| Ethanol | 1900 | 664.10 ⁻³ | | | 1,65 | 1029.10 ⁻³ | 335.10 ⁻³ | 479.10 ⁻³ | 0,60 | 0,60 | 5,16.10 ⁻³ | 0,3.10 ⁻³ 0,54.10 ⁻³ | 0,22.10 ⁻³ | | 0,195.10 ⁻³ | 0,123.10 ⁻³ | ND |
| <u>Oxygénés</u> | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Acétone | 1800 | | 46.10 ⁻³ | ND | 6,80 | 81.10 ⁻³ | 61.10 ⁻³ | 152.10 ⁻³ | 83.10 ⁻³ | | | 459.10 ⁻³ | 1,58.10 ⁻³ | 4.10 ⁻³ | 6,1.10 ⁻³ | 6,6.10 ⁻³ | ND |
| <u>Cétones lourdes</u> | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | 12,1 | | | | 11,6 | 3,9-94,2 | 84.10 ⁻³ | 35,2.10 ⁻³ 67,8.10 ⁻³ | 10,1.10 ⁻³ | | 0,048.10 ⁻³ | 1,615.10 ⁻³ | |
| <u>Chlorés</u> | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Trichloréthylène | 405 | <128.10 ⁻³ | <86.10 ⁻³ | <132.10 ⁻³ | 12,5 | 234.10 ⁻³ | ND | 152.10 ⁻³ | 52.10 ⁻³ | 0,235-5,3 | 0,45.10 ⁻³ | 0,08.10 ⁻³ 1,28.10 ⁻³ | 2,86.10 ⁻³ | ND | 0,080.10 ⁻³ | 0,154.10 ⁻³ | ND |
| Tétrachloréthylène | 335 | <128.10 ⁻³ | <86.10 ⁻³ | <132.10 ⁻³ | 2,54 | 143.10 ⁻³ | 185.10 ⁻³ | 61.10 ⁻³ | 83.10 ⁻³ | 0,26-4,93 | 0,79.10 ⁻³ | 0,014.10 ⁻³ 0,014.10 ⁻³ | 11,05.10 ⁻³ | 42.10 ⁻³ | 0,035.10 ⁻³ | 0,1.10 ⁻³ | ND |

Table 20: Les Composés Organiques Volatils (COV) - SITE 2- mesures hors site

| Polluants (mg/m ³) | MESURES ENVIRONNEMENT | | | | | | RÉFÉRENCES | | | |
|-----------------------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|------------------------|
| | Campagne 1 | | | Campagne 2 | | | Zone urbaine (valeur min) | Zone urbaine (valeur max) | Valeur guide OMS | Valeur limite CSHPP |
| | Amont limite du site | Aval 100 m alvéole | Aval 250 m alvéole | Aval 400 m alvéole | Aval 1000 m alvéole | Aval 250 m alvéole | | | | |
| <u>HAM</u> | | | | | | | | | | |
| - Benzène | 0,285.10 ⁻³ | | 0,063.10 ⁻³ | | 0,64.10 ⁻³ | 0,48.10 ⁻³ | 5.10 ⁻³ | 5 | | 2 |
| - Toluène | 3,3.10 ⁻³ | | 7.10 ⁻³ | | 13,4.10 ⁻³ | 1,35.10 ⁻³ | 5.10 ⁻³ | 150.10 ⁻³ | 260.10 ⁻³ (1 semaine) | |
| <u>Alcools</u> | | | | | | | | | | |
| - Méthanol | | | | | | | | | | |
| - Ethanol | 0,37.10 ⁻³ | | 0,17.10 ⁻³ | | 0,15.10 ⁻³ | 0,26.10 ⁻³ | | | | |
| <u>Oxygénés</u> | | | | | | | | | | |
| - Acétone | 5,8.10 ⁻³ | 5,8.10 ⁻³ | 5,5.10 ⁻³ | 6,0.10 ⁻³ | | | 4.10 ⁻³ | 0,1 | | |
| - Cétones lourds | 2,61.10 ⁻³ | | 0,33.10 ⁻³ | | 8,33.10 ⁻³ | 2,73.10 ⁻³ | | | | |
| <u>Chlorés</u> | | | | | | | | | | |
| - Trichloréthylène | 0,3.10 ⁻³ | | 0,104.10 ⁻³ | | 1,28.10 ⁻³ | 0,2.10 ⁻³ | 1 | 10 | | |
| - Tétrachloréthylène | 0,13.10 ⁻³ | | 0,21.10 ⁻³ | | 5,92.10 ⁻³ | 0,065.10 ⁻³ | 1 | 5 | 0,25 | |

Table 21: Les HAP SITE 2 – mesures sur site

| Polluants (mg/m ³) | VME | POSTES DE TRAVAIL | | | ALVEOLE EN EXPLOITATION | | | | AUTRES PARTIES DU SITE | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|-----|-----------------------------|---------------------------|---------------------------------|-------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|---------------------------|---------------|-----------------------|--|----------------------------------|--------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|
| | | Poste de réception (n=6) | Agent polyvalent (n=3) | Agent chargé Lixiviats (n=4) | Source alvéole | Conduc- teurs engins (n=6) | Conduc- teurs BTP (n=3) | Vérifica- teurs (n=5) | Sources | | | | Ambiance générale | | | | | |
| | | | | | | | | | Fissures Alvéoles fermées | Biogaz réseau | Sortie torchère | STEP | Bordure alvéole exploitée (jour) | Alvéole exploitée (nuit) | Zone réhabilitée | Digue aval (jour) | Digue aval (nuit) | |
| <u>HAP particulaires</u> | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Benzo(a)pyrène | | 0,84.10 ⁻⁶ | 1,06.10 ⁻⁶ | 0,18.10 ⁻⁶ | | 0,89.10 ⁻⁶ | 0,61.10 ⁻⁶ | 0,82.10 ⁻⁶ | | | | | | <0,15.10 ⁻⁶ | 0,58.10 ⁻⁶ | <0,3.10 ⁻⁶ | <0,2.10 ⁻⁶ | ND |
| Fluoranthène | | 5,77.10 ⁻⁶ | 6,34.10 ⁻⁶ | 2,01.10 ⁻⁶ | | 8,01.10 ⁻⁶ | 15,7.10 ⁻⁶ | 29,8.10 ⁻⁶ | | | | | | 1,96.10 ⁻⁶ | 3,07.10 ⁻⁶ | <0,76.10 ⁻⁶ | <0,5.10 ⁻⁶ | 2,17.10 ⁻⁶ |
| Pyrène | | 6,89.10 ⁻⁶ | 6,7.10 ⁻⁶ | 2,17.10 ⁻⁶ | | 8,2.10 ⁻⁶ | 12,4.10 ⁻⁶ | 18,9.10 ⁻⁶ | | | | | | 1,30.10 ⁻⁶ | 2,09.10 ⁻⁶ | <0,76.10 ⁻⁶ | <0,5.10 ⁻⁶ | 1,33.10 ⁻⁶ |
| HAP particulaires totaux | | 18,4.10 ⁻⁶ | 21,3.10 ⁻⁶ | 5,18.10 ⁻⁶ | | 21,2.10 ⁻⁶ | 34,7.10 ⁻⁶ | 55,5.10 ⁻⁶ | | | | | | 3,26.10 ⁻⁶ | 9,81.10 ⁻⁶ | 1,07.10 ⁻³ | ND | 4,02.10 ⁻³ |
| <u>HAP gazeux</u> | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - Naphtalène | | | | | | | | | 0,073 | 0,055-0,2 | 0,20.10 ⁻³ | 0,36.10 ⁻³ 1,14.10 ⁻³ | 0,53.10 ⁻³ | | | 0,13.10 ⁻³ | 0,019.10 ⁻³ | |
| HAP gazeux totaux | | | | | | | | | 0,11 | 0,082-0,42 | 2,28.10 ⁻³ | 1,56.10 ⁻³ 2,8.10 ⁻³ | 1,42.10 ⁻³ | | | 0,16.10 ⁻³ | 0,026.10 ⁻³ | |

Table 22: Les HAP SITE 2 – mesures hors site

| Polluants (mg/m ³) | MESURES ENVIRONNEMENT | | | | | RÉFÉRENCES | | | |
|------------------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------|------------------------|
| | Campagne 1 | | | | Campagne 2 | Zone urbaine (valeur min) | Zone urbaine (valeur max) | Valeur guide OMS | Valeur limite CSHPF |
| | Amont limite du site | Aval 100 m alvéole | Aval 250 m alvéole | Aval 400 m alvéole | Aval 1000 m alvéole | | | | |
| <u>HAP particuliers</u> | | | | | | | | | |
| Benzo(a)pyrène | <0,24.10 ⁻⁶ | <0,18.10 ⁻⁶ | <0,22.10 ⁻⁶ | <0,2.10 ⁻⁶ | | 0,28.10 ⁻⁶ | 4,71.10 ⁻⁶ | | 0,7.10 ⁻⁶ |
| Fluoranthène | <061.10 ⁻⁶ | <0,44.10 ⁻⁶ | 0,99.10 ⁻⁶ | 0,91.10 ⁻⁶ | | 2,8.10 ⁻⁶ | 18,3.10 ⁻⁶ | | |
| Pyrène | <0,61.10 ⁻⁶ | <0,44.10 ⁻⁶ | <0,54.10 ⁻⁶ | <0,49.10 ⁻⁶ | | 2,1.10 ⁻⁶ | 25,9.10 ⁻⁶ | | |
| HAP particuliers totaux | ND | ND | 0,99.10 ⁻⁶ | 0,91.10 ⁻⁶ | | | | | |
| <u>HAP gazeux</u> | | | | | | | | | |
| - Naphtalène | 0,041.10 ⁻³ | | 0,026.10 ⁻³ | | 0,165.10 ⁻³ | 0,018.10 ⁻³ | | | |
| HAP gazeux totaux | 0,064.10 ⁻³ | | 0,036.10 ⁻³ | | 0,274.10 ⁻³ | 0,044.10 ⁻³ | | | |

Table 23: Les métaux SITE 2 – mesures sur site

| Polluants (mg/m ³) | VME | POSTES DE TRAVAIL | | | ALVEOLE EN EXPLOITATION | | | | AUTRES PARTIES DU SITE | | | | Ambiance générale | | | | |
|-----------------------------------|------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------------|-------------------------|------------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|--|-----------------------|------|----------------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------|
| | | Poste de réception (n=6) | Agent polyvalent (n=3) | Agent chargé Lixiviats (n=4) | Source alvéole | Conduc-teurs engins (n=6) | Conduc-teurs BTP (n=3) | Vérifica-teurs (n=5) | Fissures Alvéoles fermées | Biogaz réseau | Sortie torchère | STEP | Bordure alvéole exploitée (jour) | Alvéole exploitée (nuit) | Zone réhabilitée | Digue aval (jour) | Digue aval (nuit) |
| <u>Arsenic</u> | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - particulaire | 0,2 | | 0,18.10 ⁻³ | | | <0,14.10 ⁻³ | <0,09.10 ⁻³ | <0,05.10 ⁻³ | | <2.10 ⁻³ | <2.10 ⁻³ | | <0,004.10 ⁻³ | <0,04.10 ⁻³ | <0,005.10 ⁻³ | <0,005.10 ⁻³ | |
| - gazeux | | | | | <3.10 ⁻³ | | | | 15.10 ⁻³ | <11.10 ⁻³ 22.10 ⁻³ | | | | | | | |
| <u>Chrome</u> | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - particulaire | 0,5 | | 0,25.10 ⁻³ | | | 0,18.10 ⁻³ | 0,61.10 ⁻³ | 0,14.10 ⁻³ | | <1.10 ⁻³ 14.10 ⁻³ | 16.10 ⁻³ | | 0,058.10 ⁻³ | <0,08.10 ⁻³ | <0,002.10 ⁻³ | <0,002.10 ⁻³ | |
| - gazeux | | | | | <3.10 ⁻³ | | | | <1,2.10 ⁻³ | <1,8.10 ⁻³ 2.10 ⁻³ | | | | | | | |
| <u>Cadmium</u> | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - particulaire | 0,05 | | 0,02.10 ⁻³ | | | 0,01.10 ⁻³ | 0,04.10 ⁻³ | 0,03.10 ⁻³ | | <0,7.10 ⁻³ | <0,2.10 ⁻³ | | 0,002.10 ⁻³ | <0,001.10 ⁻³ | <0,0002.10 ⁻³ | 0,006.10 ⁻³ | |
| - gazeux | | | | | 64.10 ⁻³ | | | | 0,8.10 ⁻³ | 1.10 ⁻³ 9.10 ⁻³ | 2,5.10 ⁻³ | | | | | | |
| <u>Manganèse</u> | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - particulaire | 1 | | 1,94.10 ⁻³ | | | 2,05.10 ⁻³ | 4,34.10 ⁻³ | 1,18.10 ⁻³ | | <1.10 ⁻³ 4,3.10 ⁻³ | 19.10 ⁻³ | | 0,62.10 ⁻³ | 0,08.10 ⁻³ | 0,12.10 ⁻³ | 0,13.10 ⁻³ | |
| - gazeux | | | | | 230.10 ⁻³ | | | | 4160.10 ⁻³ | 1,8.10 ⁻³ 59.10 ⁻³ | 12.10 ⁻³ | | | | | | |
| <u>Nickel</u> | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - particulaire | 1 | | 0,33.10 ⁻³ | | | 0,07.10 ⁻³ | 0,65.10 ⁻³ | <0,1.10 ⁻³ | | <0,8.10 ⁻³ 10.10 ⁻³ | 13.10 ⁻³ | | 0,014.10 ⁻³ | <0,08.10 ⁻³ | 0,23.10 ⁻³ | <0,001.10 ⁻³ | |
| - gazeux | | | | | <0,8.10 ⁻³ | | | | <0,8.10 ⁻³ | <1,2.10 ⁻³ | <0,3.10 ⁻³ | | | | | | |
| <u>Plomb</u> | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - particulaire | 0,15 | | 1,17.10 ⁻³ | | | 0,34.10 ⁻³ | 1,23.10 ⁻³ | 0,35.10 ⁻³ | | <2.10 ⁻³ 14.10 ⁻³ | <1,9.10 ⁻³ | | 0,11.10 ⁻³ | 0,07.10 ⁻³ | <0,002.10 ⁻³ | 0,022.10 ⁻³ | |
| - gazeux | | | | | <4,6.10 ⁻³ | | | | 5,1.10 ⁻³ | <3.10 ⁻³ | 10.10 ⁻³ | | | | | | |

Table 24: Les métaux SITE 2 – mesures hors site

| Polluants (mg/m ³) | MESURES ENVIRONNEMENT | | | | | | RÉFÉRENCES | | | |
|--------------------------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------|------------------------|
| | Campagne 1 | | | | | Campagne 2 | Zone urbaine (valeur min) | Zone urbaine (valeurmax) | Valeur guide OMS | Valeur limite CSHPF |
| | Amont limite du site | Aval 100 m alvéole | Aval 250 m alvéole | Aval 400 m alvéole | Aval 1000 m alvéole | Aval 250 m alvéole | | | | |
| <u>Arsenic particulaire</u> | | | | | | | 0,01.10 ⁻³ | 0,75.10 ⁻³ | | |
| <u>Chrome particulaire</u> | | | | | | | 0,004.10 ⁻³ | 0,07.10 ⁻³ | 5.10 ⁻⁶ | |
| <u>Cadmium particulaire</u> | <0,001.10 ⁻³ | 0,001.10 ⁻³ | 0,006.10 ⁻³ | 0,002.10 ⁻³ | | | 0,01.10 ⁻³ | 0,06.10 ⁻³ | | |
| <u>Manganèse particulaire</u> | <0,002.10 ⁻³ | 0,17.10 ⁻³ | 0,13.10 ⁻³ | <0,002.10 ⁻³ | | | 0,01.10 ⁻³ | 0,07.10 ⁻³ | 0,15.10 ⁻³ | |
| <u>Nickel particulaire</u> | | | | | | | 0,003.10 ⁻³ | 0,25.10 ⁻³ | | |
| <u>Plomb particulaire</u> | 0,027.10 ⁻³ | 0,044.10 ⁻³ | 0,065.10 ⁻³ | 0,009.10 ⁻³ | | | 0,5.10 ⁻³ | 3.10 ⁻³ | 0,5.10 ⁻³ | 2.10 ⁻³ |

Table 25: Les aldéhydes SITE 2 – mesures sur site

| Polluants (mg/m ³) | VME | POSTES DE TRAVAIL | | | ALVEOLE EN EXPLOITATION | | | | AUTRES PARTIES DU SITE | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|-----|-----------------------------|---------------------------|---------------------------------|-------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|---------------------------|---------------|-----------------------|--|----------------------------------|--------------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|
| | | Poste de réception (n=6) | Agent polyvalent (n=1) | Agent chargé Lixiviats (n=3) | Source alvéole | Conduc- teurs engins (n=5) | Condu- c-teurs BTP (n=3) | Vérifica- teurs (n=1) | Sources | | | | Ambiance générale | | | | | |
| | | | | | | | | | Fissures Alvéoles fermées | Biogaz réseau | Sortie torchère | STEP | Bordure alvéole exploitée (jour) | Alvéole exploitée (nuit) | Zone réhabilitée | Digue ava(jour) | Digue aval (nuit) | |
| <u>Aldéhydes légers</u> | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Formol | 0,6 | | | | 98.10 ⁻³ | 16.10 ⁻³ | 13.10 ⁻³ | 32.10 ⁻³ | 33.10 ⁻³ | | | | 19,2.10 ⁻³ | 4,95.10 ⁻³ | 4,4.10 ⁻³ | 4,79.10 ⁻³ | 1,69.10 ⁻³ | 3.10 ⁻³ |
| Acétaldéhyde | 180 | | 11,6.10 ⁻³ | 17.10 ⁻³ | 1370.10 ⁻³ | 45,75.10 ⁻³ | 16,1.10 ⁻³ | 64.10 ⁻³ | 51.10 ⁻³ | | | | 10,2.10 ⁻³ | 9,51.10 ⁻³ | 27.10 ⁻³ | 1,92.10 ⁻³ | 1,9.10 ⁻³ | ND |
| Propionaldéhydes | | | 13.10 ⁻³ | | 158.10 ⁻³ | 2,05.10 ⁻³ | 0,75.10 ⁻³ | 6,47.10 ⁻³ | <8.10 ⁻³ | | | | <4.10 ⁻³ | <0,11.10 ⁻³ | 1.10 ⁻³ | 6,37.10 ⁻³ | 7,54.10 ⁻³ | ND |
| Somme des aldéhydes légers | | | 3,06.10 ⁻³ | | 3000.10 ⁻³ | 160.10 ⁻³ | 96.10 ⁻³ | 305.10 ⁻³ | 764.10 ⁻³ | | | | 479.10 ⁻³ | 14,5.10 ⁻³ | 45.10 ⁻³ | 13,1.10 ⁻³ | 11,1.10 ⁻³ | 84.10 ⁻³ |
| <u>Aldéhydes lourds</u> | | | 84.10 ⁻³ | 68.10 ⁻³ | | | | | | | | | | | | | | |
| - Benzaldéhyde | | | | | 0,11 | | | | <0.01.10 ⁻³ | 0,73 | 6,86.10 ⁻³ | 0,48.10 ⁻³ 1,14.10 ⁻³ | | | | | | |
| Somme des aldéhydes lourds | | | | | 0,11 | | | | 1,23 | 0,81-1,5 | 15,5.10 ⁻³ | 1,7.10 ⁻³ 3,58.10 ⁻³ | | | | | | |

Table 26: Les aldéhydes SITE 2 – mesures hors site

| Polluants (mg/m ³) | MESURES ENVIRONNEMENT | | | | | | RÉFÉRENCES | | | |
|---------------------------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------|------------------------|
| | Campagne 1 | | | | | Campagne 2 | Zone urbaine (valeur min) | Zone urbaine (valeur max) | Valeur guide OMS | Valeur limite CSHPF |
| | Amont limite du site | Aval 100 m alvéole | Aval 250 m alvéole | Aval 400 m alvéole | Aval 1000 m alvéole | Aval 250 m alvéole | | | | |
| <u>Aldéhydes légers</u> | | | | | | | | | | |
| Formol | 1,22.10 ⁻³ | 3,14.10 ⁻³ | 2,15.10 ⁻³ | 2,4.10 ⁻³ | | | 1 | 20 | 0,1 | |
| Acétaldéhydes | 1,69.10 ⁻³ | 3,72.10 ⁻³ | 2,64.10 ⁻³ | 2,66.10 ⁻³ | | | 0,7.10 ⁻³ | 5,4.10 ⁻³ | 50.10 ⁻³ | |
| Propionaldéhydes | 6,9.10 ⁻³ | 5,33.10 ⁻³ | 5,01.10 ⁻³ | 5,67.10 ⁻³ | | | | | | |
| Somme des aldéhydes légers | 9,81.10 ⁻³ | 12,2.10 ⁻³ | 9,80.10 ⁻³ | 10,7.10 ⁻³ | | | | | | |
| <u>Aldéhydes lourds</u> | | | | | | | | | | |
| - Benzaldéhyde | 0,18.10 ⁻³ | | 0,081.10 ⁻³ | | 0,25.10 ⁻³ | 0,12.10 ⁻³ | | | | |
| Somme des aldéhydes lourds | 0,54.10 ⁻³ | | 0,27.10 ⁻³ | | 0,91.10 ⁻³ | 1,49.10 ⁻³ | | | | |

Table 27: Les poussières SITE 2- mesures sur site

| Polluants (mg/m ³) | VME | POSTES DE TRAVAIL | | | ALVEOLE EN EXPLOITATION | | | | AUTRES PARTIES DU SITE | | | | | | | | |
|-----------------------------------|-----|--------------------------|------------------------|------------------------------|-------------------------|---------------------------|------------------------|-----------------------|---------------------------|-------------------------------|------------------------------|------|---|--------------------------|----------------------|----------------------|-------------------|
| | | Poste de Réception (n=6) | Agent polyvalent (n=3) | Agent chargé Lixiviats (n=4) | Source alvéole | Conduc-teurs engins (n=6) | Conduc-teurs BTP (n=3) | Vérifica-teurs (n=3) | Fissures Alvéoles fermées | Biogaz réseau | Sortie torchère | STEP | Bordure alvéole exploitée (jour) | Alvéole exploitée (nuit) | Zone réhabilitée | Digue aval | Digue aval (nuit) |
| Particules alvéolaires 0,5 à 5 µ | | | | 10.10 ⁻³ | | | | 339.10 ⁻³ | | | | | * 43,1.10 ⁻³ | | | | |
| Poussières totales (>0,5µ) | 10 | | 423.10 ⁻³ | 20.10 ⁻³ | | 358.10 ⁻³ | 1060.10 ⁻³ | 1961.10 ⁻³ | | <4.10 ⁻³ (0,7µ) | 2.10 ⁻³ (0,7µ) | | 0,15 .10 ⁻³ *226.10 ⁻³ | 0,120.10 ⁻³ | <30.10 ⁻³ | <20.10 ⁻³ | |

* 183.10⁻³ : moyenne des mesures ponctuelles à la différence des autres mesures réalisées sur 4 ou 8 h.

Table 28: les poussières SITE 2- mesures hors site

| Polluants (mg/m ³) | MESURES ENVIRONNEMENT | | | | | | RÉFÉRENCES | | | |
|-----------------------------------|--------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------|--------------------|---------------------------|---------------------------|------------------|---------------------|
| | Campagne 1 | | | | | Campagne 2 | Zone urbaine (valeur min) | Zone urbaine (valeur max) | Valeur guide OMS | Valeur limite CSHPF |
| | Amont limite du site | Aval 100 m alvéole | Aval 250 m alvéole | Aval 400 m alvéole | Aval 1000 m alvéole | Aval 250 m alvéole | | | | |
| Particules alvéolaires 0,5 à 5 µ | * 22.10 ⁻³ | * 130.10 ⁻³ | * 61,7.10 ⁻³ | *14,9.10 ⁻³ | | | | | | |
| Poussières totales (>0,5µ) | * 61,35.10 ⁻³ | * 815.10 ⁻³ | * 324.10 ⁻³ | * 46,7.10 ⁻³ | | | 0,05 | 0,27 | 0,12 | |

* 183.10⁻³ : moyenne des mesures ponctuelles à la différence des autres mesures réalisées sur 4 ou 8 h.

Table 29: Les microorganismes SITE 2-mesures sur site

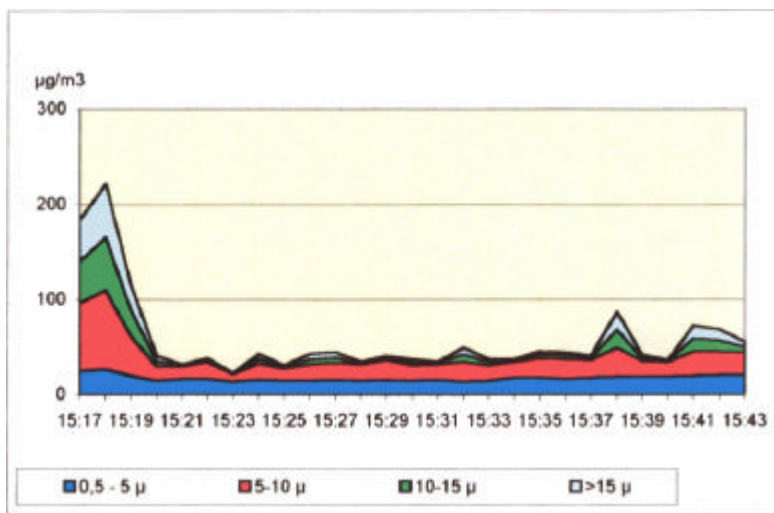
| Polluants (mg/m ³) | POSTES DE TRAVAIL | | | ALVEOLE EN EXPLOITATION | | | | AUTRES PARTIES DU SITE | | | | | | | | | |
|---|---|------------------------|------------------------------|--|--------------------------|-----------------------|---|---------------------------|--|-----------------|--|----------------------------------|--------------------------|------------------|------------|-------------------|--|
| | Poste de Réception (n=6) | Agent polyvalent (n=3) | Agent chargé Lixiviats (n=4) | Source alvéole | Conducteurs engins (n=6) | Conducteurs BTP (n=3) | Vérificateurs (n=3) | Sources | | | | Ambiance générale | | | | | |
| | | | | | | | | Fissures Alvéoles fermées | Biogaz réseau | Sortie torchère | STEP | Bordure alvéole exploitée (jour) | Alvéole exploitée (nuit) | Zone réhabilitée | Digue aval | Digue aval (nuit) | |
| Bactéries (CFU : Colonies Formant Unités) | 3.10 ⁵ 7.10 ⁵ | | | 0,9.10 ⁻⁶ 1,7.10 ⁻⁵ | | | 0,02.10 ⁵ 1,8.10 ⁵ | | 3.10 ³ 5.10 ³ | | 1,3.10 ⁴ 2,5.10 ⁴ | | | | | | |
| Champignons (CFU : Colonies Formant Unités) | Gram< 10 ³ | | | Gram> +++ | | | Gram< 1,4.10 ⁵ | | Gram> +++ | | Gram<0,8.10 ³ | | | | | | |
| Endotoxines (EU/m ³) | 150-800 Penicillium ++ ou Polymorphe | | | 0,5.10 ⁴ 4.10 ⁴ | | | 0,5.10 ⁴ 2.10 ⁴ | | 1,2.10 ⁴ 1,8.10 ⁴ | | <500 | 352 | | 130-93 | | | |
| | | | | A. Fumigatus +++ | | | Penicillium ++ Levures ++ | | A.fumigatus +++ | | | | | | | | |
| | | | | | | | 1,3-1,5 | | | | 1,5-1,7 | | | | | | |

Table 30: les microorganismes – SITE 2- mesures hors site

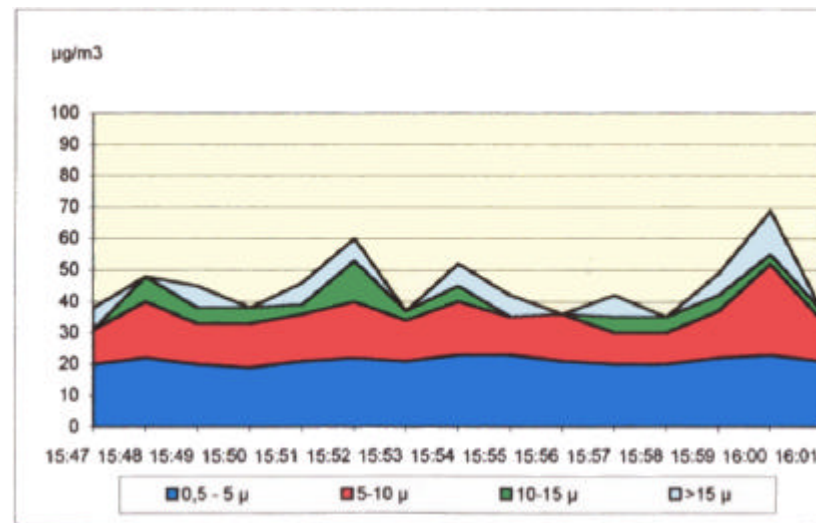
| Polluants (mg/m ³) | MESURES ENVIRONNEMENT | | | | | | RÉFÉRENCES | |
|---|----------------------------|---|--------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | Campagne 1 | | | | | Campagne 2 | | |
| | Amont limite du site | Aval 100 m alvéole | Aval 250 m alvéole | Aval 400 m alvéole | Aval 1000 m alvéole | Aval 250 m alvéole | Zone urbaine minimum | Zone urbaine maximum |
| Bactéries (CFU : Colonies Formant Unités) | | | | | | | <500 | Gram> majoritaires |
| Champignons (CFU : Colonies Formant Unités) | 37-111 Polymorphe | 722 A.fumigatus +++ Penicillium +++ | 111-389 | 185 Cladosporium | | | Fonction saisons | |
| Endotoxines (EU/m ³) | | | | | | | Flore caractéristique | |

Annexe XI-3 : mesure en dynamique des poussières en ambiance et en environnement

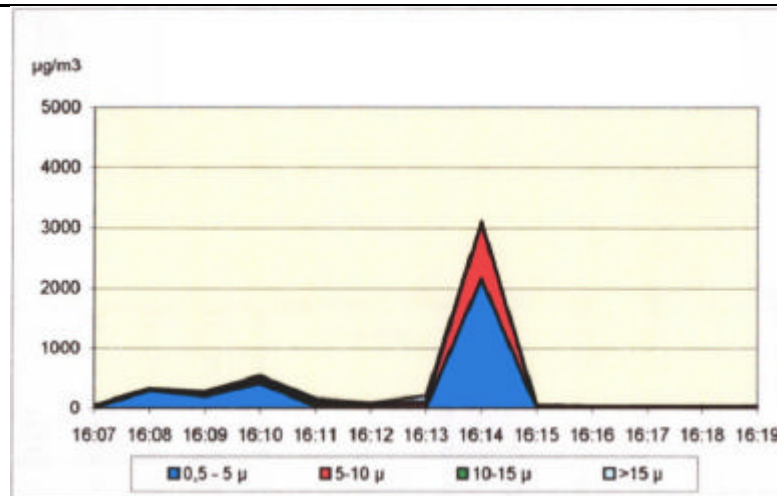
SITE 1 – SITE 2



Concentration en poussières- **Site 1** - 27.1.00
Ambiance générale - Alvéole A'

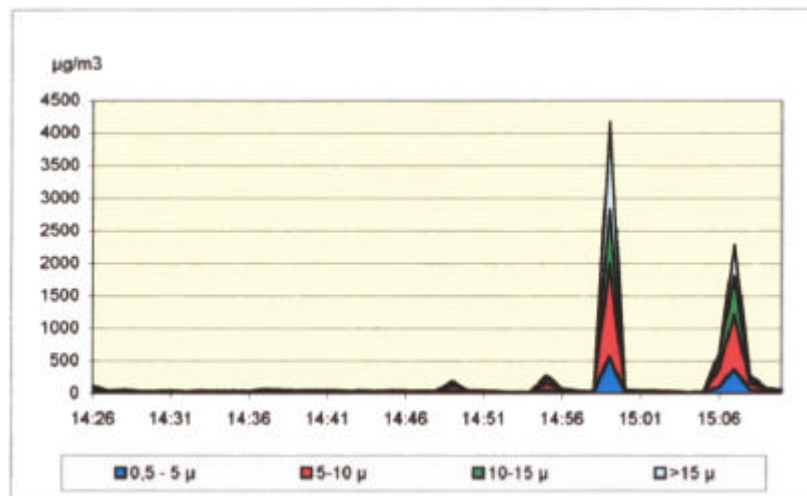


Concentration en poussières- **Site 1** - 27.1.00
Ambiance générale - Alvéole B



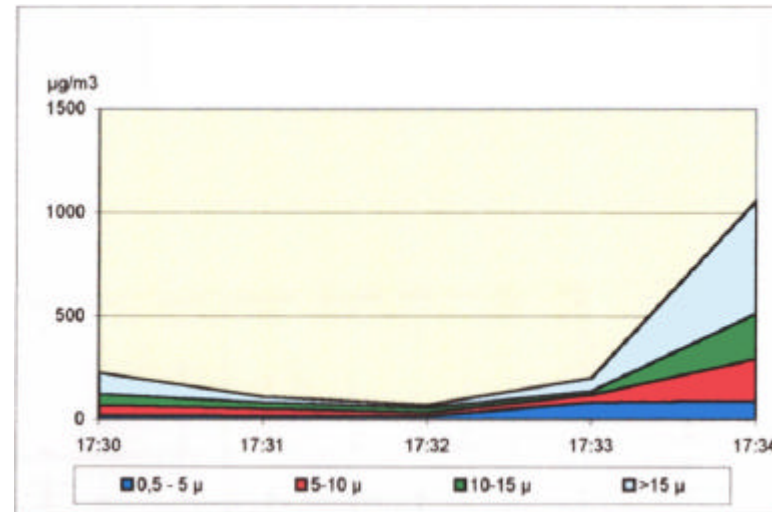
Concentration en poussières - **Site 1** - 27.1.00

Ambiance générale - Alvéole C



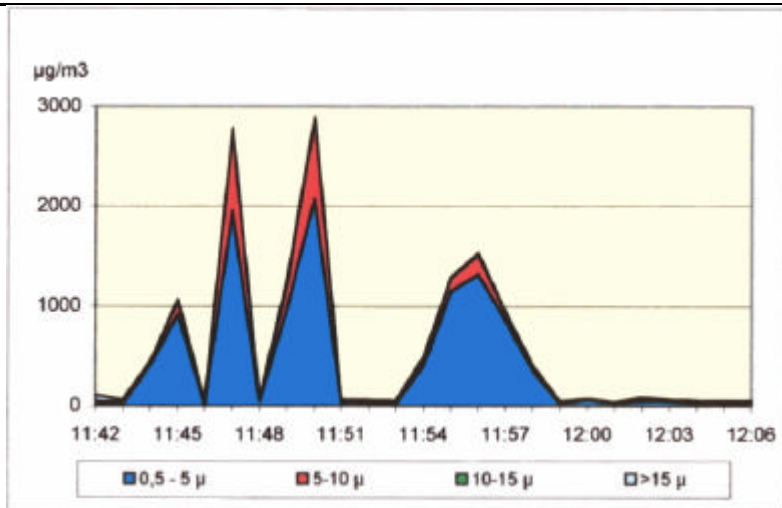
Concentration en poussières - **Site 1** - 27.1.00

Environnement - Amont - Limite du site

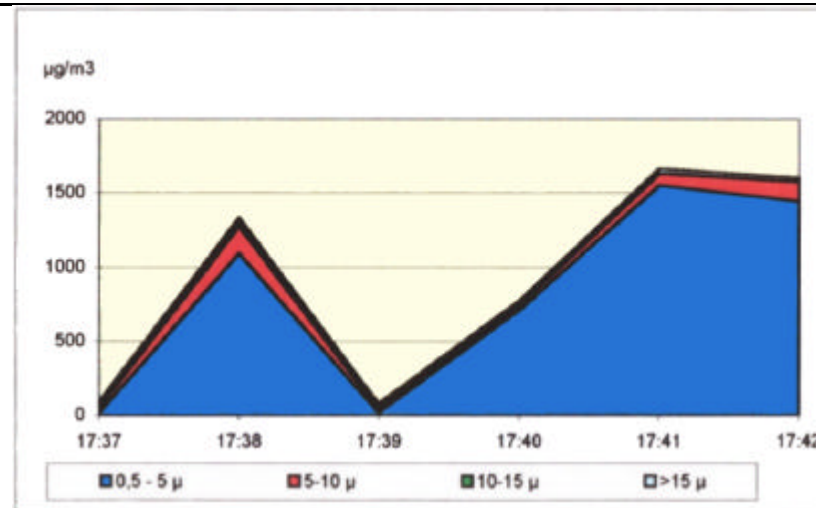


Concentration en poussières - **Site 1** - 27.1.00

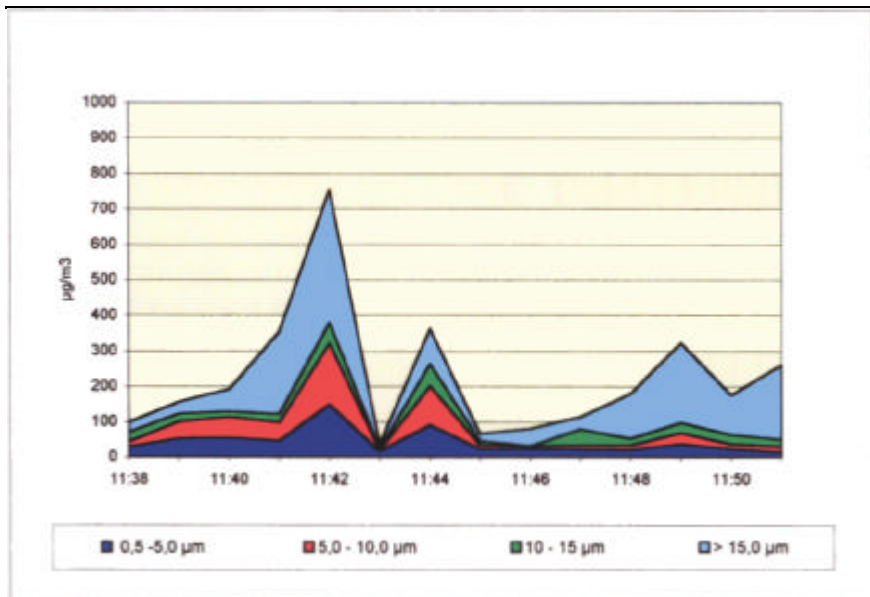
Environnement - Aval - 120 m du site



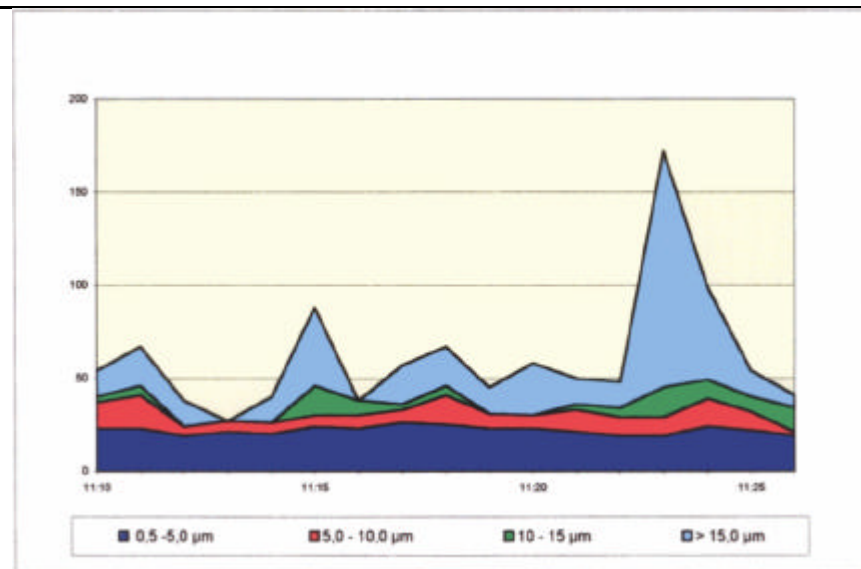
Concentration en poussières - **Site 1** - 27.1.00
Environnement - Amont - 250 m du site



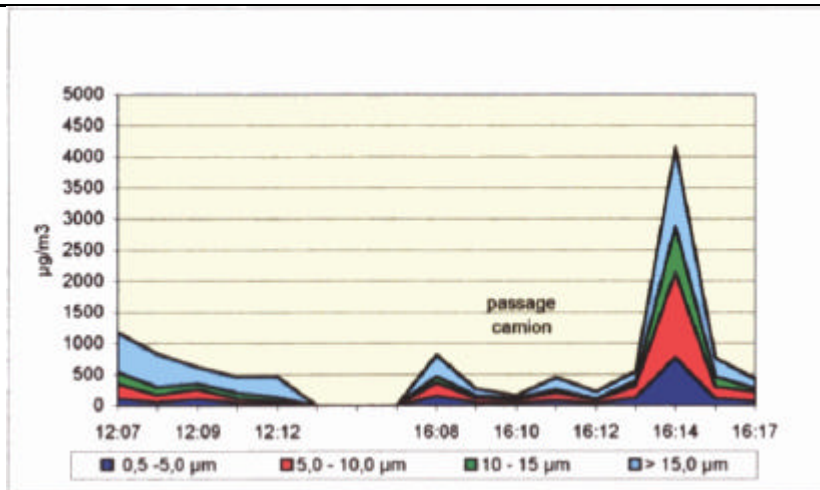
Concentration en poussières - **Site 1** - 27.1.00
Environnement - Aval - 600 m du site



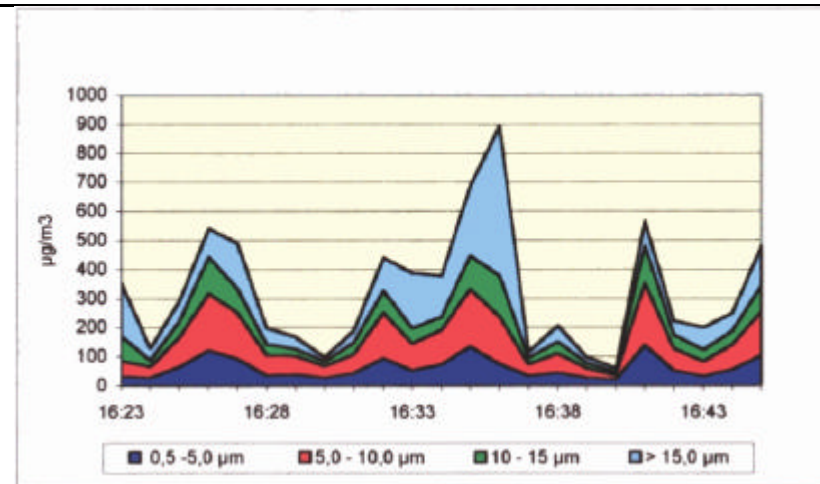
Concentration en poussières - **Site 2** - 11.5.00 - 11 h 38 à 11 h 51
Ambiance générale - Bordure alvéole exploitée (jour)



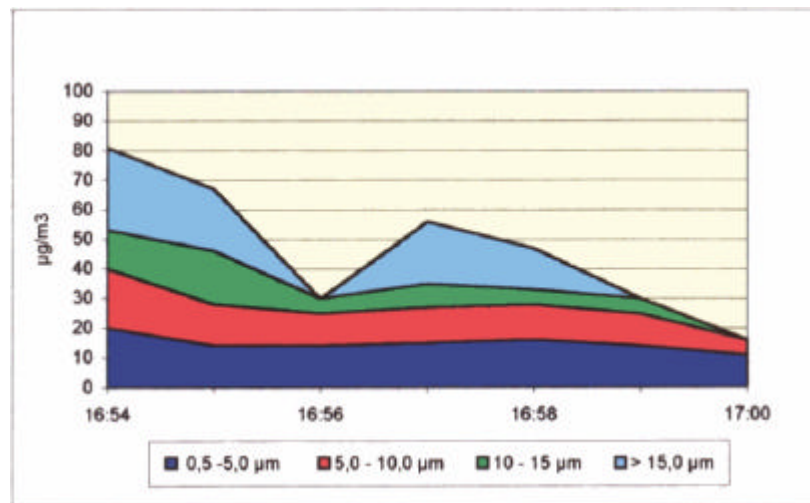
Concentration en poussières - **Site 2** - 11.5.00 - 11 h 10 à 11 h 26
Environnement - Amont - Limite du site



Concentration en poussières - **Site 2** - 11.5.00 - 12 h 07 à 16 h 17
 Environnement - Aval - 100 m alvéole



Concentration en poussières - **Site 2** - 11.5.00 - 16 h 23 à 16 h 45
 Environnement - Aval - 250 m alvéole



Concentration en poussières - **Site 2** - 11.5.00 - 16 h 54 à 17 h 00
 Environnement - Aval - 400 m alvéole

Annexe XI-4 / Résultats des analyses complémentaires réalisées dans l'environnement avec le chromatographe portable

Table 31: Mesures COV ponctuelles par chromatographe portable MTI et Photova - Site 1

| Polluants (mg/m ³) | Ambiance générale | | |
|--------------------------------|--|-----------------------|--------------|
| | Alvéole A' | Alvéole B | Alvéole C |
| Toluène | 0,03 – 0,435 | 0,16 | 1,21 |
| Ethylbenzène | 1,4* 0,33.10 ⁻³ - 300.10 ⁻³ | | 2,3 – 4* |
| p-xylène | 0,6.10 ⁻³ | | 21* |
| o-xylène | 9,6.10 ⁻³ - 13,2.10 ⁻³ | | 6,2* 2,02 |
| Trichloroéthylène | 0,0198 | | 0,12 |
| Tétrachloroéthylène | 0,4* 0,076 – 1,07 | 0,36.10 ⁻³ | 0,5* |
| Acétone | 19* | | 5,5* |
| Nonane | 0,05* 0,32 | 0,19 | 1,7* |
| Chlorobenzène | 0,55 – 1,3 | 0,056 | 0,8* |
| 1 butanol | 3,6.10 ⁻³ – 8,6.10 ⁻³ | | |
| Cyclohexanone | 33,1.10 ⁻³ | | 1,6* |
| Acétate d'éthyl | 0,18 – 0,63 | 0,14 | 0,71 |

1,4* : valeur mesurée par chromatographe portable MTI

0,16 : valeur mesurée par chromatographe portable Photovac

Table 32: Mesures COV ponctuelles par chromatographe portable MTI et Photovac en différents points aval en bordure de l'alvéole exploitée :- Site 2

| Polluants (mg/m ³) | Bordure alvéole exploitée | | | | | | |
|--------------------------------|---------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|---|--------------------|---------------------------------|--|
| | Position 1 (n = 3) | Position A (n = 3) | Position B (n = 2) | Position C (n = 2) | Position D (n = 1) | Position E (n = 2) | Synthèse des résultats |
| Benzène | | ND - 1,8 * | | | | 0,78 * | 0,78 - 1,8 * |
| Toluène | | ND - 2,9 * | ND - 7,8.10 ⁻³ * | | | | 7,8.10⁻³ - 2,9 * |
| Ethylbenzène | | 0,58 - 6,6 * | | 2,2 - 3,2 * | | 9,7.10 ⁻³ | 0,58 - 6,6 * 9,7.10⁻³ |
| p-xylène | | ND - 9,4 * | | | | | 9,4 * |
| o-xylène | ND - 0,46 * | 1 - 7,8 * | | | 0,26 * | 0,18 * 0,61.10 ⁻³ | 0,18 - 7,8 * 0,61.10⁻³ |
| m-xylène | | | | | | 0,35* | 0,35 |
| Tétrachloroéthylène | 0,1 - 7 * | ND - 7,7 * ND - 4.10 ⁻³ | 0,13 - 0,25 * | | | | 0,1 - 7,7 * 4.10⁻³ |
| Trichloroéthylène | | | | | 0,52 * | ND - 0,09 * | 0,09 - 0,52 |
| Dichloro éthane | ND - 0,47 * | ND - 0,25 * | ND - 0,16 * | ND - 0,32 * | | | 0,16 - 0,47 |
| Chloroforme | | | | ND - 0,74 * | | | 0,74 |
| Heptane | | | | | | ND - 0,77 * | 0,77 |
| Nonane | | 0,14 - 0,79 * | | | | | 0,11 - 0,79* |
| Décane | | ND - 0,8 * | ND - 6 * | | | 2 * | 0,8 - 6* |
| Cyclohexanone | ND - 0,32 * | | ND - 0,3 *4 | ND - 0,34 * ND - 0,82.10 ⁻³ | 0,19 * | | 0,19 - 0,32* 0,82.10⁻³ |
| Acétat d'éthyl | | ND - 0,5 * | ND - 0,1 * | | | | 0,1 - 0,5 |
| Chlorobenzène | | ND - 0,35 * | ND - 0,29 * | ND - 6,7 * | 0,12 * | ND - 0,26 * | 0,12 - 6,7 |

1,4* : valeur mesurée par chromatographe portable MTI
 0,16 : valeur mesurée par chromatographe portable Photovac
 n = nombre de prélèvements

Analyses par microchromatographie MTI en mode automatiques

effectuées le 29 juin 2000 sur le site n°2 en bordure de l'alvéole exploitée.

Analyses ciblées sur les temps de rétention de 2 BTEX éthylbenzène et para-xylène

| Heure de début* | Produits | Concentrations en mg/m ³ |
|-----------------|--------------|-------------------------------------|
| 09H 57'42 " | Ethylbenzène | < 0,05 |
| | Para-xylène | 0,048 |
| 10H 03'12" | Ethylbenzène | < 0,05 |
| | Para-xylène | < 0,015 |
| 10H 10' 23" | Ethylbenzène | < 0,05 |
| | Para-xylène | 1,32 |
| 10H 17' 34" | Ethylbenzène | < 0,05 |
| | Para-xylène | < 0,015 |
| 10H 24' 44" | Ethylbenzène | < 0,05 |
| | Para-xylène | < 0,015 |
| 10H 31' 55" | Ethylbenzène | < 0,05 |
| | Para-xylène | < 0,015 |
| 10H 39' 06" | Ethylbenzène | 0,895 |
| | Para-xylène | 4,64 |
| 10H 46' 18" | Ethylbenzène | 0,37 |
| | Para-xylène | 0,945 |
| 10H 53' 29" | Ethylbenzène | 0,2 |
| | Para-xylène | 3,73 |
| 11H 00' 41" | Ethylbenzène | 1,88 |
| | Para-xylène | 1,51 |
| 11H 07' 53" | Ethylbenzène | < 0,05 |
| | Para-xylène | < 0,015 |

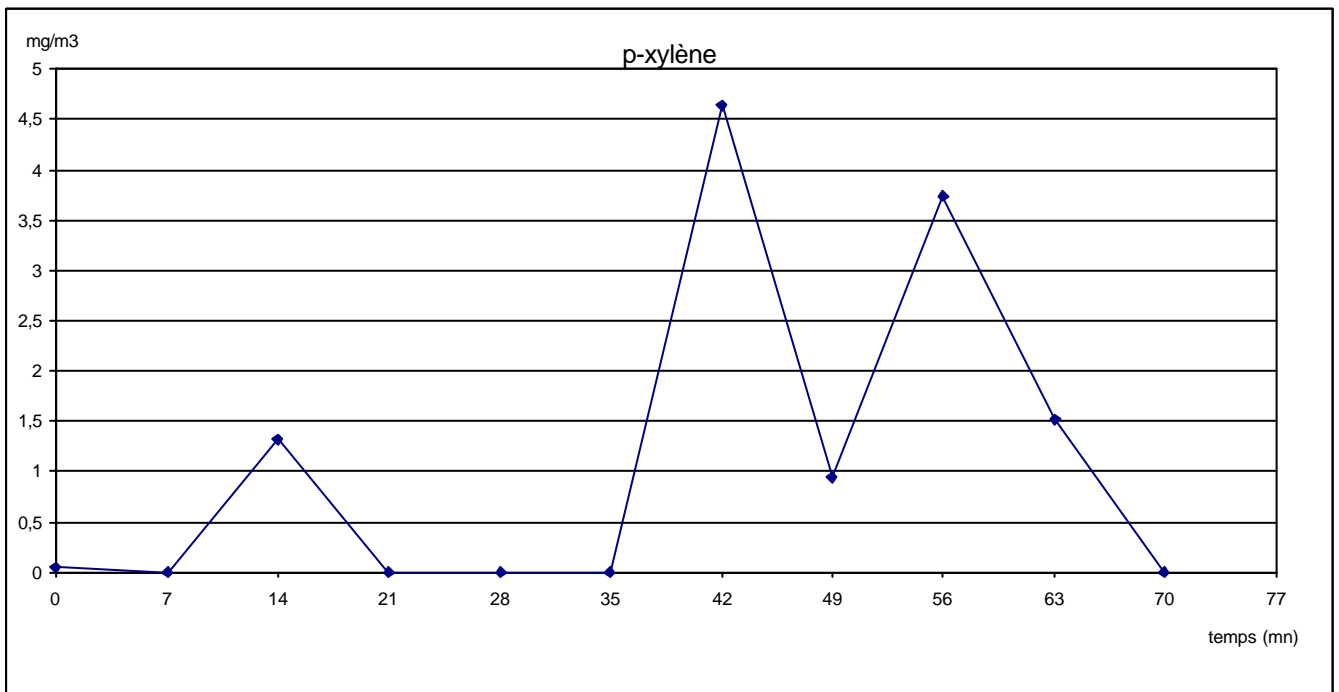
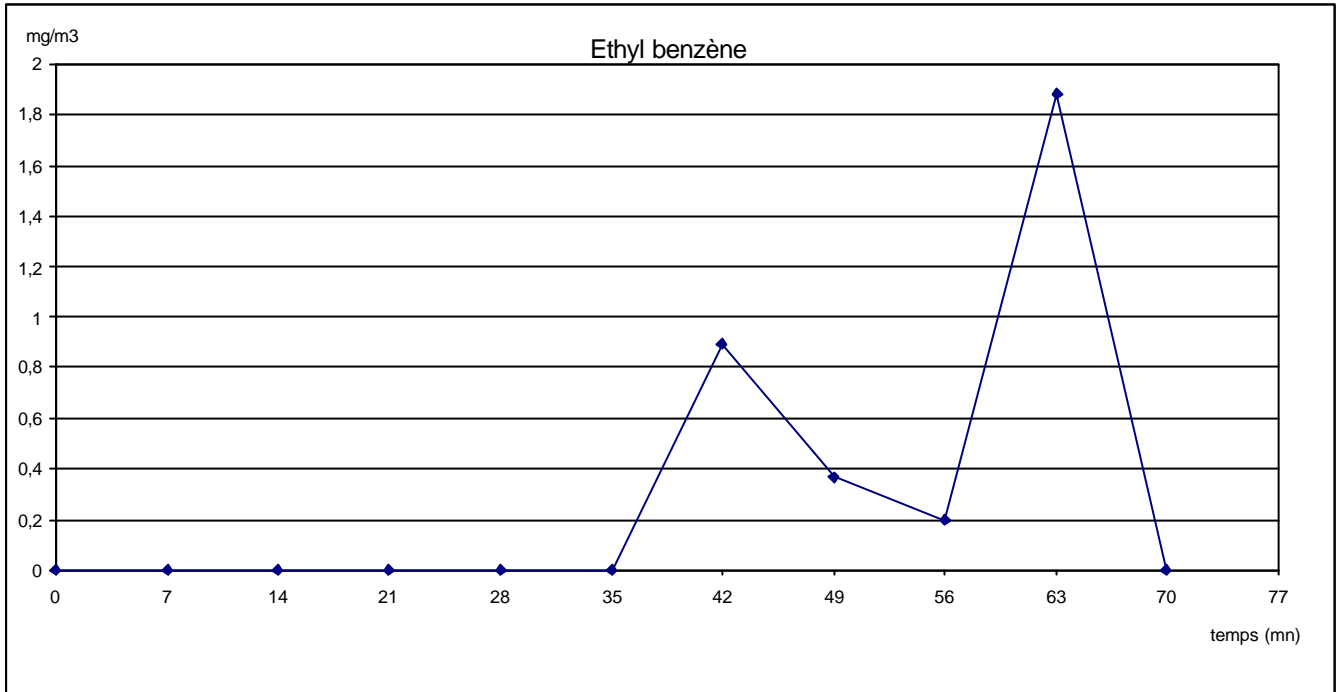
* prélèvement de 200 millisecondes

Analyses par microchromatographie MTI en mode automatique

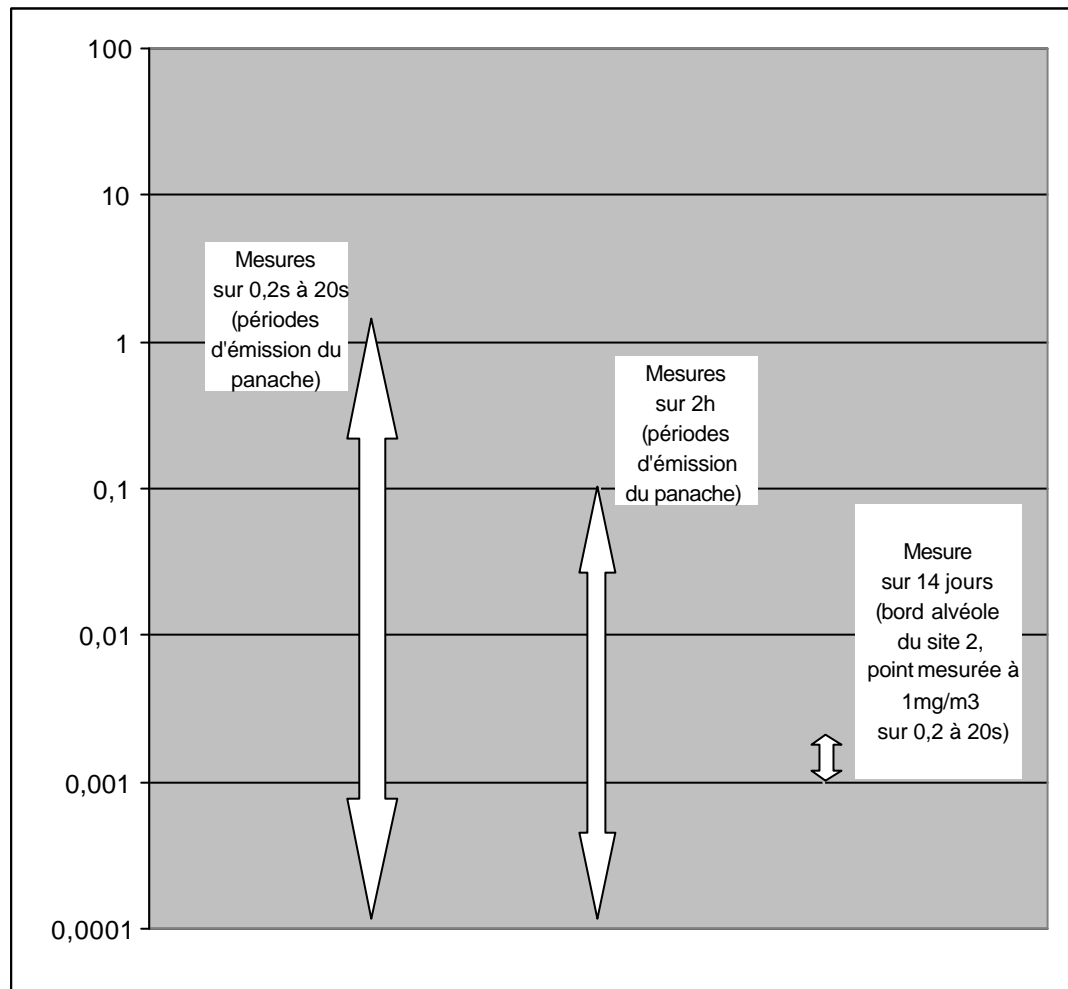
effectuées le 29 juin 2000 sur le site n°2 en bordure de l'alvéole exploitée.

Analyses ciblées sur les temps de rétention de 2 BTEX éthylbenzène et para-xylène

Représentation graphique :



Fourchettes des concentrations en benzène (mg/m³) mesurées dans les ambiances des sites avec différents temps de prélèvement



Annexe XI-5 : Mesures des COV sur 14 jours par diffusion passive : SITE 2

| Polluants (mg/m3) | Ambiance générale | | Environnement | |
|----------------------|---|---|-----------------------|--|
| | Bordure alvéole exploité | Zone réhabilitée (2) | Amont | Aval 100 m alvéole |
| Benzène | 1,13.10 ⁻³ | 1,04.10 ⁻³ | | 1,20.10 ⁻³ |
| Toluène | 0,84.10 ⁻³ - 0,87.10 ⁻³ | 0 - 0,53.10 ⁻³ | 0,92.10 ⁻³ | 0,42.10 ⁻³ - 0,84.10 ⁻³ |
| Ethylbenzène | 0,79.10 ⁻³ - 1,9.10 ⁻³ | 0,53.10 ⁻³ - 0,75.10 ⁻³ | 1,32.10 ⁻³ | 0,92.10 ⁻³ - 0,925.10 ⁻³ |
| m-p-xylène | 0,48.10 ⁻³ | ND | | 0,84.10 ⁻³ |
| p-xylène | 1,15.10 ⁻³ | 0,53.10 ⁻³ | 1,1.10 ⁻³ | 0,84.10 ⁻³ |
| o-xylène | 0,62.10 ⁻³ - 0,62.10 ⁻³ | 0,31.10 ⁻³ | 0,57.10 ⁻³ | 2,11.10 ⁻³ |
| Tétrachloroéthylène | 1,59.10 ⁻³ | 0,83.10 ⁻³ | 1,72.10 ⁻³ | 0,76.10 ⁻³ |
| Nonane | 0,53.10 ⁻³ | | | |
| Décane | 0,87.10 ⁻³ | 0,64.10 ⁻³ | 0,87.10 ⁻³ | 0,70.10 ⁻³ |
| Alpha-pinène | 0,96.10 ⁻³ | | | 1,7.10 ⁻³ |

ND :Non Détecté

Annexe XI-6 : Résultats des mesures microbiologiques

Salariés Site 1 et 2

Table 33: Prélèvements d'air – Salariés -Site 1 - 19-20 Octobre 1998 - Résultats en CFU/m³

| Points de prélèvement | Tous germes (Tryptocase-Soja) | Bacilles Gram < 0 (Drigalski) | Flore fongique (Malt Agar 30°C) | Flore fongique (Malt Agar 42°C) | Flore fongique (Rose Bengale) | Actinomycètes thermophiles (Tryptocase-Soja 1/2) |
|--|---|-------------------------------|--|---------------------------------|-------------------------------|--|
| Témoin extérieur 1 2 min J1 Matin | 84 <i>Bacillus sp.</i> Microcoques (+250 champignons) | — | 308 <i>Cladosporium</i> <i>Penicillium</i> <i>Alternaria</i> <i>Conidiobolus</i> <i>A.fumigatus</i> <i>Epicoccum</i> | — | — | — |
| Témoin extérieur 2 2 min J1 Matin | 64 (+ 102 champignons) | — | 291 70% <i>Cladosporium</i> <i>Conidiobolus</i> <i>M. sterilia</i> | — | — | — |
| Témoin extérieur 3 2 min J1 Après-midi | 396 Corynébactéries Microcoques Staphylocoques coag<0 (+ 189 champignons) | — | 231 80% <i>Alternaria</i> <i>Epicoccum</i> <i>A. niger</i> | — | — | — |
| Témoin extérieur 4 2 min J1 Après-midi | 308 (+ 348 champignons) | — | 375 45% <i>Alternaria</i> 33% <i>Cladosporium</i> <i>A. fumigatus</i> <i>Epicoccum</i> | — | — | — |

Table 34: Prélèvements d'air – Salariés - Site 1. 19-20 Octobre 1998 - Résultats en CFU/m³

| Points de prélèvement | Tous germes (Tryptocase-Soja) | Bacilles Gram < 0 (Drigalski) | Flore fongique (Malt Agar 30°C) | Flore fongique (Malt Agar 42°C) | Flore fongique (Rose Bengale) | Actinomycètes thermophiles (Tryptocase-Soja 1/2) |
|--|---|-------------------------------|--|---|---|--|
| Reception 1 2 min J1 Matin | 3687 | 0 | 192 <i>Cladosporium</i> <i>Penicillium</i> <i>Alternaria</i> <i>Conidiobolus</i> <i>A.fumigatus</i> | 128 90% <i>Botrytis</i> <i>A. fumigatus</i> | 227 <i>Cladosporium</i> <i>Alternaria</i> <i>Penicillium</i> <i>Conidiobolus</i> | 0 |
| Reception 2 30 sec J1 Matin | 5077 Microcoques Corynébactéries <i>Bacillus</i> sp. Staphylocoques coag<0 | 256 <i>Pantoea 1</i> | 3500 90% <i>A. fumigatus</i> <i>Cladosporium</i> <i>Epicoccum</i> | 0 ? | 1166 <i>Cladosporium</i> <i>A. fumigatus</i> <i>Beauveria</i> <i>Epicoccum</i> | 0 |
| Reception 3 2 min J1 Après-midi | 2291 | 21 | 782 50% <i>A. flavus</i> 30% <i>Cladosporium</i> <i>Penicillium</i> | 25 Levures | 679 50% <i>Cladosporium</i> 20% <i>Penicillium</i> <i>Alternaria</i> <i>Epicoccum</i> Levures | 0 |
| Reception 4 30 sec J1 Après-midi | 3026 Staphylocoques coag<0 Microcoques <i>Bacillus</i> sp. Gram<0 : <i>Brevundimonas vesicularis</i> <i>Pantoea 1</i> (+ 566 champi.) | 0 | 2666 25% <i>Alternaria</i> 20% <i>Cladosporium</i> 16% <i>A. flavus</i> 13% <i>Penicillium</i> <i>Chrysosporium</i> | 750 80% <i>A. fumigatus</i> <i>Cladosporium</i> | 1084 <i>Alternaria</i> <i>Cladosporium</i> <i>A. nidulans</i> <i>A. versicolor</i> <i>Absidia</i> Levures | 0 |

Table 35: Prélèvements d'air – Salariés - Site 1. 19-20 Octobre 1998 - Résultats en CFU/m³

| Points de prélèvement | Tous germes (Tryptocase-Soja) | Bacilles Gram < 0 (Drigalski) | Flore fongique (Malt Agar 30°C) | Flore fongique (Malt Agar 42°C) | Flore fongique (Rose Bengale) | Actinomycètes thermophiles (Tryptocase-Soja 1/2) |
|---------------------------|---|-------------------------------|--|---------------------------------|-------------------------------|--|
| G10 (1) 2 min | 12333 Microcoques++ <i>Bacillus sp.</i> ++ Corynébactéries | — | 244 <i>Cladosporium</i> <i>Penicillium</i> <i>Alternaria</i> Dématiés Levures <i>M. sterilia</i> | — | — | — |
| G10 (2) 30 sec | > 24672 | — | 450 <i>Cladosporium</i> <i>Alternaria</i> <i>M. sterilia</i> <i>Rhizopus</i> | — | — | — |
| Repère terrain 1 2 min | 2312 (+ 854 <i>A. fumigatus</i>) | — | > 1064 <i>Alternaria</i> | — | — | — |
| Repère terrain 2 2 min | 500 (+ 641 <i>A. fumigatus</i>) | — | 250 Points ? | — | — | — |

Table 36: Prélèvements d'air – Salariés - Site 1. 19-20 Octobre 1998 - Résultats en CFU/m³

| Points de prélèvement | Tous germes (Tryptocase-Soja) | Bacilles Gram < 0 (Drigalski) | Flore fongique (Malt Agar 30°C) | Flore fongique (Malt Agar 42°C) | Flore fongique (Rose Bengale) | Actinomycètes thermophiles (Tryptocase-Soja 1/2) |
|--|---|-------------------------------|--|---------------------------------|--|--|
| Lixiviats 1 2 min J1 Matin | 1062 (pompage en cours) | 0 | 205 <i>Alternaria</i> <i>Cladosporium</i> <i>M. sterilia</i> | 0 | 333 <i>Cladosporium</i> <i>Alternaria</i> <i>Epicoccum</i> <i>A. fumigatus</i> | 0 |
| Lixiviats 2 30 sec J1 Matin | > 32513 (arrêt pompage) <i>Bacillus sp.++</i> Microcoques++ Staphylocoques coag<0 | 0 | 666 <i>Alternaria</i> <i>Cladosporium</i> <i>A. flavus</i> Levures | 0 | 4583 <i>Cladosporium</i> <i>Penicillium</i> <i>Alternaria</i> <i>A. fumigatus</i> <i>A. niger</i> | 0 |
| Lixiviats 3 2 min J1 Après-midi | 937 (+ 189 champignons) | 0 | 423 85% <i>Alternaria</i> <i>Cladosporium</i> | 13 <i>A. fumigatus</i> | 756 50% <i>Cladosporium</i> 30% <i>Alternaria</i> <i>Epicoccum</i> <i>Penicillium</i> <i>Curvularia</i> <i>Exophiala</i> | 0 |
| Lixiviats 4 30 sec J1 Après-midi | 1384 <i>Bacillus sp.</i> Corynébactéries Staphylocoques coag<0 Gram<0 : <i>Enterobacter aerogenes</i> <i>Sphingomonas paucimobilis</i> | 102 | 916 70% <i>Cladosporium</i> <i>Alternaria</i> <i>A. flavus</i> <i>Beauveria</i> | 334 <i>A. fumigatus</i> | 750 70% <i>Cladosporium</i> <i>Alternaria</i> Levure | 0 |

Table 37: Prélèvements d'air – Salariés - Site 1. 19-20 Octobre 1998 - Résultats en CFU/m³

| Points de prélèvement | Tous germes (Tryptocase-Soja) | Bacilles Gram < 0 (Drigalski) | Flore fongique (Malt Agar 30°C) | Flore fongique (Malt Agar 42°C) | Flore fongique (Rose Bengale) | Actinomycètes thermophiles (Tryptocase-Soja 1/2) |
|--|--|-------------------------------|---|--|--|--|
| Alvéole centre 1 2 min J1 Matin | 291 | 0 | 487 30% <i>A. fumigatus</i> 30% <i>Cladosporium</i> 30% <i>Penicillium</i> | 90 <i>A. fumigatus</i> | 423 30% <i>A. fumigatus</i> 30% <i>Cladosporium</i> <i>Penicillium</i> <i>Alternaria</i> | 0 |
| Alvéole centre 2 30 sec J1 Matin | 308 | 52 | 450 <i>Cladosporium</i> <i>Penicillium</i> <i>A. fumigatus</i> | 166 <i>A. fumigatus</i> | 166 Levures | 0 |
| Alvéole périph 1 2 min J1 Matin | 334 (+344 moisissures) | 21 (+ 166 moisissures) | 423 65% <i>Cladosporium</i> 20% <i>A. fumigatus</i> <i>Penicillium</i> | 154 <i>A. fumigatus</i> | 230 50% <i>Cladosporium</i> 30% <i>A. fumigatus</i> <i>Alternaria</i> <i>Penicillium</i> | 0 |
| Alvéole périph 2 30 sec J1 Matin | 1231 <i>Bacillus</i> sp. Gram<0 : <i>Serratia marcesens</i> Staphylocoques coag<0 (+ 363 moisissures) | 205 | 994 50% <i>Cladosporium</i> <i>A. niger</i> <i>Penicillium</i> <i>Beauveria</i> | 250 <i>A. niger</i> <i>Penicillium</i> | 334 <i>Cladosporium</i> <i>Alternaria</i> | 0 |

Table 38: Prélèvements d'air – Salariés - Site 1. 19-20 Octobre 1998 - Résultats en CFU/m³

| Points de prélèvement | Tous germes (Tryptocase-Soja) | Bacilles Gram < 0 (Drigalski) | Flore fongique (Malt Agar 30°C) | Flore fongique (Malt Agar 42°C) | Flore fongique (Rose Bengale) | Actinomycètes thermophiles (Tryptocase-Soja 1/2) |
|---|--|-------------------------------|--|---|---|--|
| Alvéole centre 3 2 min J1 Après-midi | 3521 | 125 | 227 70% <i>A. fumigatus</i> <i>A. niger</i> <i>Botrytis</i> | 615 <i>A. fumigatus</i> | 1192 40% <i>Penicillium</i> 20% <i>A. fumigatus</i> 20% <i>Cladosporium</i> <i>A. niger</i> <i>A. flavus</i> <i>Epicoccum</i> | 0 |
| Alvéole centre 4 30 sec J1 Après-midi | 20102 | 410 <i>Pantoea 1</i> | 1500 70% <i>A. fumigatus</i> 30% <i>Penicillium</i> | 1000 70% <i>A. fumigatus</i> 30% <i>A. flavus</i> | 2500 30% <i>A. fumigatus</i> 25% <i>Alternaria</i> 20% <i>Penicillium</i> <i>A. terreus</i> <i>A. niger</i> | 0 |
| Alvéole périph 3 2 min J1 Après-midi | 3396 Microcoques++ <i>Bacillus sp.</i> | 21 | 910 50% <i>A. fumigatus</i> 20% <i>Cladosporium</i> <i>Alternaria</i> <i>Penicillium</i> | 179 <i>A. fumigatus</i> | 705 40% <i>A. fumigatus</i> 25% <i>Cladosporium</i> 15% <i>Alternaria</i> <i>Penicillium</i> <i>A. niger</i> | 0 |
| Alvéole périph 4 30 sec J1 Après-midi | 10410 | 256 <i>Pantoea 1</i> | 2166 35% <i>Alternaria</i> 25% <i>Cladosporium</i> 15% <i>Penicillium</i> 15% <i>A. fumigatus</i> Levures | 416 <i>A. fumigatus</i> | 2166 50% <i>Cladosporium</i> <i>A. fumigatus</i> <i>A. flavus</i> <i>Penicillium</i> <i>Epicoccum</i> <i>Fusarium</i> | 0 |

Table 39: Prélèvements d'air – Salariés - Site 1. 19-20 Octobre 1998 - Résultats en CFU/m³

| Points de prélèvement | Tous germes (Tryptocase-Soja) | Bacilles Gram < 0 (Drigalski) | Flore fongique (Malt Agar 30°C) | Flore fongique (Malt Agar 42°C) | Flore fongique (Rose Bengale) | Actinomycètes thermophiles (Tryptocase-Soja 1/2) |
|--|--|-------------------------------|--|---------------------------------|-------------------------------|--|
| Témoin extérieur 5 2 min J2 Matin | 728 | — | 218 Dématiés <i>M. sterilia</i> Levures <i>Humicola</i> <i>Cladosporium</i> | — | — | — |
| Témoin extérieur 6 2 min J2 Matin | 436 Microcoques Staphylocoques coag<0 <i>Bacillus sp.</i> | — | 271 <i>Alternaria</i> <i>Cladosporium</i> <i>Penicillium</i> <i>M. sterilia</i> | — | — | — |

Table 40: Prélèvements d'air – Salariés - Site 1. 19-20 Octobre 1998 - Résultats en CFU/m³

| Points de prélèvement | Tous germes (Tryptocase-Soja) | Bacilles Gram < 0 (Drigalski) | Flore fongique (Malt Agar 30°C) | Flore fongique (Malt Agar 42°C) | Flore fongique (Rose Bengale) | Actinomycètes thermophiles (Tryptocase-Soja 1/2) |
|--|---|-------------------------------|---|--|--|--|
| Alvéole centre 5 2 min J2 Matin | 1337 | 21 | 385 40% <i>A. fumigatus</i> 30% <i>Penicillium</i> <i>Epicoccum</i> <i>A. flavus</i> <i>A. niger</i> | 90 <i>A. fumigatus</i> | 372 30% <i>A. fumigatus</i> 20% <i>Penicillium</i> 15% <i>Cladosporium</i> 15% <i>Alternaria</i> <i>Epicoccum</i> <i>A. flavus</i> | 0 |
| Alvéole centre 6 30 sec J2 Matin | 3436 | 308 | 1084 <i>Penicillium</i> <i>A. fumigatus</i> <i>Fusarium</i> <i>A. niger</i> <i>Conidiobolus</i> | 750 Levures <i>A. fumigatus</i> <i>Acremonium</i> | 916 <i>A. fumigatus</i> <i>Penicillium</i> <i>Alternaria</i> Levures | 0 |
| Alvéole périph 5 2 min J2 Matin | 541 | 84 | 385 95% <i>Penicillium</i> <i>Alternaria</i> <i>Botrytis</i> | 308 <i>Cladosporium</i> <i>A. fumigatus</i> <i>A. niger</i> | 461 40% <i>Cladosporium</i> 20% <i>A. fumigatus</i> <i>Penicillium</i> <i>A. flavus</i> <i>A. ochraceus</i> <i>A. niger</i> Levures | 0 |
| Alvéole périph 6 30 sec J2 Matin | 3026 <i>Bacillus sp.</i> Microcoques Corynébactéries Staphylocoques coag<0 | 205 | 994 25% <i>Cladosporium</i> 15% <i>A. fumigatus</i> 15% <i>Penicillium</i> <i>Beauveria</i> | 834 70% Levures <i>Beauveria</i> <i>A. flavus</i> | 416 40% <i>A. fumigatus</i> <i>Cladosporium</i> <i>A. niger</i> <i>A. flavus</i> | 0 |

Table 41: Prélèvements d'air – Salariés - Site 2. 25 Mars 1999 - Résultats en CFU/m³

| Points de prélèvement | Tous germes (Tryptocase-Soja) | Staphylocoques (Chapman) | Bacilles Gram \leq 0 (Drigalski) | Flore fongique (Malt Agar 30°C) | Flore fongique (Malt Agar 42°C) | Flore fongique (Rose Bengale) | Actinomycètes thermophiles (Tryptocase-Soja 1/2) |
|---|---|--------------------------|------------------------------------|--|---------------------------------|--|--|
| Témoin extérieur 1 2 min Matin | 1056 | 528 | 0 | 37 <i>Penicillium</i> Dématiés | 18 <i>A. niger</i> | 57 <i>Cladosporium</i> <i>Aspergillus</i> sp. <i>Scédosporium</i> | 0 |
| Témoin extérieur 2 2 min Matin | 1130 | — | — | 151 75% <i>M. sterilia</i> <i>fumigatus</i> <i>Verticillium</i> | 19 <i>A. fumigatus</i> | — | — |
| Témoin extérieur 3 2 min Après-midi | 1907 <i>Bacillus</i> sp. <i>Nesseria</i> <i>saprophytes</i> Corynébactéries Staph. Coag <0 | — | — | 19 <i>Doratomyces</i> | 0 | — | — |
| Témoin extérieur 4 2 min Après-midi | 556 | — | — | 245 45% <i>Penicillium</i> 35% <i>M. sterilia</i> Dématiés <i>Verticillium</i> | 19 <i>A. niger</i> | — | — |

Table 42: Prélèvements d'air – Salariés - Site 2. 25 Mars 1999 - Résultats en CFU/m³

| Points de prélèvement | Tous germes (Tryptocase-Soja) | Staphylocoques (Chapman) | Bacilles Gram < 0 (Drigalski) | Flore fongique (Malt Agar 30°C) | Flore fongique (Malt Agar 42°C) | Flore fongique (Rose Bengale) | Actinomycètes thermophiles (Tryptocase-Soja 1/2) |
|------------------------------------|---|--------------------------|-------------------------------|--|--|--|--|
| Réception 1 Matin | 6222 Microcoques Corynébactéries Staph. Coag <0 17% Gram<0 : <i>Pasteurella pneumotropica</i> <i>Burkholderia cepacia</i> | 2491 | 0 | 148 <i>Penicillium</i> | 56 <i>A. fumigatus</i> | 830 35% <i>Penicillium</i> 25% <i>M. sterila</i> <i>Humicola</i> Levures | 0 |
| Réception 2 J1 Matin | 7556 | 1736 | 0 | 148 <i>Alternaria</i> <i>Cladosporium</i> | 0 | 151 <i>Alternaria</i> <i>Oidiodendron</i> | 0 |
| Reception 3 2 min Après-midi | 2887 | — | 0 | 167 80% <i>Penicillium</i> <i>M. sterila</i> | 37 <i>A. fumigatus</i> <i>Rhizopus</i> | 226 40% <i>Penicillium</i> 30% <i>Oidiodendron</i> Levures | 0 |
| Reception 4 2 min Après-midi | 3111 | — | — | 278 55% <i>Penicillium</i> (polymorphe) <i>M. sterila</i> | 94 <i>A. fumigatus</i> | — | — |

Table 43: Prélèvements d'air – Salariés - Site 2. 25 Mars 1999 - Résultats en CFU/m³

| Points de prélèvement | Tous germes (Tryptocase-Soja) | Staphylocoques (Chapman) | Bacilles Gram < 0 (Drigalski) | Flore fongique (Malt Agar 30°C) | Flore fongique (Malt Agar 42°C) | Flore fongique (Rose Bengale) | Actinomycètes thermophiles (Tryptocase-Soja 1/2) |
|------------------------|---|---|---|---|---|---|--|
| Biogaz 1 Matin | 9556 <i>Bacillus</i> sp. Microcoques Staph. Coag <0 Corynébactéries 10% Gram<0 : <i>P. pneumotropica</i> <i>Ochrobactrum anthropi</i> <i>Stenotrophomonas maltophilia</i> | 19849 Microcoques Staph. Coag <0 Corynébactéries | 130 | 2963 70% Levures 20% <i>Penicillium</i> <i>Cladosporium</i> <i>Rhizopus</i> | 74 <i>Cladosporium</i> <i>A. fumigatus</i> <i>Rhizopus</i> | 906 60% Levures 30% <i>Penicillium</i> <i>Alternaria</i> | 57 |
| Biogaz 2 Matin | 12074 | 15774 | 74 <i>Bacillus</i> sp. Corynébactéries Gram<0 non id | 1333 45% Levures 20% <i>Penicillium</i> <i>Oidiodendron</i> <i>Rhizopus</i> | 18 <i>A. fumigatus</i> | 2038 65% Levures Dématiés <i>sterilia</i> <i>Trichoderma</i> | 0 |
| Biogaz 3 Après-midi | 2148 Microcoques Staph. Coag <0 <i>Bacillus</i> sp. 5% Gram<0 : <i>Pseudomonas fluorescens</i> | 1132 | 37 | 296 <i>Cladosporium</i> <i>Oidiodendron</i> Dématiés <i>Chrysosporium</i> | 0 | 528 45% Levures <i>M. sterila</i> <i>Penicillium</i> <i>Epicoccum</i> | 0 |
| Biogaz 4 Après-midi | 12296 (+ 641 <i>A. fumigatus</i>) | — | — | 1926 90% <i>Penicillium</i> <i>M. sterila</i> <i>Stachybotris</i> | 94 80% <i>A. fumigatus</i> <i>Penicillium</i> | — | — |

Table 44: Prélèvements d'air – Salariés - Site 2. 25 Mars 1999 - Résultats en CFU/m³

| Points de prélèvement | Tous germes (Tryptocase-Soja) | Staphylocoques (Chapman) | Bacilles Gram < 0 (Drigalski) | Flore fongique (Malt Agar 30°C) | Flore fongique (Malt Agar 42°C) | Flore fongique (Rose Bengale) | Actinomycètes thermophiles (Tryptocase-Soja 1/2) |
|--------------------------------|---|---------------------------|--|--|---|--|--|
| Alvéole centre 3 Matin | 38815 (+ moisissures) Staph. Coag <0 <i>Bacillus sp.</i> Corynébactéries Microcoques | 111396 (+ moisissures) | 315 (+ moisissures) | 5778 70% Levures 20% <i>Penicillium A. fumigatus</i> <i>Cladosporium</i> <i>Scopulariopsis</i> <i>Graphium</i> <i>Chaetomium</i> <i>Oospora</i> | 18 Levures | 8075 65% Levures 5% <i>Penicillium</i> <i>Dematies</i> <i>Trichoderma</i> <i>Scopulariopsis</i> <i>Oidiodendron</i> | 19 |
| Alvéole centre 4 Matin | 179778 Staph. Coag <0 +++ <i>Bacillus sp.</i> Microcoques Corynébactéries | 38717 (+ moisissures) | 1426 <i>Serratia liquefaciens</i> <i>Pseudomonas putida</i> (31/70) | 12741 80% <i>Penicillium</i> <i>Trichoderma</i> <i>A. flavus-A. nidulans</i> <i>Mucor</i> <i>Scedosporium</i> <i>Conidiobolus</i> <i>M. sterila</i> | 407 60% <i>Penicillium</i> 20% <i>A.fumigatus</i> <i>Cladosporium</i> <i>Rhizopus</i> | 20604 50% Levures 45% <i>Penicillium M. sterila</i> <i>A. niger-A. flavus</i> <i>A. ochraceus</i> <i>Trichoderma</i> <i>Epicoccum</i> <i>Scopulariopsis</i> | 94 |
| Alvéole centre 5 Après-midi | 4815 (+ moisissures) | 1811 (+ moisissures) | 93 (+ moisissures) | 9704 99% <i>Penicillium</i> <i>Epicoccum</i> | 18 <i>A. fumigatus</i> | 7396 100% <i>Penicillium</i> 5 espèces | 0 |
| Alvéole centre 6 Après-midi | 2148 | 981 | 0 (+ moisissures) | 963 40% <i>Penicillium</i> 15% <i>M. sterila</i> <i>Aspergillus sp.</i> <i>A. flavus</i> <i>Hendersonula</i> <i>Beauveria</i> | 18 <i>Rhizopus</i> | 906 60% Levures 25% <i>Penicillium</i> <i>Beauveria</i> <i>Dematies</i> | 113 |

Table 45: Prélèvements d'air – Salariés - Site 2. 25 Mars 1999 - Résultats en CFU/m³

| Points de prélèvement | Tous germes (Tryptocase-Soja) | Staphylocoques (Chapman) | Bacilles Gram < 0 (Drigalski) | Flore fongique (Malt Agar 30°C) | Flore fongique (Malt Agar 42°C) | Flore fongique (Rose Bengale) | Actinomycètes thermophiles (Tryptocase-Soja 1/2) |
|--------------------------------|---|--|-------------------------------|--|---------------------------------|---|--|
| Alvéole périph 1 Matin | 5778 Microcoques <i>Bacillus</i> sp. Corynébactéries | 2264 Microcoques Corynébactéries | 18 | 593 40% <i>Penicillium</i> 25% Levures 25% <i>M. sterila</i> Dématiés | 18 <i>A. fumigatus</i> | 302 50% <i>Penicillium</i> 50% Levures | 0 |
| Alvéole périph 2 Matin | 3778 | 1962 | 0 | 667 20% <i>Penicillium</i> Levures <i>Alternaria</i> <i>Exophiala</i> <i>Oidiodendron</i> | 18 <i>Penicillium</i> | 679 55% Levures <i>Beauveria sterila</i> <i>Acremonium</i> | 0 |
| Alvéole périph 7 Après-midi | 2444 | 755 Microcoques <i>Bacillus</i> sp. Corynébactéries | 18 | 148 Levures <i>sterila</i> | 18 <i>A. fumigatus</i> | 226 Levures <i>sterila</i> | 0 |
| Alvéole périph 8 Après-midi | — | — | 0 | — | 18 <i>Conidiobolus</i> | — | 0 |

Table 46: Prélèvements d'air – Salariés - Site 2. 25 Mars 1999 - Résultats en CFU/m³

| Points de prélèvement | Tous germes (Tryptocase-Soja) | Staphylocoques (Chapman) | Bacilles Gram < 0 (Drigalski) | Flore fongique (Malt Agar 30°C) | Flore fongique (Malt Agar 42°C) | Flore fongique (Rose Bengale) | Actinomycètes thermophiles (Tryptocase-Soja 1/2) |
|----------------------------------|--|--------------------------|-------------------------------|--|---------------------------------|--|--|
| STEP 1 Après-midi | 1704 | 151 | 0 | 370 40% <i>Penicillium</i> Levures <i>M. sterila</i> <i>Phialophora</i> | — | 302 <i>Beauveria</i> <i>Oidiodendron</i> Dématiés | 0 |
| STEP 2 Après-midi | 3778 Microcoques 44% Gram<0 : <i>Comamonas testoroni</i> <i>Moraxella</i> sp. <i>Acinetobacter lwoffii</i> <i>Burkholderia cepacia</i> | 1132 | 241 <i>Moraxella</i> sp. | 444 50% <i>Oospora</i> 50% <i>Alternaria</i> | 0 | 528 60% <i>M. sterila</i> <i>Oidiodendron</i> | 0 |
| Terrain 1 2 min Après midi | 3241 | — | — | 1849 90% <i>Cladosporium</i> Levures <i>Alternaria</i> <i>Conidiobolus</i> <i>M. sterila</i> <i>Epicoccum</i> <i>Oidiodendron</i> | 0 | — | 0 |
| Terrain 2 2 min Après midi | 4222 polymorphe (+ moisissures) | — | — | 566 25% <i>Cladosporium</i> 25% Dématiés <i>Alternaria</i> - <i>M. sterila</i> <i>Aspergillus</i> sp. <i>Chrysosporium</i> <i>Fusarium</i> <i>Phialophora</i> | 0 | — | 0 |

Table 47: Site 1. Mesures dans l'environnement : Concentrations microbiologiques en CFU/m³

| Points de prélèvement | Tous germes (Tryptocase-Soja) | Bacilles Gram<0 (Drigalski) | Flore fongique (Malt Agar 30°C) |
|---|--|-----------------------------------|--|
| J1 Bord alvéole C | 167 Microcoques + champignons ++ | 0 | 574 A. fumigatus 30% Cladosporium 30% Alternaria - M. sterilia |
| J1 Amont | 2648 Microcoques 65% Rhodococcus 25% | 37 Pseudomonas chlororaphis | 500 Cladosporium 30% Alternaria 20% Paecilomyces - Oospora Sepedonium - N.I. |
| J2 Aval 100m Pendant déchargement OM | Espèce envahissante Bacillus | 0 | 1130 Cladosporium 25% Penicillium 15% - Alternaria 15% Oospora - N.I. |
| J2 Aval 100m Pendant déchargement boues STEP | 0 + champignons ++ | 0 | 760 Cladosporium 50% Humicola 30% - Penicillium Oospora - N.I. |
| J2 Aval 100m Pendant déchargement OM | 204 Microcoques + 9000 levures | 0 | 463 Cladosporium 60% A. fumigatus A. flavus - A. niger Alternaria - N.I. |
| J2 Aval 270 m | 0 + champignons | 0 + champignons | 889 Cladosporium 60% Alternaria - Oospora A. fumigatus - N.I. |
| J2 Aval 270 m | 0 + champignons | 0 + champignons | 778 Cladosporium 75% Alternaria - N.I. |
| J2 Aval 270 m | 74 | 0 + champignons | 740 Cladosporium 60% Oospora - A. fumigatus N.I. |
| J2 Aval 400 m | 185 +espèce envahissante + champignons | 74 Pseudomonas fluorescens | 574 Cladosporium 65% Alternaria 20% N.I. |
| J2 Aval 400 m | 93 +espèce envahissante + champignons | 37 | 1300 Cladosporium 70% Alternaria - Oospora A. flavus - N.I. |
| J2 Amont | 37 +espèce envahissante + champignons | 0 | 926 Cladosporium 65% Alternaria - Oospora A. fumigatus - N.I. |

Table 48: Site 2. Mesures dans l'environnement : Concentrations microbiologiques en CFU/m³

| Points de prélèvement | Tous germes (Tryptocase-Soja) | Bacilles Gram<0 (Drigalski) | Flore fongique (Malt Agar 30°C) |
|---|---|--------------------------------|---|
| Point 1 Aval immédiat 10 m 2 min | 963 SCN* 53% Corynebactéries 27% Bacillus 20% | 0 + <i>A. fumigatus</i> 241 | 352 <i>A. fumigatus</i> 20% <i>Alternaria</i> 32 % <i>A. niger</i> - <i>Penicillium</i> + divers N.I.** |
| Point 1 Aval immédiat 4 min | 1593 SCN 50% Corynebactéries 30% <i>Bacillus</i> 20% | 0 + <i>A. fumigatus</i> 139 | Indénombrable |
| Point 2 Aval 85 m 2 min | 3778 SCN 31% Corynebactéries 40% <i>Bacillus</i> 20% Microcoques 10% | 0 + <i>Penicillium</i> 3480 | 722 <i>A. fumigatus</i> 80% <i>Penicillium</i> - <i>A. flavus</i> + divers N.I. |
| Point 2 4 min | Indénombrable Envahi par champignons | 0 + <i>Penicillium</i> 1740 | Indénombrable <i>Penicillium</i> +++ |
| Point 3 Aval 150 m 2 min | >1204 SCN 80% Corynebactéries 17% <i>Bacillus</i> envahissant | 0 | 389 <i>Chrysosporium</i> 25% <i>Alternaria</i> 15% <i>Penicillium</i> 10% + divers N.I. |
| Point 3 4 min | 770 SCN 25% Corynebactéries 20% <i>Bacillus</i> 55% | 0 + champignons | 111 <i>A. fumigatus</i> 30% <i>Alternaria</i> - <i>Chrysosporium</i> + divers N.I. |
| Point 4 Aval 450 m 2 min | 1092 SCN 35% Corynebactéries 20% <i>Bacillus</i> 35% Microcoques 10% | 0 + champignons | 185 <i>Cladosporium</i> 40% <i>Alternaria</i> - <i>Oospora</i> <i>A. fumigatus</i> - <i>Penicillium</i> . |
| Point 4 4 min | 481 SCN 55% Corynebactéries 25% <i>Bacillus</i> 10% Microcoques 10% | 0 + champignons | > 204 <i>Cladosporium</i> 50% <i>A. fumigatus</i> 25% <i>Chrysosporium</i> - <i>Penicillium</i> <i>Alternaria</i> - <i>Rhizopus</i> |
| Point 5 Amont alvéole (intérieur site) 2 min | 167 SCN 35% Corynebactéries 45% <i>Bacillus</i> 20% | 0 | 111 Flore polymorphe Présence d' <i>Oospora</i> , <i>M. sterilia</i> , N.I. |
| Point 5 Amont alvéole (intérieur site) 4 min | 241 SCN 10% Corynebactéries 50% <i>Bacillus</i> 25% Microcoques 15% | 0 | 37 <i>Oospora</i> - <i>M. sterilia</i> |
| Point 6 Amont site 2 min | 148 Corynebactéries 50% <i>Bacillus</i> 50% | 0 | 130 <i>Oidiodendron</i> - <i>Oospora</i> <i>M. sterilia</i> |
| Point 6 Amont site 4 min | 55 <i>Bacillus</i> | 0 | 93 <i>Beauveria</i> 30% <i>Alternaria</i> - N.I. |

**Annexe XI-7 : Site 3 : Teneurs en éléments des lichens analysés dans les différentes stations
et rapports d'accumulation entre séries d'analyses (mg/kg)**

| | | | | | | Moy | Ec-t Moy | Moy | Ec-t Moy | Rap. accu. | Rap. accu. | | | Rap. accu. |
|------|-------|-------|-------|------|-------|-----------|-----------|---------|----------|-----------------|------------|---------|----------|----------------|
| | L1 | L2 | L3 | L4 | L5 | L in situ | L in situ | Témoins | Témoins | L in situ/ Tém. | L6 | L6/Tém. | tplts Tr | Tém. /tplts Tr |
| As | 2,2 | 1,4 | 1,4 | 2,2 | 1,6 | 1,76 | 0,41 | 0,95 | 0,07 | 1,85 | 3 | 3,16 | 0,40 | 2,38 |
| Cd | 0,9 | 1,5 | 0,7 | 0,9 | 0,9 | 0,98 | 0,30 | 1,05 | 0,07 | 0,93 | 1,9 | 1,81 | 0,20 | 5,25 |
| Cr t | 18,8 | 14,2 | 12,1 | 21,9 | 15,6 | 16,52 | 3,87 | 8,8 | 0,42 | 1,88 | 36 | 4,09 | 2,20 | 4,00 |
| Cu | 31,8 | 18,2 | 13,1 | 33,6 | 14,8 | 22,3 | 9,69 | 12,85 | 2,05 | 1,74 | 56,9 | 4,43 | 6,40 | 2,01 |
| Hg | 0,14 | 0,14 | 0,15 | 0,17 | 0,15 | 0,15 | 0,01 | 0,16 | 0,01 | 0,94 | 0,25 | 1,56 | 0,11 | 1,45 |
| Mn | 184 | 38,9 | 58,4 | 107 | 44,3 | 86,52 | 60,75 | 70,5 | 29,56 | 1,23 | 112 | 1,59 | 46,60 | 1,51 |
| Ni | 13,2 | 10,2 | 8,5 | 15,7 | 10,2 | 11,56 | 2,87 | 6,9 | 0,57 | 1,68 | 23,9 | 3,46 | 1,90 | 3,63 |
| Pb | 79,5 | 59,8 | 37,6 | 69,1 | 38,7 | 56,94 | 18,52 | 34,9 | 14,00 | 1,63 | 132 | 3,78 | 6,50 | 5,37 |
| Sb | 1,4 | 3,5 | 0,7 | 1,4 | 1,2 | 1,64 | 1,08 | 0,7 | 0,14 | 2,34 | 2,5 | 3,57 | 0,20 | 3,50 |
| Se | 0,4 | 0,5 | 0,5 | 0,7 | 0,5 | 0,52 | 0,11 | 0,4 | 0,00 | 1,30 | 0,6 | 1,50 | non pr. | non pr. |
| Tl | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,00 | 0,1 | 0,00 | 1,00 | 0,3 | 3,00 | non pr. | non pr. |
| Zn | 141 | 135 | 325 | 173 | 139 | 182,6 | 81,04 | 81,05 | 8,13 | 2,25 | 352 | 4,34 | 39,60 | 2,05 |
| Hyd | 32 | 23 | 15 | 19 | 21 | 22 | 6,32 | 21 | 11,31 | 1,05 | 22 | 1,05 | 13,50 | 1,56 |
| Cl t | 2110 | 1930 | 2070 | 1970 | 2730 | 2162 | 325,76 | 2215 | 233,35 | 0,98 | 2190 | 0,99 | 863,00 | 2,57 |
| S t | 10900 | 10400 | 11400 | 9750 | 11300 | 10750 | 683,74 | 12400 | 565,69 | 0,87 | 12200 | 0,98 | 7990,00 | 1,55 |

**Annexe XI-8 :- Site 1 : Teneurs en métaux des lichens analysés dans les différentes stations
et rapports d'accumulation entre séries d'analyses (mg/kg)**

| | LT1 | LT2 | LT4 | LT5 | LT1 | LT2 | LT3 | LT3 | LT4 | LT5 | L6 | L7 | L8 | L9 | tplts | tplts |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------|------|------|---------|---------|---------|-----------|-------|-------|
| | 6 m 99 | 6 m 99 | 6 m 99 | 6 m 99 | 6 m 00 | 6 m 00 | 6 m 00 | 1 an | 1 an | 1 an | in situ | in situ | in situ | hors site | S | Tr |
| Cd | 1,9 | 2,6 | 2,4 | 2,3 | 0,39 | 0,3 | 0,23 | 2,06 | 1,62 | 1,88 | 0,31 | 0,36 | 0,37 | 0,15 | 2,6 | 0,2 |
| Cr t | 3,6 | 4,2 | 7,4 | 2,9 | 8,5 | 6,7 | 5,2 | 5 | 13,6 | 5,1 | 13,7 | 13,2 | 12,1 | 7,7 | 6,6 | 2,2 |
| Cu | 10,5 | 22,5 | 14,8 | 6,5 | 21,6 | 14,2 | 9,1 | 8,9 | 16,9 | 7,2 | 18,9 | 18,1 | 19 | 10,1 | 6,4 | 6,4 |
| Mn | 139 | 175 | 162 | 149 | 89 | 78,1 | 70,1 | 112 | 179 | 150 | 159 | 191 | 96,8 | 102 | 243 | 46,6 |
| Ni | 3,6 | 4,9 | 4,1 | 2,7 | 5,5 | 5,9 | 3,7 | 3,8 | 4,9 | 3,7 | 5,9 | 7,3 | 5,9 | 4,2 | 4,6 | 1,9 |
| Pb | 15,3 | 22,5 | 15,1 | 13,2 | 0,4 | 0,3 | 0,2 | 2,1 | 1,6 | 1,9 | 0,3 | 0,4 | 0,4 | 0,1 | 14,2 | 6,5 |
| Zn | 395 | 433 | 130 | 116 | 277 | 138 | 216 | 490 | 131 | 134 | 99,3 | 89,8 | 92,3 | 57,9 | 130 | 39,6 |

**Annexe XI-9 : Site 2 : Teneurs en métaux des lichens analysés dans les différentes stations
et rapports d'accumulation entre séries d'analyses (mg/kg)**

| | LT1 | LT3 | LT4 | LT5 | LT6 | LT1 | LT2A | LT2B | LT3 | LT4A | LT4B | LT5 | LT7 | L8A | L8B | L9 | L10 | tplts | tplts |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------|---------|-----------|-----------|-------|-------|
| | 6 m 00 | 6 m 00 | 6 m 00 | 6 m 00 | 6 m 00 | 1 an | 1 an | 1 an | 1 an | 1 an | 1 an | 1 an | 1 an | in situ | in situ | hors site | hors site | S | I |
| Cd | 0,49 | 1,99 | 0,33 | 0,28 | 0,44 | 2,53 | 2,46 | 2,66 | 0,3 | 0,97 | 1,82 | 2,43 | 2,35 | 0,29 | 0,67 | 0,23 | 0,5 | 2,6 | 0,2 |
| Cr t | 31,7 | 7,8 | 15,3 | 10,8 | 4,3 | 24,5 | 25,5 | 25,2 | 12,2 | 28,7 | 28,9 | 22,8 | 9,2 | 20,1 | 16,4 | 16,4 | 21,7 | 6,6 | 3,1 |
| Cu | 54,7 | 7,3 | 16,4 | 11,9 | 6,5 | 71,5 | 42,1 | 44,7 | 11,3 | 44,5 | 19,7 | 16 | 8,7 | 13,8 | 17,3 | 12,8 | 6,9 | 6,4 | 9,2 |
| Mn | 195 | 388 | 130 | 132 | 85,1 | 448 | 292 | 259 | 104 | 218 | 310 | 294 | 463 | 230 | 97,3 | 197 | 97,6 | 243 | 82,8 |
| Ni | 8,3 | 4,8 | 5,2 | 4,6 | 2,8 | 15,8 | 8,2 | 10,7 | 5,5 | 12,7 | 8 | 8,8 | 5,7 | 7,8 | 6,5 | 7,2 | 13,6 | 4,6 | 2,5 |
| Pb | 0,5 | 2 | 0,3 | 0,3 | 0,4 | 2,5 | 2,5 | 2,7 | 0,3 | 1 | 1,8 | 2,4 | 2,4 | 0,3 | 0,7 | 0,2 | 0,5 | 14,2 | 11,1 |
| Zn | 135 | 142 | 161 | 62,1 | 77,7 | 248 | 212 | 229 | 76 | 175 | 360 | 138 | 156 | 116 | 126 | 97,1 | 82,9 | 130 | 45,3 |

XII. ANNEXE COMPLEMENTAIRE

Conditions de validité d'un recueil de données

(1) Nature épidémiologique de l'information recueillie

L'information recueillie est de nature à pouvoir intéresser le champ épidémiologique. Ceci suppose que l'on fixe au préalable les objectifs précis des études que l'on entend mener. Ces études peuvent être de 2 types : suivi de cohorte prospective (ou suivi longitudinal) qui nécessite donc de pouvoir avoir accès à des informations indispensables pour le suivi dans le temps des groupes de salariés ; étude cas-témoins rétrospective qui nécessite une information rétrospective complète, contrôlée et homogène au moment de son recueil. »

(2) Qualité de l'information recueillie

L'information recueillie est de qualité suffisante pour pouvoir faire l'objet d'une exploitation dans le cadre d'une étude épidémiologique précise. Ceci s'articule autour de deux axes :

l'information collectée doit être **consistante**, c'est à dire que chaque individu participant à l'étude se trouve porteur de renseignements intéressant l'étude. En corollaire, la gestion des valeurs manquantes (pour des individus participant à l'étude et dont on n'a pas de renseignements précis) doit être effectuée avec rigueur.

l'information collectée doit être **cohérente** : dans le cadre d'une société fonctionnant à travers de multiples entités, la perspective d'un recueil de données épidémiologiques multicentrique est immédiatement posée ; en effet, les niveaux de risques recherchés sont de plus en plus faibles et nécessitent pour être mis en évidence des études portant sur des populations d'effectif de plus en plus important.

Par ailleurs, la connaissance du « Poste de travail » ne permet plus de caractériser l'emploi des individus du fait de la mise en place de la polyvalence aux postes de travail. Ce qui aboutit à la nécessité d'enregistrer le plus finement possible les successions de tâches professionnelles des salariés, pour avoir une bonne connaissance à terme de leurs expositions.

« Dans ce cadre, si le système de recueil sur plusieurs centres permet de renforcer la puissance des études, il introduit aussi un risque majeur d'incohérence dans le recueil d'information qui ira à l'encontre du but recherché. Il est donc impératif d'assurer la cohérence de ces informations entre centres. »

(3) Intégration au système d'information de l'entreprise

L'information recueillie à des fins épidémiologiques s'intègre dans le système d'information de l'entreprise au niveau du service médical où elle représente un double enjeu :

- gestion des données médicales individuelles nécessaires pour prendre des décisions médicales, et nécessaires à conserver pour éclairer les décisions médicales à prendre ultérieurement ;
- gestion des données d'activité pour organiser le fonctionnement du service médical en vue des visites systématiques et de l'appréciation de l'activité du service ;

(4) Efficience des circuits de recueil

Les circuits de recueil mis en place et leurs acteurs sont efficaces dans le sens où ils sont capables de se servir des outils de collecte pour assurer une information de qualité suffisante pour pouvoir servir dans une étude épidémiologique. Ceci signifie que les acteurs sont coopérants au système de recueil et que les outils de recueil (en particulier informatique) sont adaptés et satisfont les utilisateurs.»

(5) Structure des tableaux de données

La structure informatique des données est simple afin de pouvoir obtenir une facilité de traitement. On peut fixer un cadre global : l'ensemble des données d'une étude doit se présenter sous la forme d'un ou plusieurs tableaux de données où chaque ligne représente un individu inclus dans l'étude et chaque colonne l'information « atomique » (variables au sens statistique) nécessaire au traitement.

(6) Convivialité et communication des outils de traitement

Les outils de traitement sont simples, souples, et conviviaux. Ils permettent de traiter les données avec les techniques épidémiologiques de base : analyse des risques, calcul de taux, analyse de variance, régression linéaire. D'autres outils plus spécialisés peuvent être nécessaires.»

Les outils actuellement sur le marché ne donnent pas encore satisfaction du point de vue épidémiologique, mais une évolution dans leur conception est en cours, et on devrait pouvoir disposer dans un temps assez proche d'un outil performant.