



Évaluation des niveaux d'exposition atmosphérique microbiologique et toxicologique de salariés des décharges d'ordures ménagères

Emmanuelle Huant-Gloux

► To cite this version:

Emmanuelle Huant-Gloux. Évaluation des niveaux d'exposition atmosphérique microbiologique et toxicologique de salariés des décharges d'ordures ménagères. Médecine humaine et pathologie. 2000. dumas-01084625

HAL Id: dumas-01084625

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01084625>

Submitted on 19 Nov 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il n'a pas été réévalué depuis la date de soutenance.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact au SICD1 de Grenoble : **thesebum@ujf-grenoble.fr**

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>



2^e exemplaire

UNIVERSITE JOSEPH FOURIER
FACULTE DE MEDECINE DE GRENOBLE

ANNEE 2000

N° D'ORDRE **5063**

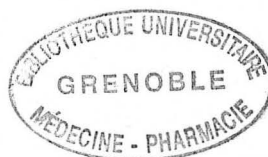
**EVALUATION DES NIVEAUX D'EXPOSITION
ATMOSPHERIQUE MICROBIOLOGIQUE ET
TOXICOLOGIQUE DE SALARIES
DES DECHARGES D'ORDURES MENAGERES**

THESE
PRESENTEE POUR L'OBTENTION DU
DOCTORAT EN MEDECINE

DIPLOME D'ETAT
Par
Emmanuelle HUANT-GLOUX

Née le 03 Juillet 1971

Thèse soutenue publiquement le 09 Octobre 2000 à 18 heures.



Devant le Jury composé de :

Monsieur le Professeur J.M. MALLION
Monsieur le Professeur R. DE GAUDEMARIS
Monsieur le Professeur A. BERGERET
Monsieur le Docteur A. PERDRIX
Madame le Docteur A. MAITRE

Président du Jury



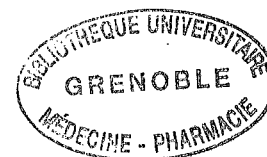
UNIVERSITE JOSEPH FOURIER

FACULTE DE MEDECINE DE GRENOBLE

Domaine de la Merci 38700 LA TRONCHE

Doyen de la Faculté
Vice-Doyen
Assesseurs

M. le Professeur J. L. DEBRU
M. le Professeur J. P. CHIROSSEL
M. le Professeur J. LEBEAU
M. le Professeur J.P. ROMANET
M. le Professeur B. SELE



PROFESSEURS DES UNIVERSITES - PRATICIENS HOSPITALIERS

AMBLARD	Pierre	Dermato. VénéréologieA	HOMMEL	Marc	Neurologie.
MBROISE-THOMAS	Pierre	Parasitologie et Mycol.	HOSTEIN	Jean	Hépto-Gastro-Entérol.
BACHELOT	Ivan	Endocrinologie et	JOUK	Pierre-Simon	Biologie du Dévelop. et de la reproduction.
BACONNIER	Pierre	Maladies Métaboliques	JUVIN	Robert	Rhumatologie
BARGE	Michel	Biostatistiques et	LAVIEILLE	Jean-Pierre	O.R.L.
BARRET	Luc	Informatique Méd.	LE BAS	François	Biophys. et Trait. de l'Image.
BAUDAIN	Philippe	Neurochirurgie	LEBEAU	Jacques	Stomat. et Chirurgie Maxillo-Faciale
BEANI	J.-Claude	Médecine Légale	LEROUX	Dominique	Génétique
BENABID	Al.-Louis	Radiologie et Imag. Méd.	LETOUBLON	Christian	Chirurgie Générale
BENSA	J. Claude	Dermatologie, Vénéréologie	LEVERVE	Xavier	Thérapeutique
BERNARD	Pierre	Biophys. et Trait. de l'image	LEVY	Patrick	Physiologie
BESSARD	Germain	Immunologie	LUNARDI	Joël	Biochimie et Bio. Molécul.
BLIN	Dominique	Gynéco et Obstétrique	MACHECOURT	Jacques	Cardio. et Maladie Vascu.
BOLLA	Michel	Pharma. Fondamentale	MAGNE	Jean-Luc	Chir. Vasculaire
BOST	Michel	Chir. Thor. et Cardio Vascu.	MALLION	J. Michel	Méd. du Trav. et Risques Prof.
BOUCHARLAT	Jacques	Radiothérapie	MASSOT	Christian	Médecine Interne
BOUGEROL	Thierry	Pédiatrie	MERLOZ	Philippe	Chir. Ortho. et Traumat.
BRAMBILLA	Christian	Pédo Psychiatrie	MOREL	Françoise	Bioch. et Biol. Moléculaire
BRAMBILLA	Elisabeth	Psychiatrie d'adultes	MICOUD	Max	Maladies Infect. et Trop.
BRICHON	P.Yves	Pneumologie	MOUILLON	Michel	Ophthalmologie
CARPENTIER	Françoise	Anatomie et Cyto. Pathol.	MOUSSEAU	Mireille	Cancérologie
CARPENTIER	Patrick	Chir. Thor. et Cardio.Vasc.	MOUTET	François	Chir. Plast.Reconst. et Esth.
CESBRON	Jean-Yves	Thérapeutique	PASQUIER	Basile	Anat. et Cyto.Patho
CHAMBAZ	Edmond	Méd. Interne	PASSAGIA	J.-Guy	Anatomie.
CHARACHON	Robert	Immunologie	PAYEN de LA	J. François	Anesthésiologie
CHIROSSEL	J. Paul	Biologie Cellulaire	GARANDERIE	Jacques	Neurologie
CINQUIN	Philippe	O.R.L.	PELLAT	Xavier	Rhumatologie
COLOMB	Maurice	Anatomie	PHELIP	Christophe	Pneumologie
CORDONNIER	Daniel	Biostatistique et Inf. Méd.	PISON	Benoît	Hématologie
COULOMB	Max	Immunologie	POLACK	Pierre	Neurologie
CROUZET	Guy	Néphrologie	POLLAK	Jean-Claude	Gynécologie et Obstétrique
DEBRU	Jean-Luc	Radiologie et Imagerie Méd.	PONS	Pierre	Pédiatrie
DE GAUDEMARIS	Régis	Radiologie et Imagerie Méd.	RANBAUD	J. Jacques	Urologie
DEMONGEOT	Jacques	Médecine Interne	RAMBEAUD	Bernard	Stomato. et Chirurgie Maxillo-faciale
DESCOTES	Jean-Luc	Méd. du Trav. et des risques professionnels.	RAPHAEL	Emile	O.R.L.
DUPRE	Alain	Biostatistique et Inf. Méd	REYT	J. Paul	Ophthalmologie
DYON	J.François	Urologie	ROMANET	Dominique	Chir. Orthopédique et Traumatologique
FAGRET	Daniel	Chirurgie Générale	SARAGAGLIA	René	Cancérologie
FAURE	Claude	Chirurgie Infantile	SCHAERER	Daniel	Histo.embryo.cytogénét. Reproduction
FAVROT	Marie C.	Bioph et Trait. Image	SEIGNEURIN	J. Marie	Bactério-Viro - Hygiène.
FEUERSTEIN	Claude	Anatomie	SELE	Bernard	Biologie du Développement et de la Reproduction
FOURNET	Jacques	Cancerologie CLB Lyon	SOTTO	J. Jacques	Hématologie et Transfusion
FRANCO	Alain	Physiologie	STAHL	J. Paul	Maladies Infect. et Trop.
FRANCOIS	Patrice	Hépto-Gastro-Entéro.	VANZETTO	Gérald	Clin./Urgences Cardio.
GARNIER	Philippe	Médecine. Interne	VIALTEL	Paul	Néphrologie
GIRARDIET	Pierre	Épidém., Écon. de la Sant. et Prévention.	VROUSOS	Constantin	Radiothérapie
GOULLIER-FLEURET	Andrée	Pédiatrie	VUILLEZ	J.-Philippe	Biophys./Méd. Nucléaire
GUIDICELLI	Henri	Pédiatrie	ZARSKI	J.Pierre	Hépto-Gastro-Entérol.
GUIGNIER	Michel	Anesth. et Réa. Chir.			
HADJIAN	A.-Jean	Parasitologie et Mycologie			
HAIJMI	Serge	Chirurgie Vasculaire			
		Réanimation Médicale			
		Biochimie et biol.Mol			
		Nutrition			

Je tiens à remercier

Monsieur le Professeur Mallion

De me faire l'honneur de présider ce jury.

Monsieur le Professeur de Gaudemaris

De l'encadrement dont j'ai bénéficié au cours de mes études,
pour sa disponibilité.

Monsieur le Professeur Bergeret

D'avoir accepté de juger ce travail.

Monsieur le Docteur Perdrix

D'avoir su me transmettre la passion de son métier,
pour sa très grande disponibilité,
pour avoir consacré du temps
à la réalisation de ce travail et de tant d'autres.

Madame le Docteur Maître

De m'avoir fait confiance en me proposant ce travail,
pour ses compétences, sa rigueur et son esprit de synthèse
qui m'ont permis de progresser durant mes études.

Je tiens également à remercier

***Les directeurs, les chefs d'exploitation, les salariés
et les médecins du travail
des deux sites.***

Les participants de l'étude :

RECORD

A. Navarro et ses collaborateurs

Les tuteurs industriels :

CIMENTS D'OBOURG

CIMENTS LAFARGE

EDF/GDF

VIVENDI - ONYX-SANET - CREED

SATROD - SITA - CERED

SOCOTEC

Et notamment :

C. Beckaert

H. Billard

G. Chahine

L. Cimolino

D. Delahaye

P. Empereur-Bissonnet

L. Lambolez-Michel

Y. Moreau-Le-Golvan

S. Poignard

J. Rathle

O. Schlosser

B. Van de Walle

L'ADEME et particulièrement :

F. Dor

H. Desqueroix

C. Milton

F. Savoie

Les équipes de recherche :

M. Hours

L. Anzivino-Viricel

MP. Herrscher

Y. Perrodin

B. Sarrazin

P. Berny

G. Keck

J. Asta

Et plus particulièrement :

M. Stoklov

pour sa gentillesse et sa patience.

S. Parat

pour sa disponibilité et son optimisme.

Et encore

Jocelyne

pour son écoute bienveillante.

Jeanine, Christine, Marielle et Lysiane

pour leur gentillesse.

Pascale

pour ses premiers conseils en traitement de texte.

Lynda et Jean-Louis

pour leur très grande disponibilité.

Isabelle

et ses pâtisseries.

Sylvette

pour son aide utile, précieuse et nécessaire lors de recherches bibliographiques.

Séverine, Marie et Sarah

pour leur aide lors du décryptage des résultats.

Fabien, Dominique et Nathalie

pour leur aide lors de la réalisation des prélèvements.

Naïk, Joëlle, Corinne et Gilles

pour leur soutien.

**Danièle, Marie-Claude, Bernard Imbert, Laurent Cordier
et tout le personnel soignant du 3^{ème} C**

Pour avoir guidé mes premiers pas d'interne.

A toutes et tous

pour vos encouragements et surtout pour votre sourire.

A

Olivier

pour hier, aujourd'hui mais surtout pour demain.

Clément et Mathilde

« que je aime et que je adore beaucoup, beaucoup, beaucoup ».

Blanche et Maurice

pour tout ce qu'ils ont su me donner.

Danièle et Georges

sur cette page, encore une fois réunis.

Boris

mon « petit » frère.

Virginie et Clara

pour être revenues ...

Marie-Thérèse, André, Michèle, Joëlle et Hélène

Et mes huit cousines et cousins

que je côtoie trop peu souvent.

Marie-Gabrielle, Marie et Isabelle

pour leur amitié.

Ma belle-famille

A tous ceux que j'aime et que je ne peux pas nommer

une autre thèse serait à débiter ...

LISTE DES ABREVIATIONS.

ACGIH :	American Conference of Governmental Industrial Hygienist.
ADEME :	Agence pour la Défense de l'Environnement et la Maîtrise de l'Energie.
ASTM :	American Society for Testing and Materials.
B(a)A :	Benzo(a)Anthracène.
B(a)P :	Benzo(a)Pyrène.
B(b)F :	Benzo(b)Fluoranthène.
B(k)F :	Benzo(k)Fluoranthène.
BAAE :	Bronchio-Alvéolite Allergique Extrinsèque.
BPCO :	Broncho-Pneumopathie Chronique Obstructive.
CEE :	Communauté Economique Européenne.
CET :	Centre d'Enfouissement Technique.
CIRC :	Centre International de Recherche sur le Cancer.
CFU :	Colony Forming Unit (Unité Formant Colonie).
COV :	Composés Organiques Volatils.
CV :	Capacité Vitale.
CVF :	Capacité Vitale Forcée.
DECOS :	Dutch Expert Committee on Occupational Standards.
D(a,h)A :	Dibenzo(a,h)Anthracène.
DIB :	Déchets Industriels Banals.
DMA :	Déchets Ménagers et Assimilés.
EU :	Endotoxin Unit (Unité d'Endotoxines).
IBE :	Indice Biologique d'Exposition.
HAM :	Hydrocarbures Aromatiques Monocycliques.
HAP :	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques.
HC :	Hydrocarbures.
LAL :	<i>Limulus</i> Amebocyte Lysate.
MCOV :	Composés Organiques Volatils produits par les Micro-organismes.
NIOSH :	National Institute of Occupational Safety and Health.
ODTS :	Organic Dust Toxic Syndrome.
OEL :	Occupational Exposure Limit.
OM :	Ordures Ménagères.
OMS :	Organisation Mondiale de la Santé.
PCB :	PolyChloroBiphényles.
PCT :	PolyChloroTerphényles.
PPR :	Prevalence Proportion Ratio.
RR :	Risque Relatif.
SMR :	Standardised Mortality Ratio.
STEP :	STation d'EPuration.
TLV :	Threshold Limit Value.
TWA :	Time Weight Average.
VEMS :	Volume Expiratoire Maximal Seconde.
VME :	Valeur Moyenne d'Exposition.
VLE :	Valeur Limite d'Exposition.
VLEP :	Valeur Limite d'Exposition Professionnelle.

INTRODUCTION

I. INTRODUCTION.

Synonyme de croissance économique et sociale, la production de déchets, et plus particulièrement d'Ordures Ménagères (OM), atteignait 434 kg par an et par habitant en 1995 [ADEME, 1998a]. Cette production, liée à la société de consommation et aux activités industrielles, ne cesse de croître et de se diversifier. Elle pose de réels problèmes de gestion économique et politique aux autorités publiques. Des questions se posent quant à l'impact sur l'environnement et les risques sanitaires engendrés par les modes de traitement existants.

Avec près de 60% des déchets traités, la mise en décharge représente le principal mode d'élimination des déchets ménagers. Perçu jusqu'à récemment comme étant sans danger pour la nature et la santé humaine, l'éveil de la conscience environnementale conjuguée à une médiatisation faisant état de pollution et de risques pour la santé, propulsent ce mode de traitement au sommet des préoccupations du public.

Une loi votée en 1992 prévoit qu'au 1^{er} juillet 2002 les décharges classiques disparaissent, seuls seront autorisés à être déposés en décharge les déchets dits ultimes. Ainsi, à la mise en décharge doit se substituer, d'une part une augmentation des activités de tri et de recyclage et, d'autre part un développement du traitement par incinération, considéré comme principale alternative au stockage des déchets. Mais, à moins de deux ans de cette échéance, et devant la croissance de la quantité de déchets ménagers produits, il semble que le terme de 2002 ne puisse pas être respecté. D'autre part, si l'incinération a le vent en poupe, elle produit des résidus qui concentrent les toxiques et qu'il faut « inérer ».

Notre travail, qui porte sur les décharges d'ordures ménagères - encore nommées centres de stockage ou Centres d'Enfouissement Technique (CET) de classe II - , a pour origine :

- la nécessité de trouver des débouchés aux déchets produits qui soient compatibles avec la sauvegarde de l'environnement, la gestion des ressources naturelles et la protection de la santé publique,
- la méconnaissance actuelle des risques environnementaux et sanitaires des modes de traitement des déchets.

Du fait du manque de spécificité des pathologies et de la méconnaissance de l'importance de l'exposition, les risques pour la santé associés au traitement des déchets sont difficiles à évaluer pour la population générale. Une surveillance standardisée des travailleurs de l'industrie des déchets permet de rechercher des perturbations précoces de la santé et peut-être, dans quelques domaines, de les extrapoler à la population générale.

En effet, exposés directement aux déchets et à leurs produits de dégradation, les salariés des décharges sont susceptibles de développer des troubles cliniques ou biologiques plus précocement que la population générale. Ils constituent donc une population sentinelle, qui a été choisie afin d'établir la nature et l'importance des émissions aériennes chimiques et microbiologiques et de définir les risques auxquels cette population est soumise.

Notre travail s'intègre dans un projet pluridisciplinaire mené avec l'Université Claude Bernard de Lyon dénommé « Risque pour la santé des travailleurs des sites de traitement des déchets ménagers : évaluation des expositions et détection des effets sur la santé, mise en place d'un système de surveillance épidémiologique ».

Plusieurs aspects ont déjà été étudiés, en particulier les filières « incinération » et « compostage ».

Dans la continuité de ces travaux, cette étude s'intéresse aux CET de classe II. Elle a pour but :

- d'identifier les dangers par la caractérisation des émissions aériennes à la source en prenant pour exemple deux sites sélectionnés,
- de mesurer les niveaux d'exposition atmosphérique microbiologique et toxicologique des populations sentinelles,
- de rechercher des indicateurs aériens de pollution pertinents.

La première partie de notre travail établit l'état des connaissances sur les filières de traitement des déchets, les risques microbiologique et toxicologique aéroportés et les risques sanitaires au niveau des CET de classe II.

Dans une seconde partie sont présentés et discutés les résultats de l'évaluation des niveaux d'exposition atmosphérique microbiologique et toxicologique dans deux CET.

Une fois l'évaluation des niveaux d'exposition atmosphérique réalisée, nous pourrons :

- proposer une stratégie de surveillance atmosphérique et biologique applicable au suivi des salariés travaillant sur d'autres décharges,
- élaborer un questionnaire et choisir des examens complémentaires dans le but de réaliser une surveillance standardisée des travailleurs de l'industrie des déchets.

A terme, et après avoir étudié sur un plan sanitaire toutes les filières de traitement des déchets, les pouvoirs publics auront - en dehors des critères économiques - des outils permettant une orientation vers les filières présentant le moins de nuisances pour l'homme.

ETAT DES CONNAISSANCES

II. ETAT DES CONNAISSANCES.

II.1. LES DECHETS.

II.1.1. Qu'est-ce qu'un déchet ?

[Lambert, 1994]

II.1.1.1. Définition.

En France, la loi n° 75-633 du 15 juillet 1975 relative à l'élimination des déchets et à la récupération des matériaux, modifiée par la loi n° 92-646 du 13 juillet 1992 relative à l'élimination des déchets ainsi qu'aux installations classées pour la protection de l'environnement, définit un déchet comme « tout résidu d'un processus de production, transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit, ou plus généralement tout bien meuble abandonné ou que son destinataire destine à l'abandon » ou encore « toute substance ou tout objet dont le détenteur se défait ou à l'intention ou l'obligation de se défaire » (Directive européenne du 18 mars 1987).

II.1.1.2. Les différents types de déchets.

II.1.1.2.1. Le classement des déchets par producteurs.

Il comprend :

- les déchets urbains, où sont regroupés :
 - * les ordures ménagères,
 - * les déchets encombrants,
 - * les déchets d'espaces verts,
 - * les déchets de l'automobile,
 - * les déchets des activités de soins (déchets assimilables aux ordures ménagères, déchets à risques infectieux, déchets toxiques liés aux activités spécifiques (analyses...), déchets d'entretien (huiles, solvants...), déchets radioactifs).

- les déchets organiques tels que :
 - * les boues résiduaires de STEP (STation d'EPuration), il s'agit d'un résidu constitué de matières organiques et minérales extraites des eaux par épuration,
 - * les matières de vidange (issues des installations d'assainissement), les boues de curage (issues de l'entretien des réseaux d'assainissement), les corps gras (issus des industries agroalimentaires, des restaurants privés mais aussi des particuliers),
 - * les fumiers et lisiers.

- les déchets du BTP :
 Ce sont des déchets de chantier. Ils sont constitués :
 - * de déchets d'emballage,
 - * de déchets « inertes » (pierres naturelles, béton, céramique, verre...),
 - * de déchets banals hors emballages (plâtre, métaux, textiles, bois non traités...),
 - * de déchets spéciaux (peintures, solvants, amiante, certains métaux, bois traités...).

- les Déchets Industriels Banals (DIB):
 - * les ferrailles et métaux non-ferreux,
 - * les papiers et cartons,
 - * les matières plastiques,
 - * le verre,
 - * le caoutchouc et les pneumatiques,
 - * les bidons, fûts et conteneurs,
 - * les textiles,
 - * les déchets et sous produits du bois.

- les déchets spéciaux :
 - * des solvants usés,
 - * des fluides de travail des métaux,
 - * des bains de traitement de surface,
 - * des huiles usagées,
 - * les polychlorobiphényles (PCB) et les polychlorobiphényles (PCT),
 - * des déchets toxiques en quantités dispersées (solvants, acides, piles, peintures...).

- les déchets radioactifs,

- les déchets ultimes.

II.1.1.2.2. Le classement des déchets par risques potentiels.

En pratique, c'est le classement par risques potentiels qui est utilisé pour la gestion des déchets, ainsi quatre classes de déchets sont distinguées :

- les déchets inertes.

Il s'agit de déchets sans odeurs, non fermentescibles et non toxiques. Ils ne présentent pas de risque pour l'homme et son environnement (déblais, gravats...). Une autre approche serait de les définir comme des matériaux solides minéraux ne pouvant, après mise en décharge, subir aucune transformation physique, chimique ou biologique.

- les déchets banals.

Ils sont assimilables aux ordures ménagères et présentent certaines caractéristiques de fermentation.

Les DIB sont des déchets non dangereux et non inertes produits par les industries et les entreprises de commerce, d'artisanat et de service [ADEME, 1998b]. Ils peuvent être regroupés en grandes familles : bois, verre, caoutchouc, textiles, cuir. Ils suivent des filières de traitement similaires à celles mises en œuvre pour les ordures ménagères : recyclage, incinération, stockage en CET de classe II. Ils peuvent être produits en grande quantité, parfois très homogène.

Les activités les plus productrices de ces déchets sont, en France, l'industrie du bois, l'industrie du papier/carton et de l'imprimerie ainsi que le commerce de détails et la métallurgie.

Les trois quarts des DIB sont valorisés soit par recyclage (66%), soit par incinération avec récupération de l'énergie produite (9%). Le taux de mise en décharge est de 19%, il est représenté pour 78% par des déchets en mélange.

- les déchets spéciaux.

Ils contiennent des éléments nocifs en plus ou moins grande quantité. Ils présentent de grands risques pour l'environnement et doivent être éliminés avec des précautions particulières. Parmi ces déchets, on trouve les déchets toxiques ou dangereux qui font l'objet d'un contrôle spécifique pour leur élimination.

- les déchets radioactifs.

Ce sont des substances provenant des centres de production d'énergie nucléaire ou d'équipements médicaux.

Le classement des déchets varie selon des critères utilisés soit par les producteurs, soit en fonction des espaces de production et/ou de rejets, soit en fonction des risques potentiels [ADEME, 1997].

Pour la suite de notre travail, nous nous intéresserons plus particulièrement aux ordures ménagères, aux déchets inertes et aux déchets banals.

II.1.2. La législation française concernant les déchets.

[Lambert, 1994] [ADEME, 1997]

Depuis toujours, l'élimination des déchets est une source de préoccupation pour les instances dirigeantes.

En France une première ordonnance est publiée en 1348 [Chaumont et al., 1975], qui prescrit aux parisiens de faire transporter les ordures ménagères dans des lieux désignés à cet effet. En 1608, Henri IV promulgue un édit interdisant de jeter les ordures par les fenêtres, de jour comme de nuit. En 1870, M. Poubelle, préfet de la Seine entend parler de paniers à ordures mis à la disposition des habitants de Caen à la fin du XVIIème siècle. Dès 1882, ces paniers sont remplacés à Lyon par des boîtes métalliques. Il en impose l'usage à Paris et du même coup immortalise son nom.

Depuis, la législation a évolué. Elle est fondée sur cinq textes principaux et divers décrets. Chaque producteur de déchets, industriel ou collectivité locale, est responsable devant la loi de ses déchets et des conditions dans lesquelles ils sont collectés, transportés, éliminés ou recyclés.

La *loi n° 75-633 du 15 juillet 1975* relative à l'élimination des déchets et à la récupération des matériaux fixe les grands principes de la réglementation des déchets, renforcée par la *loi n° 76-663 du 19 juillet 1976* relative aux installations classées, et modifiée par la *loi n° 88-1261 du 30 décembre 1988* relative à l'importation et à l'exportation de déchets, par la *loi n° 92-646 du 13 juillet 1992* relative à l'élimination des déchets et par la *loi n° 95-101 du 2 février 1995* relative au renforcement de la protection de l'environnement :

- définit la notion de déchet (Cf. II.1.1.1.),
- précise la notion de déchet ultime en indiquant « est ultime au sens de la présente loi un déchet, résultant ou non du traitement d'un déchet, qui n'est plus susceptible d'être traité

dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de la part valorisable ou par réduction de son caractère polluant ou dangereux » (article 1). Elle fixe le cadre réglementaire de l'élimination et de la récupération,

- fait obligation au producteur ou détenteur de déchets d'en assurer ou faire assurer l'élimination dans des conditions satisfaisantes pour l'environnement (notion de responsabilité quant à la destination finale, la valorisation, le traitement ou le stockage),
- précise qu'à compter du 1^{er} juillet 2002, « les installations d'élimination des déchets par stockage ne seront autorisées à accueillir que des déchets ultimes »,
- stipule que « jusqu'au 30 juin 2002 tout exploitant d'une installation de stockage de déchets ménagers ou industriels spéciaux verse à l'ADEME une taxe » ; cette taxe a atteint 40 francs par tonne au 1^{er} janvier 1998,
- définit le droit à l'information du public sur les effets préjudiciables pour la santé de l'homme et l'environnement, du ramassage, du transport, du traitement, du stockage et du dépôt des déchets ainsi que des mesures prises pour pallier ses effets.

Les *arrêtés du 18 décembre 1992* modifiés par ceux du *18 février 1994* instaurent le principe de stabilisation des déchets spéciaux avant stockage.

La disparition des décharges traditionnelles est prévue pour 2002. Elles doivent faire place aux centres de stockage de déchets ultimes.

II.1.3. Les ordures ménagères.

II.1.3.1. Définition.

Les ordures ménagères désignent les déchets collectés dans le cadre de tournées de ramassage organisées par les municipalités. Il s'agit donc d'ordures ménagères au sens large. Elles sont constituées par des déchets issus de l'activité domestique des ménages.

Mais, dans l'usage actuel, elles comprennent aussi les déchets non ménagers collectés dans les mêmes conditions que les déchets ménagers (collectes usuelles et séparatives) tels que [ADEME, 1997, 1998a, 1998b] :

- les déchets produits par les ménages, c'est à dire :
 - * les déchets encombrants qui sont issus de l'activité domestique occasionnelle des ménages qui, en raison de leur volume ou de leur poids, ne peuvent être pris en

compte par la collecte des ordures ménagères. Ils comprennent notamment les équipements ménagers usagés (réfrigérateurs, matelas, vélos, mobilier...), les déblais, les gravats,

- * les déchets de jardin,

- * les déchets liés à l'usage de l'automobile (huiles usagées, batteries, pneumatiques...),

- les déchets verts des espaces publics.

Ils sont issus des activités d'entretien et de renouvellement des espaces verts publics (parcs, jardins, plantations, terrains de sport, aires de loisirs...) des collectivités territoriales ou des organismes publics ou parapublics,

- les déchets de nettoyage.

Ils proviennent des activités de marchés et de l'entretien des voies publiques,

- les déchets de l'assainissement collectif.

Les procédés d'épuration des eaux usées domestiques entraînent la production de neuf millions de boues par an, dont la teneur en eau varie entre 60 et 98%. A ces boues, s'ajoute 0,9 millions de tonnes de déchets de curage des réseaux d'assainissement, de déchets de dégraissage et de déchets de dégrillage en tête de stations d'épuration,

- les déchets banals produits par les industries, les entreprises de commerce, d'artisanat et de service.

En pratique, tous ces déchets peuvent être admis dans un CET de classe II. Dans la suite de notre étude, ils sont désignés sous le terme de « Déchets Ménagers et Assimilés (DMA) ».

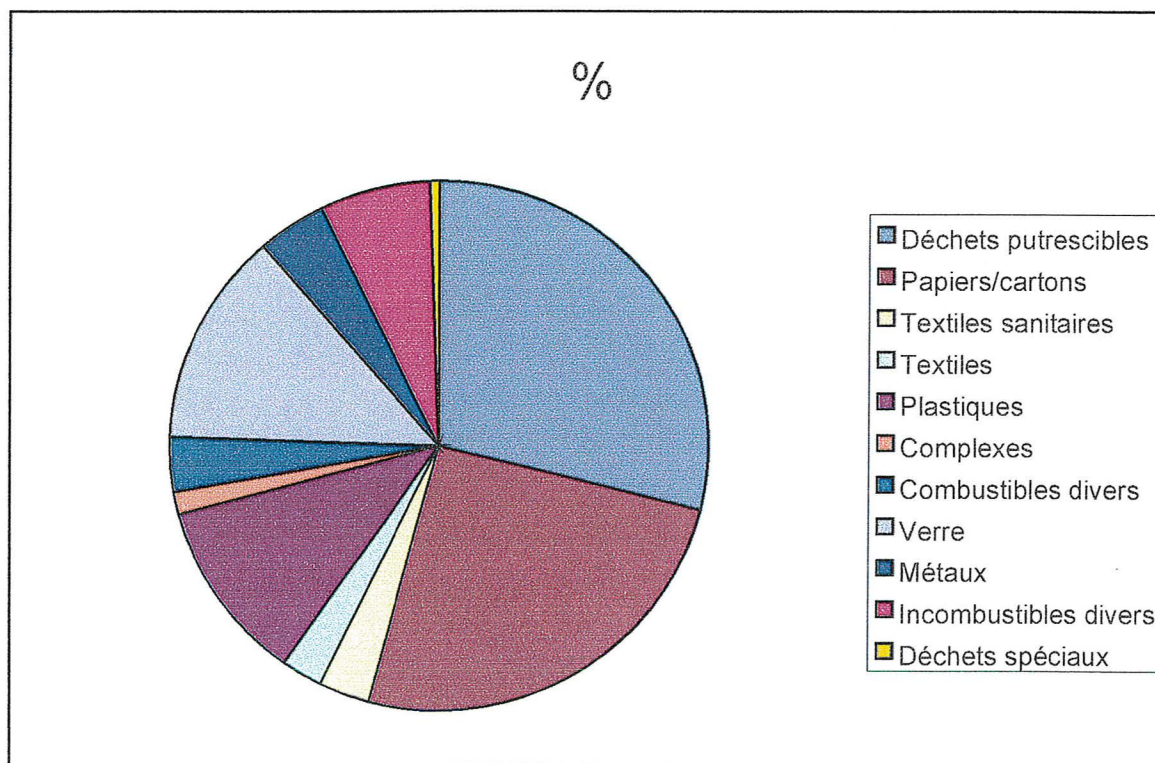
Mais de nombreuses données ne concernent que les déchets issus de l'activité domestique des ménages, ils sont alors dénommés « Ordures Ménagères (OM) ».

II.1.3.2. La composition.

La composition moyenne des OM au niveau national, exprimée en pourcentage du poids, se répartit ainsi (Cf. Tableau 1 et Graphique 1) :

	%	kg/habitant/an
Déchets putrescibles	28,8	125,0
Papiers/cartons	25,3	109,8
Textiles sanitaires	3,1	13,4
Textiles	2,6	11,3
Plastiques	11,1	48,2
Complexes	1,4	6,1
Combustibles divers	3,2	13,9
Verre	13,1	56,8
Métaux	4,1	17,8
Incombustibles divers	6,8	29,5
Déchets spéciaux	0,5	2,2
Total	100	434,0

Tableau 1 : Composition des OM – Moyenne nationale d'après ADEME 1998a.
(Répartition poids humide – Evaluation pour 1995)



Graphique 1 : Composition des OM en % pour 1995.

Avec le temps, il existe une diversification des déchets ménagers, reflet des habitudes de consommation. Ainsi, la teneur en plastique, carton et papier s'accroît fortement [ADEME, 1997].

La partie dite fermentescible est composée de déchets putrescibles (déchets alimentaires), de papiers, de cartons, de textiles sanitaires. Avec près de 30% du poids humide, ils représentent la majorité de la composition des OM (57,2%, soit 12 Mt).

Environ 40% du poids humide des ordures proviennent des emballages (bouteilles, cartons, sacs, boîtes de conserve...). Les trois premiers matériaux étant le verre, le plastique, le carton.

Par déchets spéciaux, on entend des déchets dangereux consommés par les ménages. Ils suivent la même voie d'élimination que les ordures ménagères proprement dites et aboutissent donc dans les décharges de classe II. Ces déchets comprennent notamment des pesticides, des solutions de lavage, des poussières ou des boues contenant des métaux lourds, des déchets d'encre, de peintures, des solvants usés ou de fond de cuve, des solutions acides ou alcalines, des déchets de revêtement, de la photographie, des batteries automobiles, des déchets de formaldéhyde, d'huiles, de lubrifiants, d'ammoniaque... [Reinhart, 1993].

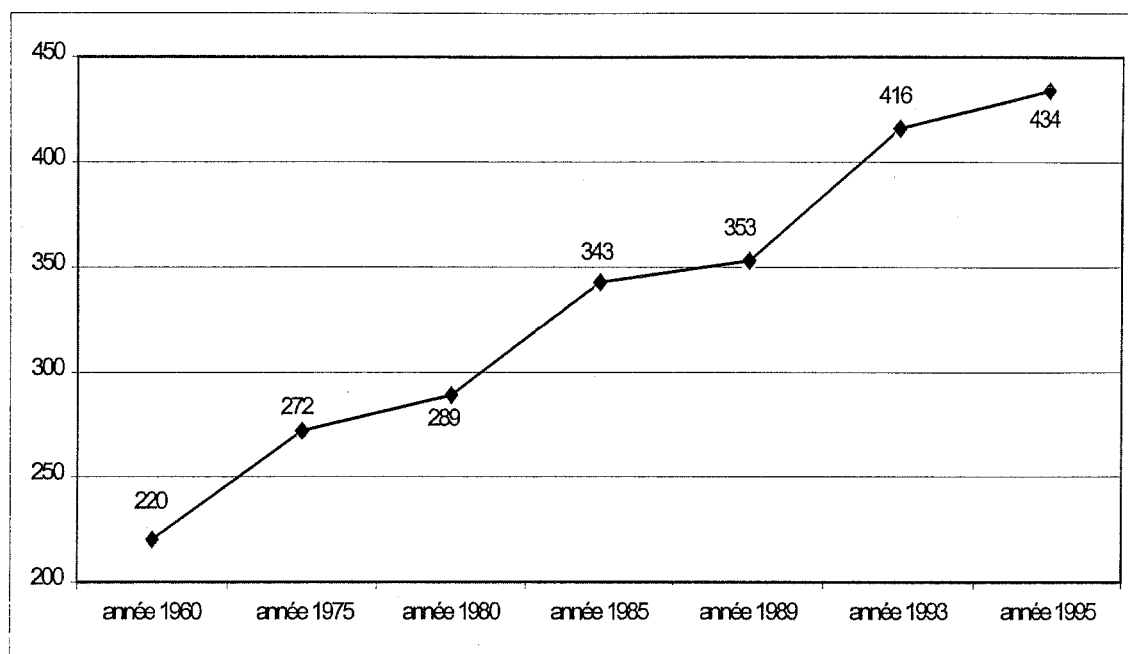
II.1.3.3. La production.

[ADEME 1998a, 1998b]

La production des OM a augmenté en France de 93% en 33 ans. De 220 kg d'OM produits par habitant et par an dans les années 60, la production s'est élevée à 23 milliards de tonnes en 1995, soit 434 kg par habitant et par an en moyenne (Cf. Graphique 2).

La part des OM est estimée à plus de 63% de la quantité globale de DMA, qui s'élève à plus de 36 milliards de tonnes en 1995 (Cf. Tableau 3).

Compte tenu de l'évolution démographique et de l'évolution des modes de fabrication et de consommation, la production globale des DMA s'accroît de 2,2% par an.



Graphique 2 : Evolution de la production des OM de 1960 à 1995 (en kg/habitant/an).

Les DMA comprennent tous les déchets issus de l'activité des ménages (OM, encombrants, déchets spéciaux en faible quantité), les déchets issus de la collectivité (espaces verts, assainissement) et les déchets issus des entreprises.

En 1995, la production des DMA atteignait 36 millions de tonnes/an en France.

La même année, les OM (déchets directement issus de l'activité des ménages) représentaient 23 millions de tonnes, soit 63% des DMA ou encore 434 kg/habitant/an.

C'est une production qui ne cesse de s'accroître.

II.2. LES PRINCIPALES FILIERES DE TRAITEMENT DES DECHETS.

[LAMBERT, 1994]

II.2.1. Présentation générale.

II.2.1.1. La collecte séparative, le tri, le recyclage, la valorisation.

La collecte séparative est le passage d'une collecte en mélange de l'ensemble des déchets ménagers, à des collectes séparant les déchets (tels que les emballages en papier/carton, verre, plastique et métaux, auxquels s'ajoutent les journaux et revues) en flux homogènes, ce qui permet et facilite le traitement et la valorisation de la matière.

En dehors de la valorisation, elle contribue à réduire les quantités de déchets résiduels à éliminer [ADEME, 1998a].

Elle permet aussi aux citoyens de prendre conscience des déchets qu'ils produisent. Facteur de responsabilisation, elle les amène à modifier leur comportement quotidien par des gestes simples et les prépare à consommer autrement.

La déchetterie reçoit les matériaux qui ne peuvent être collectés de façon traditionnelle par les services de ramassage des ordures en raison de leur taille (mobilier, literie, gros électroménager, cycles, caisses...), de leur quantité (gravats, déchets verts), ou de leur nature (huiles usagées, batteries, produits de bricolage ou d'entretien, piles...). Elle est un des lieux de tri qui doit permettre la meilleure orientation possible des déchets reçus. Ainsi, si certains déchets rejoignent les filières de traitement des déchets, d'autres sont valorisés de façon à participer aux efforts nationaux de récupération, notamment en optimisant le recyclage.

En 1995, 55 millions d'habitants triaient le verre, 10 millions étaient concernés par des collectes séparatives de journaux et de magazines et 4,5 millions d'entre eux effectuaient un tri de plusieurs matériaux (au moins trois).

De ce gisement (papier/carton, verre, plastique et métaux...), près de 1,6 millions de tonnes ont été récupérées, puis valorisées sous forme de matières.

Récupéré depuis plus de vingt ans, le verre est actuellement recyclé à plus de 50%. Le recyclage des papiers et des cartons est en croissance, celui des plastiques reste à développer [ADEME, 1998b].

II.2.1.2. La mise en décharge.

Le stockage reste le principal mode d'élimination des DMA.

En 1996, près de 60% des DMA ont été déposés en décharges.

II.2.1.3. Les traitements par voie thermique.

II.2.1.3.1. l'incinération.

L'incinération permet :

- la destruction complète des déchets et leur transformation en éléments simples inertes qui pourront entrer dans les cycles chimiques de la biosphère (CO_2 , H_2O , N_2 par exemple),
- une économie du fait de son utilisation comme combustible de substitution,
- la récupération de chaleur.

Mais :

- tous les déchets ne sont pas incinérables et des critères sont à prendre en compte concernant la caractérisation du déchet (pouvoir calorifique, point éclair, halogènes, métaux). Suivant le type de déchet considéré (solide, liquide, gazeux), les capacités de combustion sont différentes,
- l'incinération engendre ses propres polluants tels que des effluents gazeux qui doivent être traités ainsi que des cendres, des boues, des mâchefers qui peuvent être, selon le cas, soit valorisés, soit être à leur tour éliminés après avoir été rendus inertes [ADEME, 1998a].

Un peu plus de 30% des DMA ont été incinérés en 1995.

II.2.1.3.2. la pyrolyse. [Maes, 1990]

La pyrolyse est une technique de traitement qui consiste en une combustion ménagée à basse température permettant une séparation fractionnée de sous-produits valorisables. Il s'agit d'un terme générique qui regroupe toutes les opérations de scission moléculaire par voie thermochimique d'un produit en phase quelconque, donnant naissance à des gaz (hydrogène,

oxyde de carbone, hydrocarbures...), liquides (huiles, condensat, essences...) et solides (coke, granulats, pyrolysat...) qui peuvent être valorisables.

II.2.1.3.3. Les techniques au plasma.

Le plasma correspond à un gaz recevant de l'énergie sous l'action d'une décharge. Les molécules sont ainsi excitées et/ou ionisées sous l'effet d'un champ électrique ou d'une très forte élévation de température. Cette technique permet une destruction des déchets avec un rendement élevé et la formation de résidus inertes.

Selon le degré de température, les techniques au plasma sont classées en deux groupes :

- *les techniques au plasma froid* ($T < 1000^{\circ}\text{C}$) ,
- *les techniques au plasma thermiques* ($T > 3000^{\circ}\text{C}$). Elles sont adaptées à l'élimination des déchets spéciaux ou toxiques, nécessitant un séjour à très haute température, devant atteindre un taux de destruction maximal et un minimum de résidus minéraux sous forme vitrifiée formant ainsi des déchets inertes (inertage de l'amiante par vitrification par exemple, selon le procédé Inertam d'EDF).

II.2.1.4. Les traitements par voie physico-chimique.

Les traitements physico-chimiques consistent, la plupart du temps, à des traitements préalables pour des déchets qui présentent une forme qui ne convient pas au mode d'élimination finale auquel ils sont destinés.

Ce mode de traitement concerne actuellement les déchets inorganiques liquides ou semi-liquides, par exemple les bains de traitement de surface des métaux, les acides et les bases.

Les traitements physico-chimiques peuvent être de plusieurs types :

- ajustement du pH, neutralisation acido-basique,
- neutralisation oxydo-réductrice des déchets comportant au moins une phase aqueuse,
- épuisement gravitaire des déchets boueux,
- déshydratation mécanique par filtration des déchets boueux.

II.2.1.5. Le compostage-épandage.

Le compostage est une bioconversion - ou dégradation - de la matière organique réalisée en condition aérobie par une population microbienne faite de bactéries, levures, actinomycètes et champignons inférieurs.

Les déchets qui peuvent être compostés sont multiples, il s'agit :

- des déchets urbains générés par les stations d'épuration d'eaux usées (boues résiduaires, graisses), et des DMA,
- des déchets industriels notamment du secteur para-agricole et agroalimentaire (déchets de conserverie, distilleries vinicoles), des abattoirs (sous-produits non valorisables), du travail du bois (sciures, copeaux) et des stations d'épuration (boues résiduaires industrielles),
- déchets agricoles, comme les effluents d'élevage et les sous-produits de la vinification.

Ce mode de traitement concerne un peu plus de 7% des tonnages traités (essentiellement des DMA) dans des installations de tri-compostage. Pour les DMA, la tendance est au compostage de la fraction fermentescible, triée à la source [ADEME, 1998a].

Pour ce qui concerne les déchets verts, 500000 tonnes ont été traitées en 1996 sur une centaine de plates-formes de compostage.

II.2.1.6. La méthanisation.

[Maes, 1990]

Contrairement au compostage, il s'agit d'un mode de digestion de la matière organique qui s'effectue en condition anaérobie. Le procédé produit un mélange de méthane et de gaz carbonique appelé biogaz. Ce biogaz est stocké pour être valorisé sous forme d'énergie [Desportes, 1996 faut-il].

II.2.1.7. La stabilisation.

[ADEME, 1997]

Outre le fait que l'*arrêté ministériel du 18 décembre 1992* définisse la notion de déchet ultime admissible en stockage, elle prévoit dans certains cas leur stabilisation.

Un déchet est considéré comme stabilisé quand sa perméabilité à l'eau et sa fraction lixiviable ont été réduites et quand sa tenue mécanique a été améliorée de façon à ce que ses caractéristiques satisfassent à des critères d'acceptation.

Cette technique concerne en fait presque exclusivement des résidus industriels (résidus de la métallurgie, déchets minéraux de traitement chimique, mâchefers résultant de l'incinération des déchets industriels...).

La stabilisation est un terme générique qui regroupe différentes techniques, pouvant même pour certaines être associées :

- la solidification.

Historiquement, il s'agit d'une technique visant à faire réagir toute l'eau libre du déchet avec un liant afin de lui donner une certaine structure physique. Aujourd'hui, elle regroupe toutes les techniques qui tendent à donner aux déchets une certaine structure physique et rassemblent les opérations qui consistent à enrober le déchet d'une gangue solide, imperméable,

- la fixation chimique.

Il s'agit d'une technique qui consiste en l'immobilisation de polluants dans une matrice du fait de la formation de liaisons chimiques entre les polluants et les composés de la matrice (insolubilisation sous forme de silicates...),

- la fixation physique, enrobage ou encapsulation.

Cette technique consiste à enfermer dans une gangue « étanche » les composants polluants du déchet,

- la vitrification.

C'est un principe qui consiste en une rétention physico-chimique des polluants d'un déchet dans une matrice vitreuse, obtenue par un traitement à haute température. La vitrification est obtenue grâce aux composants du déchet, ainsi que par d'éventuels ajouts.

Les principaux objectifs sont :

- d'améliorer la rétention physico-chimique des polluants, afin de limiter leur solubilité et par conséquent leur rejet dans l'environnement,
- de limiter les contacts à l'interface déchets-environnement, notamment l'entraînement des polluants par l'eau,

- de détoxifier le produit traité par transformation de certains composés polluants dont il est constitué,
- d'améliorer les propriétés physiques du déchet en vue de faciliter sa manipulation et son stockage,
- d'obtenir un état relativement pérenne.

La gestion des DMA comporte plusieurs étapes successives : la collecte, le traitement et/ou l'élimination.

Les techniques de traitement des DMA sont le tri, le compostage, l'incinération avec ou sans récupération d'énergie et la mise en décharge.

Les autres techniques sont annexes ou concernent plus spécifiquement les industriels ou les déchets spéciaux.

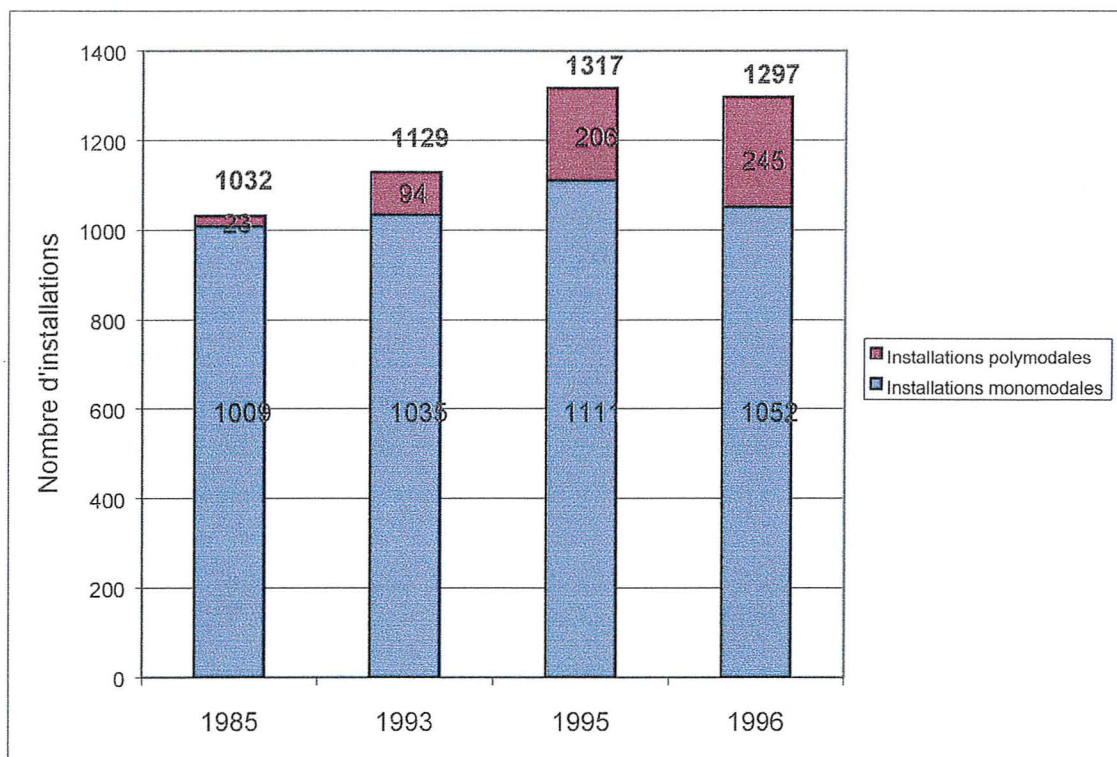
II.2.2. Les filières de traitement des déchets ménagers et assimilés.

II.2.2.1. La caractérisation et la distribution des différents modes de traitement des DMA. [ITOM 6]

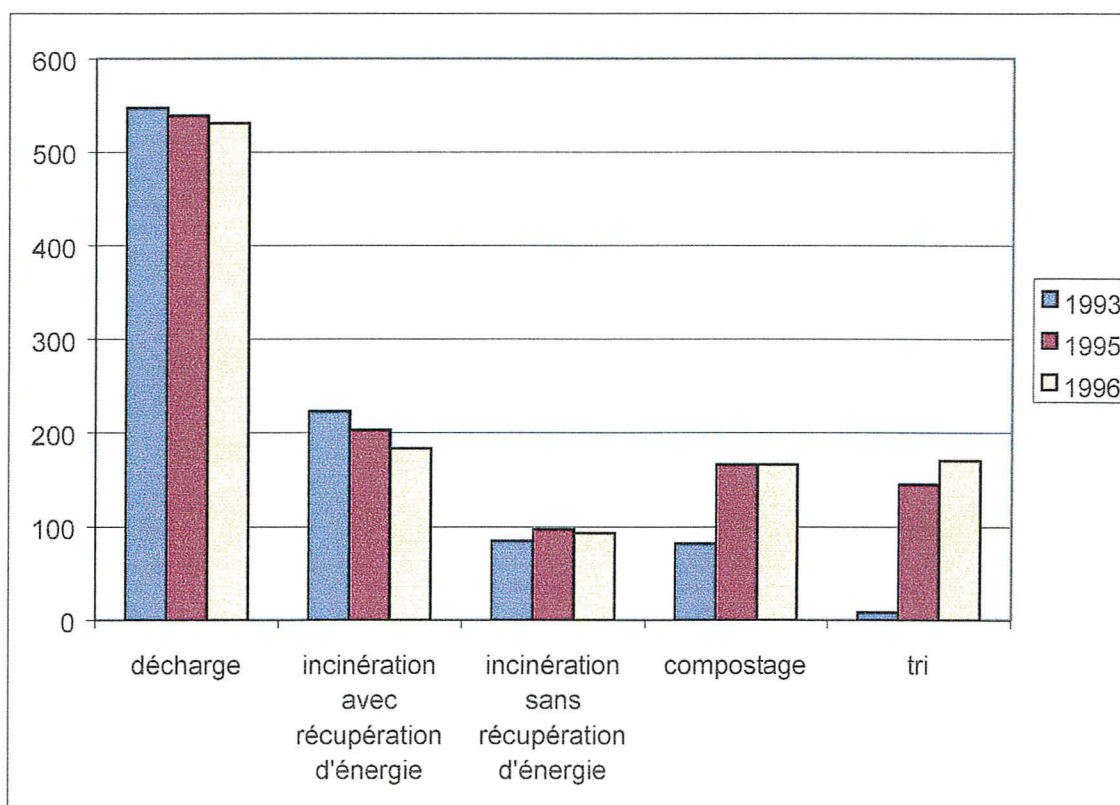
II.2.2.1.1. Caractérisation. [ADEME, 1997]

Fin 1995, 95% de la population française était desservie soit par des installations autorisées, soit par des décharges autorisées recevant plus de 3000 tonnes de déchets par an.

Fin 1996, le parc français d'unités de traitement et de mise en décharge de DMA comptait 1297 unités dont 245 unités polymodales (installations pratiquant plusieurs modes de traitement). (Cf. Graphiques 3 et 4)



Graphique 3 : Evolution du parc entre 1985 et 1996.



Graphique 4 : Evolution du nombre d'unités de traitement par mode de traitement entre 1993 et 1996.

Le recul des effectifs enregistré en 1996, est dû à la fermeture de décharges et d'incinérateurs, principalement ceux non équipés de système de récupération d'énergie. A noter la progression sensible des installations de transit et des centres de tri.

II.2.2.1.2. Modes de traitement et quantité éliminée. [ADEME, 1998b]

	1995		1996	
	kt	%	kt	%
Méthanisation	72	0,2	76	0,2
Tri	1461	4,1	2154	5,8
Compostage	1994	5,6	2288	6,1
Incineration sans récupération d'énergie	2860	8,1	2631	7,1
Incineration avec récupération d'énergie	8464	23,9	8198	22
Mise en décharge	20575	58,1	21857	58,7
Total	35425	100	37204	100

Tableau 2 : Quantités de DMA éliminées par mode de traitement.

Si le nombre d'unités a reculé en 1996, en revanche, les quantités de DMA éliminées ont progressé, passant de 35,4 à 37,2 millions de tonnes.

La mise en décharge reste encore le principal mode de traitement des DMA. En effet en 1996, près de 60% de ces déchets ont été déposés en décharge. Cette part est en légère progression par rapport à 1995. Par ailleurs les décharges reçoivent aussi la quasi totalité des déchets secondaires qui sont essentiellement composés de refus de tri (40%) et de mâchefers (55%) mais qui comprennent aussi des déchets issus du traitement des déchets tels que les résidus d'épuration des fumées et les refus de compostage. (Cf. Tableau 2)

Avec près de 30% des quantités traitées dans 276 installations, l'incinération constitue le second mode de traitement. Dans les prochaines années, avec la mise en application de la loi de juillet 1992, réservant le stockage en décharge à partir du 1^{er} juillet 2002 aux seuls « déchets ultimes », la tendance à l'accroissement de l'incinération devrait s'accroître.

Les traitements biologiques (compostage et méthanisation) concernent un peu moins de 7% des tonnages traités, essentiellement à partir d'OM brutes, dans des installations de tri-compostage. L'avenir est au compostage de la fraction fermentescible triée à la source.

La progression du tri en vue du recyclage est rapide. En 1996, près de 2,2 millions de tonnes de DMA ont été triées contre 1,5 millions de tonnes en 1995. On compte désormais 170 centres de tri.

A l'avenir, on devrait s'orienter vers une diminution du taux de stockage, qui devrait tomber entre 0 et 10% et un doublement du traitement par incinération. Quant au recyclage et au compostage, ils devraient tripler. Mais ces objectifs fixés par les plans départementaux d'élimination des déchets ne pourront être réalisés que moyennant des investissements estimés à 1037 F/hab d'ici 2002 [Plazy, 1996 faut-il].

II.2.2.1.3. Nature des déchets traités ou éliminés. [ADEME, 1998b]

Type de déchets	Tri	Compostage*	Incinération**	Décharge	Total
Déchets primaires	1924,3	2264,9	11201,9	20995,3	36386,4
Ordures ménagères (OM)	249,4	1786,3	10232,3	10657,6	22925,7
Déchets Industriels Banals (DIB)	1256,0	25,4	575,1	6560,9	8417,4
Autres déchets des ménages et des entreprises***	418,6	453,2	269,1	3481,9	4719,6
autres déchets primaires ****	0	0	125,4	294,9	323,7
Déchets secondaires	5,4	8,7	110,6	1108,6	1233,3
Total	1929,7	2273,6	11312,5	22103,9	37619,7

* y compris méthanisation

** y compris fabrication de combustibles solides

*** déchets verts, encombrants, résidus de broyage automobile, déblais et gravats, déchets d'assainissement...

**** déchets industriels nécessitant un traitement spécial, déchets hospitaliers contaminés

Tableau 3 : Nature des déchets traités par type d'installations en millions de tonnes. [ADEME, 1998b]

Les OM (23 millions de tonnes) représentent 61% des déchets reçus par les installations. Elles sont à près de 47% mises en décharge et à plus de 52% incinérées ou compostées. Les DIB et les autres déchets des ménages (qui, avec les OM, constituent les DMA) sont mis en décharge à hauteur des trois quarts (Cf. Tableau 3).

Alors que les installations d'incinération et de compostage sont très spécialisées dans le traitement des DMA, les déchets industriels constituent près de 59% des quantités reçues par les centres de tri.

La mise en décharge est le principal mode de traitement des déchets. En 1996, 60% des DMA ont été déposés en décharge.

II.2.2.2. Les coûts de stockage et de traitement des DMA. [ADEME, 1998b]

Mise en décharge de classe II, respectant la réglementation	150 à 350
Incinération	450 à 550
Compostage	230 à 330

Tableau 4 : Coûts moyens estimés pour le stockage et le traitement des DMA
(Francs HT par tonne d'ordures).

Les coûts affichés (Cf. Tableau 4) comprennent les frais d'exploitation, les amortissements et les frais financiers, le traitement des résidus et le produit de la vente des énergies récupérées ou des composts fabriqués.

Le coût du traitement des déchets peut quasiment varier du simple au double selon le mode de traitement considéré et la taille des installations. Il est en moyenne de 300 francs HT par tonne pour la mise en décharge alors qu'il peut atteindre 550 francs HT par tonne pour l'incinération.

II.2.2.3. L'emploi généré par les DMA.

En 1997, le nombre d'emploi dans les installations recensées est limité puisqu'il atteint 9526 travailleurs permanents, dont un nombre important à temps partiel. Avec 2400 salariés, la mise en décharge est le secteur qui génère le plus d'emploi.

Compte tenu des tonnages traités ou éliminés, le tonnage moyen par salarié s'élève à près de 4000 tonnes par an, avec une productivité très inégale selon le mode de traitement considéré : très élevée pour la mise en décharge avec 9000 tonnes par salarié, contre moins de 2000 tonnes par salarié pour le tri [ADEME, 1998b].

Le secteur des déchets au sens large (collecte, récupération, traitement), est un secteur créateur d'emploi : plus 1% en 1991, plus 0,9% en 1992 (4000 emplois nouveaux par an depuis 1987) [Caubet et al., 1996]. Le tri, notamment, est en plein développement et génère des emplois.

II.3. LES CENTRES D'ENFOUISSEMENT TECHNIQUE.

II.3.1. La réglementation du stockage des déchets ménagers.

La réglementation a évolué entre le concept de décharge en tant que technique de traitement des déchets vers celui de centre d'enfouissement technique. L'aboutissement de cette démarche devrait avoir lieu en 2002 avec la disparition de la décharge traditionnelle qui fera place aux centres de stockage de déchets ultimes [Société Française de Santé Publique, 1997].

La première réglementation connue sur la mise en décharge des déchets ménagers est une *circulaire du 9 mars 1973*. Elle ne donnait aucune instruction précise sur la géologie, et les aménagements prescrits étaient minimums.

Après une définition générale des catégories de décharge, la *circulaire du 11 mars 1987* introduit la notion de géologie, en terme de nature du sous-sol. Les décharges admettant des DMA notamment, doivent avoir une épaisseur de 5 mètres de terrain présentant une perméabilité inférieure à 10^{-6} m/s (« terrains semi-perméables »). Associée à cette sécurité passive, il existe une volonté de sécurité active avec, entre autre, la mise en place d'une membrane d'étanchéité et des contraintes au niveau du drainage.

Ainsi la directive fixe :

- les déchets admissibles (DMA, déchets encombrants, gravats, déblais, DIB assimilables, boues de STEP, mâchefers d'usines d'incinération),
- les aménagements généraux de la décharge (exploitation en alvéoles, compactage, collecte des lixiviats, collecte du biogaz),
- des aménagements relatifs à la prévention de la pollution des eaux, et notamment des drainages des eaux pluviales et des lixiviats,
- des règles d'exploitation fixées par arrêté préfectoral (plans départementaux),
- certains contrôles des déchets,
- un pompage et un traitement des lixiviats,
- un traitement du biogaz,
- un suivi à long terme du site.

La notion de Centre d'Enfouissement Technique (CET) est lancée.

La loi du 13 juillet 1992 prévoit une évolution fondamentale :

- la décharge devient un lieu de dépôt de déchets en tant que tel, c'est à dire après des aménagements et un « travail » sur le déchet que l'on dépose,
- à horizon de 10 ans, le stockage doit se limiter aux seuls déchets ultimes.

L'arrêté du 9 septembre 1997 s'intéresse aux décharges existantes et aux nouvelles installations de stockage des DMA.

Il représente un durcissement de la circulaire de 1987, il prévoit :

- que les installations de stockage soient compatibles avec les plans départementaux (autorisation préfectorale),
- qu'un site doit être situé à plus de 200 mètres de toutes habitations ou locaux destinés à recevoir du public, hors zone inondable et hors périmètre rapproché de captage ou zone de protection d'un champ captant pour l'alimentation en eau potable,
- que le terrain ait une perméabilité inférieure à 10^{-9} m/s sur au moins 1 mètre et inférieure à 10^{-6} m/s sur au moins 5 mètres ou bien que la reconstitution artificielle répondent à ces exigences,
- l'exploitation successive de casiers spécifiques par catégories de déchets, divisés eux-mêmes en alvéoles de faibles dimensions exploitées successivement,
- une liste des déchets admissibles et des déchets interdits,
- un traitement et un programme de surveillance et d'analyse des rejets.

Aujourd'hui on fixe des durées d'exploitation. Le site exploité est autorisé pour tant d'années, pour une quantité maximale de tant, et une occupation maximale de tant. A terme les arrêtés préfectoraux devraient fixer les conditions d'exploitation, notamment les surfaces maximales en exploitation qui ne doivent pas excéder 5000 m².

S'agissant de la définition des déchets admissibles et interdits, il y a deux catégories de déchets admissibles : la catégorie D et la catégorie E.

La catégorie D regroupe des déchets fortement évolutifs, conduisant à prévoir la production de biogaz et de lixiviats. Ce sont les déchets qui sont habituellement reçus en grande quantité dans les décharges de classe II : OM, encombrants potentiellement fermentescibles, déchets de voirie, DIB, déchets d'espaces verts, boues de STEP, « ordures non spéciales ».

La catégorie E1 comprend des déchets peu évolutifs, de capacité de dégradation biologique faible, de caractère polluant modéré : plastiques, métaux, ferraille, verre, refus de tri non fermentescibles, pneumatiques ... Ce qui correspond à des DIB non fermentescibles.

La catégorie E2 est constituée de mâchefers, cendres et suies, sable de fonderie. En grande partie d'origine industrielle, ce sont des déchets minéraux à quasiment 100%.

Enfin la catégorie E3, englobe des déchets issus des industries tels que des boues, des poussières.

Les procédures d'admission pour les quantités inférieures à 50 tonnes/an, prévoient que les déchargements soient accompagnés d'un bon dit d'admission.

Pour les quantités supérieures à 50 tonnes/an, une information détaillée sur tel ou tel paramètre, le contenu en polluants, voire des analyses préalables à l'acceptation peuvent être demandées. Ainsi, les exigences portent sur l'existence et la qualité d'une information préalable à la mise en décharge, un contrôle visuel, et un contrôle de la radioactivité.

Le législateur a dorénavant bien établi les caractéristiques d'implantation environnementale (choix du site) ainsi que les conditions d'exploitation (durée de vie d'une décharge, géologie et aménagements du site, type de déchets admis...).

II.3.2. Les différents types de centres d'enfouissement technique.

En France, les sites de décharges sont sélectionnés et utilisés d'abord en fonction de la perméabilité du substratum géologique du lieu, puis, en fonction des déchets qu'ils peuvent ou non recevoir (Cf. tableau 5). Pour les décharges de classe II, ils sont définis dans la *circulaire du 22 janvier 1980* et par l'*arrêté du 9 septembre 1997* [ADEME, 1997].

Ainsi trois types de sites sont définis :

- les sites de classe I : il s'agit de sites imperméables ou étanchéisés artificiellement, c'est à dire présentant un isolement définitif vis-à-vis des eaux de pluie, pouvant recevoir des déchets industriels spéciaux.

Quatre types de déchets regroupent 90% des admissions :

- * les cendres, les mâchefers des incinérateurs, et les poussières d'épuration des fumées d'incinération,
- * les boues de neutralisation et de détoxification des stations d'épuration d'eaux résiduaires industrielles,
- * les boues de peintures, vernis polyester,

* les matériaux contenant des hydrocarbures (de 3 à 6%), tels que les boues mécaniques, les goudrons, les bitumes, les mastics, le latex, la paraffine, les terres de filtration...

- les sites de classe II : ce sont des sites semi-perméables, à faible fraction argileuse et à capacité d'absorption-rétention limitée. Ils peuvent recevoir des déchets dits « non dangereux » tels que les ordures ménagères et assimilés (déchets industriels de type banal) Les déchets interdits étant les déchets industriels spéciaux, les déchets de soins, les déchets radioactifs, les déchets contenant des PCB au-delà de 50 mg/kg, les emballages industriels et commerciaux,

- les sites de classe III : on retrouve ici les sites perméables recevant uniquement des déchets classés « inertes ».

Catégories de sites	Valeur moyenne du coefficient de perméabilité (K)	Caractéristiques du site et critères	Déchets admissibles	Déchets interdits
Classe I Site imperméable ou étanchéisé artificiellement	$K < 10^{-9}$ sur au moins 5 mètres	1. Imperméabilité du fond de la décharge. 2. Aptitude du site à un façonnage garantissant les écoulements en fond de décharge vers un point bas. 3. Aptitude à l'implantation d'un ouvrage de contournement évitant les entrées d'eau de surface. 4. Aptitude à une couverture en pente favorisant le ruissellement.	Certains types de déchets spéciaux : - siccité > 15 à 20% - fraction soluble $< 10\%$ et ne dépassant pas certaines concentrations en substances toxiques - hydrocarbures totaux $< 10\%$ - $6 < \text{pH} < 8$	- Déchets liquides. - Biocides. - Sels solubles de métaux lourds. - Sels de trempes cyanurés. - Explosifs. - Substances radioactives.
Classe II Site semi-perméable	$K < 10^{-9}$ sur au moins 1 mètre ou $K < 10^{-6}$ sur au moins 5 mètres	1. Zone non saturée capable d'assurer une épuration des lixiviats. 2. Infiltration potentielle à vitesse modérée.	Déchets assimilables aux ordures ménagères.	- Les mêmes que ceux de la classe I. - Déchets pouvant charger les eaux de percolation en polluants. - Sels solubles non toxiques.
Classe III Site perméable	$K > 10^{-6}$	Migration rapide des lessivats dans le sous-sol.	Déchets inertes.	- Les mêmes que ceux des classes I et II. - Tout déchet non inerte.

Tableau 5 : Caractéristiques des différentes décharges d'après Lambert, 1994.

Les décharges de classe I ont déjà évolué vers la notion de « centre de stockage de déchets spéciaux ultimes stabilisés ». L'*arrêté ministériel du 18 décembre 1992*, modifié le *18 février 1994*, prévoit de n'accepter sur ces sites que des déchets ultimes, progressivement stabilisés. Il fixe également des conditions très strictes de choix (terrains très peu perméables), d'aménagements (barrière étanche artificielle, réseau de drainage visitable) et d'exploitation des sites. L'entrée des déchets n'est possible qu'après une procédure préalable d'admission comportant notamment des analyses d'échantillons, et un contrôle sur chaque envoi par un laboratoire situé sur le site [ADEME 1997].

Le texte applicable pour les décharges de classe II est l'*arrêté du 9 septembre 1997*. Les exigences en matière de choix du site, les conditions d'aménagement et d'exploitation sont renforcées. En particulier, le drainage et le traitement des effluents liquides (lixiviats) et gazeux (biogaz) doivent être très performants.

Les décharges de classe III sont soumises au seul pouvoir de police du Maire qui peut décider de les réglementer par voie d'arrêté municipal. Elles devraient rentrer dans le champ des installations classées.

A côté de ces décharges autorisées et dont les caractéristiques sont définies par le législateur, on compte encore 6 à 7000 décharges brutes, exploitées sans autorisation. Les communes les approvisionnent régulièrement en toute illégalité. Quant aux décharges sauvages, difficilement recensables, on estime leur nombre à 25000. Si leur tonnage est peu important, leur impact sur le paysage et l'environnement est délétère.

Les décharges admettant les DMA sont les décharges dites de classe II. Elles correspondent à des sites semi-perméables. Les déchets admissibles ou interdits sur ces sites, sont définis de façon légale.

II.3.3. Le fonctionnement d'un centre d'enfouissement technique de classe 2.

II.3.3.1. Les aménagements préalables à la mise en centre de stockage.

II.3.3.1.1. Dépôt en décharge étanchéisée. (Cf. Schéma 1)

- Le terrassement.

Pendant les travaux d'aménagements, une mesure de la perméabilité du sol naturel est réalisée.

- Etanchéité artificielle.

Afin d'éviter tout risque de pollution du milieu naturel par les effluents liquides et gazeux, des dispositifs particuliers sont mis en place ; il s'agit de l'étanchéification artificielle.

Les zones d'exploitation, creusées dans le sol, sont étanchéisées au moyen d'un dispositif technique comprenant [Maes, 1990] :

- un traitement du sol d'origine, réalisé avec de la bentonite, argile naturelle présentant un haut coefficient de gonflement. Incorporée au sol, elle lui confère une imperméabilité appréciable,
- la mise en place d'une géomembrane en polyéthylène haute densité (PEHD) sur les flancs des zones exploitées dont le raccordement est effectué par thermo-soudage, et un double dispositif étanche sur le fond de l'alvéole, constitué de bas en haut :
 - * d'une membrane de sécurité en PEHD de 1,5 mm d'épaisseur,
 - * d'une couche drainante de contrôle de 20 cm constituée de granulats dans laquelle un réseau de drains est mis en place,
 - * d'une membrane principale en PEHD de 2 mm d'épaisseur,
 - * d'une couche drainant les lixiviats de 30 cm, dans laquelle des drains sont mis en place.

A chacune de ces étapes, des contrôles d'étanchéité sont réalisés.

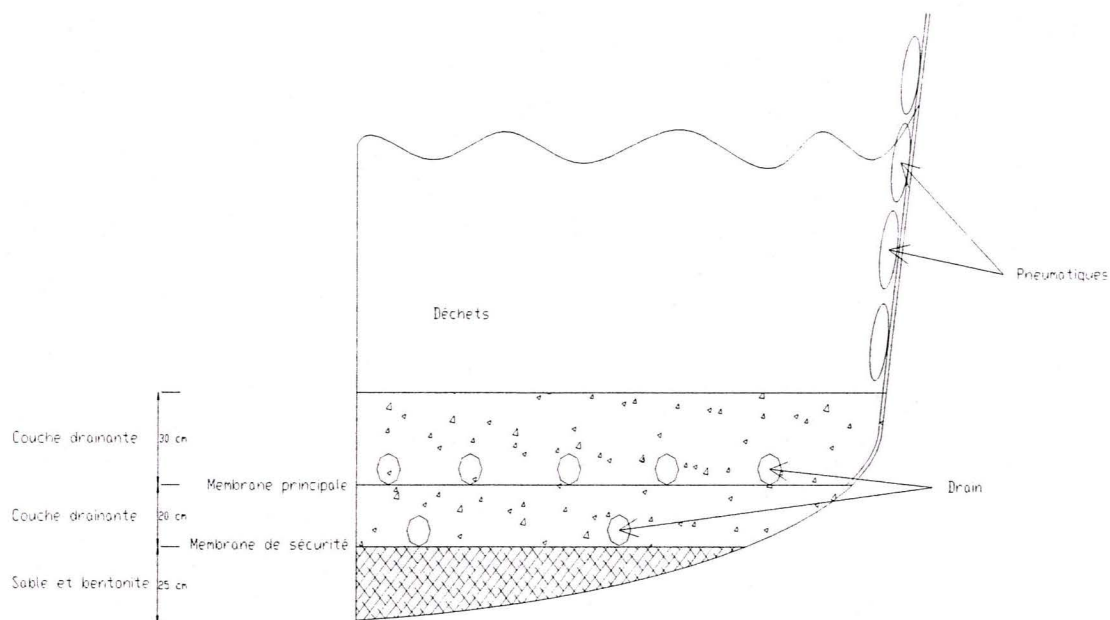


Schéma 1 : Vue en coupe du dispositif d'étanchéité d'une alvéole d'un CET de classe II.

II.3.3.1.2. Enfouissement en alvéoles. [Maes, 1990]

Un CET est exploité de manière modulaire par tranches aménagées successivement et divisées en casiers de faible superficie. Le principe de l'enfouissement en alvéoles repose sur la nécessité de réduire au mieux la zone d'activité, de façon à ne pas étaler les déchets sur toute la surface du site et en améliorant le drainage gravitaire qui entraîne les lixiviats sur le point bas. Pour combler chaque alvéole, un réglage de couches minces est réalisé. Les déchets sont compactés au fur et à mesure de leur arrivée sur l'alvéole et chaque feuillet parvenu à une épaisseur d'environ 50 centimètres est recouvert d'une couche de matériaux inertes.

Une fois remplie, l'alvéole est recouverte d'une couche imperméable afin d'éviter le lessivage ultérieur par les eaux de pluie. Les eaux de ruissellement sont détournées vers des fossés périphériques en vue de limiter les infiltrations.

II.3.3.1.3. Drainage des lixiviats.

Les eaux de pluie, en traversant la masse des déchets stockés, se chargent en matières organiques et minérales, ce qui produit des rejets liquides ou lixiviats.

Ces effluents liquides contenant des substances dissoutes et des matières en suspension, sont collectés en profondeur au moyen de drains régulièrement répartis, puis ils sont extraits du site par pompage et dirigés par un collecteur principal vers une citerne de stockage. Ainsi collectés, les lixiviats sont évacués vers une station d'épuration pour y être traités.

II.3.3.1.4. Drainage du biogaz. (Cf. Schéma 2)

La fermentation des déchets produit un effluent gazeux ou biogaz.

Le biogaz est collecté au moyen d'un réseau de drains et de puits de dégazage mis en dépression (le rayon d'influence d'un puits étant de 30 mètres), reliés à des collecteurs, puis à une centrale de combustion. Les gaz récupérés (principalement méthane CH_4 et gaz carbonique CO_2) sont ensuite brûlés à 900°C dans une torchère ou, rarement font l'objet d'une valorisation énergétique (chaleur, électricité).

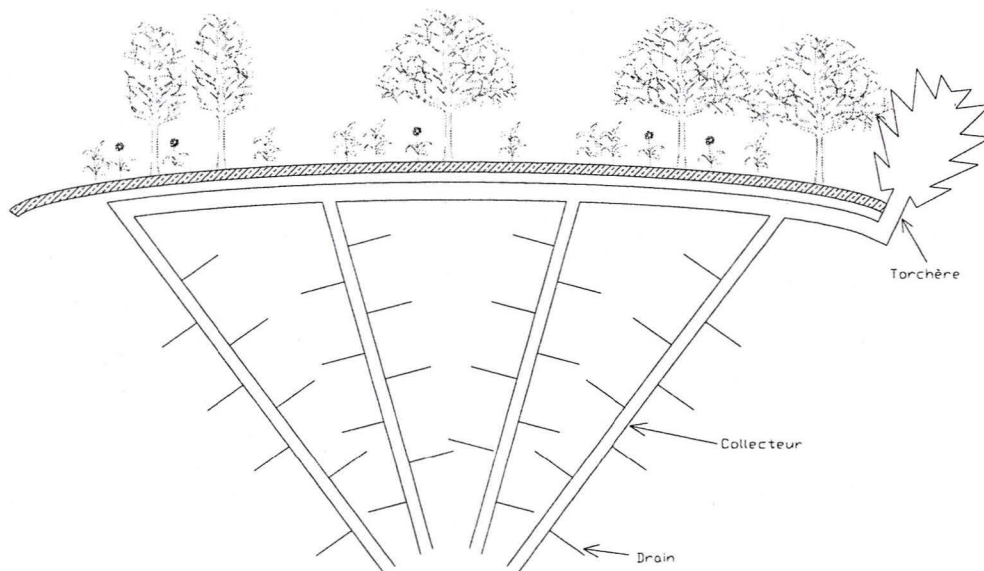


Schéma 2 : Vue en coupe du réseau de drainage du biogaz.

II.3.3.1.5. Réaménagement du site et surveillance.

Lorsque l'exploitation de l'alvéole est terminée, une couche de couverture est mise en place, qui comprend de bas en haut (Cf. Schéma 3) :

- 50 cm de tout-venant,
- 25 cm de sable traité à la bentonite,
- un feutre géotextile,
- 25 cm de roulé comportant des drains et des collecteurs,
- 50 cm de tout-venant,
- 25 cm de terre végétale.

Puis, un traitement paysager est réalisé afin de tenter de réintégrer le site dans son environnement d'origine.

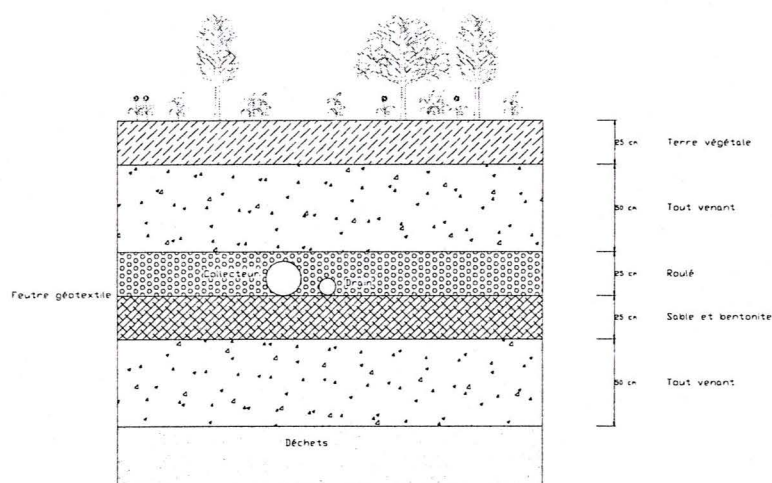


Schéma 3 : Vue en coupe de la couche de couverture
d'une alvéole d'un CET de classe II.

II.3.3.2. Le parcours des déchets dans un centre d'enfouissement technique (Cf. Schéma 4).

Une décharge de classe 2 est habilitée à recevoir :

- des DMA,
- des DIB,
- des refus de tri de déchetterie,
- des refus de compostage,
- des boues de STEP,
- des mâchefers,
- des déchets inertes.

Ces différents déchets sont convoyés par camions, dont les tonnages sont très variables selon l'importance et les moyens financiers des collectivités (camion de faible tonnage où les sacs sont chargés manuellement jusqu'aux camions bennes automatisés).

Lors de leur arrivée au centre de stockage les déchets passent par une zone appelée « réception », située à l'entrée du site.

A ce niveau, les camions sont pesés au niveau d'un pont à bascule afin d'évaluer leur tonnage global. Ils seront ensuite pesés « à vide », après avoir déversé leurs déchets sur l'alvéole, afin d'estimer le poids des déchets.

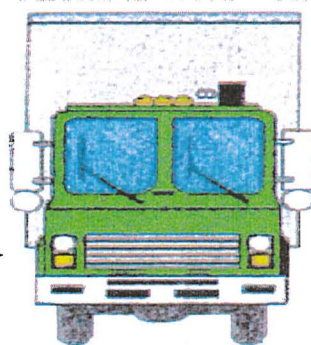
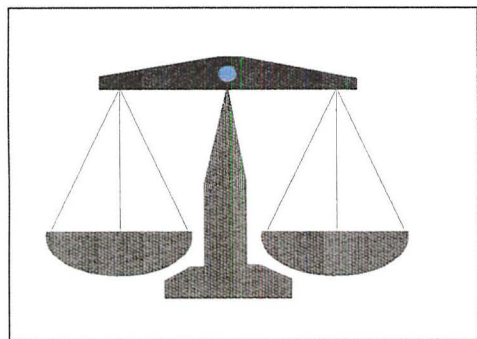
C'est aussi au niveau de la réception qu'un premier contrôle administratif est effectué quant à l'origine et à la nature des déchets.

Les camions se rendent ensuite sur l'alvéole en cours d'exploitation où les déchets sont déversés.

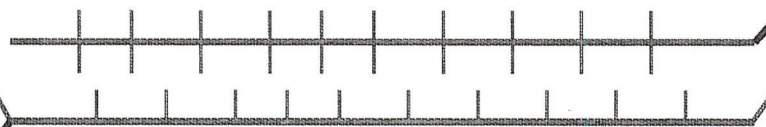
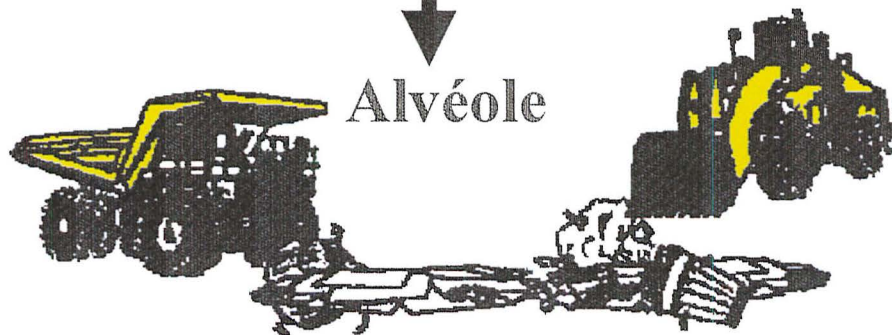
Interviennent alors les conducteurs d'engins. C'est au moment du vidage qu'un deuxième contrôle de la nature des déchets est effectué, de façon visuelle cette fois, avant enfouissement. S'ils n'appartiennent pas à l'une des catégories de déchets admis sur le site, les déchets sont éventuellement refusés. S'ils sont admis, les déchets sont étalés à l'aide d'une chargeuse, puis écrasés par allers-retours successifs, grâce à des compacteurs dits à godets ou à « pieds-de-mouton ».

Les déchets compactés sont régulièrement recouverts de matériaux inertes, notamment pour éviter d'éventuels envols.

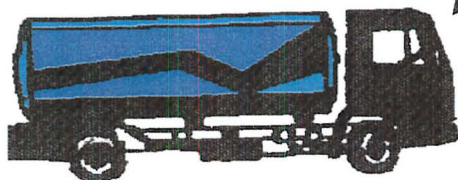
Réception



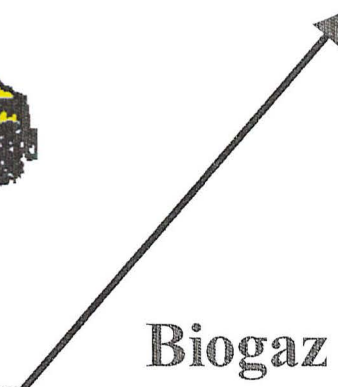
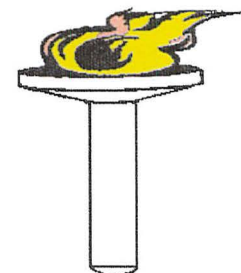
Alvéole



Lixiviats



Torchère



Biogaz

Schéma 4 : Schéma d'un CET

II.4. LES POLLUANTS RETROUVES DANS LES CENTRES D'ENFOUISSEMENT TECHNIQUE.

Alors que la disparition des centres d'enfouissement est programmée, et qu'il est prévu pour 2002 que le stockage soit limité aux seuls déchets ultimes, les risques engendrés par les décharges sont mal connus. A terme, si leur fermeture voit le jour, les nuisances qui peuvent persister à l'arrêt de l'exploitation sont mal définies. Peu d'études ont exploré ce domaine de traitement des déchets. Cette partie tente de recenser les différents composés microbiologiques ou toxicologiques, particuliers ou gazeux émis par les industries du déchet et plus particulièrement par les CET de classe II.

II.4.1. Les micro-organismes.

De nombreux micro-organismes peuvent être présents dans toutes les filières de traitement des déchets. Après collecte, les déchets domestiques contiennent un nombre d'organismes viables par gramme de déchets variant entre 4.10^6 et $6,8.10^8$ [Collins et al., 1992]. Après enfouissement, il existe une montée en température (jusqu'à 55°C). Un certain nombre de micro-organismes est alors détruit, par contre ce phénomène favorise le développement d'*Aspergillus* [Abadia et al., 1997].

Par conséquent, les micro-organismes représentent une exposition potentielle des salariés d'autant que les ordures ménagères, constituées en grande partie de déchets organiques, forment un bon milieu de culture et sont propices à la multiplication des bactéries et des champignons.

II.4.1.1. Présentation générale.

II.4.1.1.1. Les différents agents microbiologiques.

Dans l'industrie du traitement des ordures ménagères, les principaux types de bactéries rencontrés sont au nombre de trois alors qu'ils sont de deux types pour les champignons, ils se répartissent comme suit [Fabries et al., 1997] [Perdrix et al., 1997a] :

a- Les bactéries Gram-négatif.

Ce sont des bactéries retrouvées dans le tube digestif humain et animal et qui peuvent de ce fait, avoir pour origine une contamination fécale (couches-culottes souillées, déchets d'animaux, déchets alimentaires présents au niveau des décharges) [Pahren, 1987]. Très répandues dans l'environnement, elles se développent sur les végétaux en tant que saprophytes.

Les espèces les plus fréquemment rencontrées sont :

- dans les déchets d'origine végétale *Pantoea agglomerans* (synonyme *Enterobacter agglomerans*), *Pseudomonas* sp., *Klebsellia* sp., *Alcaligenes faecalis*,
- dans les poussières d'origine animale, *Acinetobacter calcoaceticus* et des entérobactéries telles que *Klebsellia* sp., *Escherichia coli*
- et dans les aérosols d'eaux usées issues de station d'épuration, *Aeromonas hydrophila*, *Pseudomonas* sp. *Flavobacterium* sp. ainsi que *Klebsellia pneumoniae*, *Enterobacter cloacae*, *Pseudomonas aeruginosa* [Schlosser, 1994].

Toutes les bactéries Gram-négatif ont des endotoxines.

Les endotoxines sont des macromolécules complexes constitutives de la partie externe de la membrane, de nature lipopolysaccharide (LPS) [Almaguer et al., 1996]. Pour être actives, elles doivent être libérées lors de la lyse ou de la multiplication des bactéries. Leurs propriétés sont différentes selon les espèces et le stade de développement des bactéries. Elles peuvent alors être à l'origine de phénomènes inflammatoires et immunologiques qui entraînent la production de nombreux médiateurs chimiques. Leur principale cible est le macrophage pulmonaire.

En réponse à ces phénomènes, l'inhalation expérimentale d'endotoxines par de nombreux volontaires sains a permis de mettre en évidence diverses symptomatologies cliniques liées à ces macromolécules mais aucune n'est spécifique [Michel, 1997]. Des symptômes pulmonaires aigus, une altération de la fonction respiratoire, mais aussi des symptômes généraux sont décrits. Ces symptômes généraux sont attribués à une libération de médiateurs chimiques induite par les endotoxines. Ils s'intègrent dans le cadre d'un syndrome pseudo-grippal qui associe à des degrés divers, fièvre, atteinte inflammatoire des voies aériennes supérieures, toux et oppression thoracique [Lundholm et al., 1983] [Deschamps et al., 1994] [Rylander, 1997] [Heederik et al., 1997]. L'évolution vers la guérison est habituellement rapide (24 heures), mais des sujets fragilisés peuvent développer une détresse respiratoire aiguë.

b- Les bactéries Gram-positif.

Ce sont les bactéries qui prédominent dans les déchets amassés d'origine animale ou végétale. Les deux espèces les plus fréquemment rencontrées sont les corynebactéries telles que *Corynebacterium sp.*, *Microbacterium sp.*, et les cocci qui comprennent entre autres *Staphylococcus saprophyticus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Micrococcus sp.*, *Streptococcus sp.* Les bacilles (*Bacillus subtilis*, *B. megaterium*, *B. cereus*) sont également présents mais en quantité moindre [Dutkiewicz, 1997].

Ces bactéries sont généralement peu dangereuses bien que certaines espèces possèdent des propriétés allergisantes. Des déterminants antigéniques, nommés exotoxines, sont en effet connus pour leur fort pouvoir antigénique et leur action, spécifique ou non, de stimulation des mécanismes de défense et des peptidoglycanes de paroi.

c- Les actinomycètes ou bactéries filamenteuses Gram-positif.

Retrouvées dans les poussières d'origine végétale, les espèces les plus fréquentes sont les actinomycètes thermophiles telles que *Saccharopolyspora rectivirgula* ou *Thermoactinomyces vulgaris*.

Elles se développent à une température de 45-55°C et sont également impliquées dans des pathologies allergiques. Elles comportent aussi dans leur paroi des peptidoglycanes et des déterminants antigéniques.

d- Les champignons filamenteux.

Saprophytes de l'environnement, ils appartiennent pour la plupart aux genres *Aspergillus*, qui comprend de nombreuses espèces (*A. fumigatus*, *A. flavus*, *A. candidus*, *A. niger*...), et *Penicillium*. Ce sont des moisissures dites de stockage car elles se développent sur les produits organiques en amas. *Aspergillus*, comme *Penicillium*, compte parmi les genres de champignons les plus allergisants.

Alternaria sp. et *Cladosporium sp.* sont deux espèces qui se développent sur les végétaux vivants.

Lors de fortes concentrations d'aérosol contenant ce type de micro-organismes, des troubles toxiques ou d'hypersensibilité peuvent être observés. Leur structure comporte, en effet, des déterminants antigéniques, des glucanes et parfois une capacité à élaborer des mycotoxines (zootoxines de faible poids moléculaire). C'est le cas pour des genres de moisissures telles que

Aspergillus, *Tricothecium*, *Penicillium* ou *Fusarium* lorsque des conditions écologiques particulières (température, humidité relative, présence de substrats, teneur en oxygène et gaz carbonique) sont réunies [Pinel et al., 1998].

e- Les levures.

Des levures telles que *Candida sp.*, *Rhodotorula sp.* ou encore *Endomycopsis sp.* colonisent certaines poussières organiques mais leur pathogénicité n'a pas été établie chez les populations exposées,

II.4.1.1.2. Les mécanismes d'action et les pathologies engendrées par les micro-organismes.

Les modes de contamination des opérateurs peuvent se faire par voies cutanée, digestive ou respiratoire. Mais dans le secteur de l'assainissement et plus particulièrement au contact des déchets ménagers, les aérosols biologiques sont une des sources d'exposition principale des travailleurs [Abadia et al., 1997].

Les pathologies liées à l'inhalation d'aérosols de micro-organismes peuvent répondre à plusieurs mécanismes dont la classification ne se recoupe pas toujours selon les auteurs du fait de l'intrication fréquente de plusieurs mécanismes à l'origine d'une pathologie [Burell, 1991] [Lacey et al., 1994] [Husman et al., 1996] [Perdrix et al., 1997a] [Blancher, 1999].

Ces différents mécanismes peuvent être :

- infectieux.

Au niveau respiratoire, les pathologies les plus communément rencontrées sont la cryptococose et l'aspergillose ; elles sont dues à deux champignons saprophytes de l'environnement. Ces deux maladies sont des infections opportunistes qui se développent sur terrain débilisé (immunodépression, cancer pulmonaire) ; la présence de facteurs prédisposants (cavernes tuberculeuses) est aussi propice à leur développement.

Les salariés du compostage rapportent des symptômes d'irritation nasale, or leurs voies aériennes sont fréquemment colonisées par *Aspergillus fumigatus*,

- immunoallergiques.

La plupart des micro-organismes entraînent la stimulation du système immunitaire, voire des phénomènes d'hypersensibilité conséquence d'une réponse immunitaire exacerbée

ou inappropriée engendrée par une exposition massive. De nombreuses variétés d'*Aspergillus*, *Cladosporium*, le groupe des *Penicillium* ou encore *Alternaria* sont impliqués.

L'expression clinique comporte des phénomènes d'hypersensibilité immédiate ou de type I dans la classification de Gell et Coombs, tels que rhinite, sinusite, asthme. La mise en jeu de complexes immuns circulants correspond à une hypersensibilité semi-retardée ou de type III, à l'origine de BronchioloAlvéolite Allergique Extrinsèque (BAAE) (maladie immunologique survenant après inhalation répétée d'antigènes environnementaux), telle que la maladie du poumon fermier [Perdrix et al., 1997c] [Parat et al., 1999],

- cytotoxiques.

De nombreuses substances biologiques ont un rôle irritant direct sur les voies respiratoires. Ainsi les endotoxines – qui initient la libération de neuromédiateurs – sont responsables de signes généraux (réaction inflammatoire, fièvre, asthénie, oppression thoracique) [Rylander et al., 1989] [Deschamps et al., 1994] et d'atteintes d'organes divers (foie, rein, articulations...) [Michel, 1997].

Les mycotoxines sont incriminées comme facteurs déclenchants ou aggravants d'alvéolites allergiques, de fièvre d'inhalation. Des effets systémiques (hépatiques, gastro-intestinaux, hématologiques, néphrologiques et neurologiques) leurs sont attribués. Certaines sont classées cancérogènes par le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC) et seraient à l'origine de cancers broncho-pulmonaires, hépatiques et rénaux [Pinel et al., 1998]. Lorsqu'elles sont aérosolisées, les mécanismes d'action sont complexes et mal connus, mais il semblerait qu'à un effet immunoallergique, s'associe un effet toxique direct,

- inflammatoires.

Les fièvres d'inhalation sont désignées sous le terme de syndrome toxique des poussières organiques (*Organic Dust Toxic Syndrome* ou ODTS). Il s'agit d'un syndrome pseudo-grippal où les signes généraux sont prédominants par rapport aux manifestations pulmonaires ou radiologiques. Les manifestations sont communes notamment avec les mycotoxicoses pulmonaires et la maladie du poumon fermier avec précipitines négatives. Sans nécessité de sensibilisation préalable, ces fièvres surviennent lors d'exposition massive à des bioaérosols.

Des champignons tels qu'*Aspergillus fumigatus* ou *Penicillium sp.* et des endotoxines semblent être impliqués. Le syndrome des égoutiers est un syndrome pseudo-grippal brutal avec fièvre, malaise général, troubles gastro-intestinaux et diarrhées, d'apparition rapide, il disparaît en 24 heures ; il s'observe surtout chez le personnel nouvellement

embauché ou à la reprise du travail après les congés et serait du à la présence d'endotoxines d'*Escherichia coli* [Lundholm et al., 1983].

Certains évoquent une évolution possible des ODTS vers une Broncho-Pneumopathie Chronique Obstructive (BPCO),

- biologiques non infectieux [Perdrix et al., 1997a].

Un autre facteur d'agression de la part des micro-organismes est la production de MCOV (Composés Organiques Volatils produits par les Micro-organismes).

Norbäck, dans plusieurs études [Norbäck et al., 1993] [Norbäck et al., 1995a] [Norbäck et al., 1995b], a mis en évidence la présence de COV produits spécifiquement par des micro-organismes, moisissures ou bactéries, retrouvées dans des peintures à l'eau. Ces MCOV semblent majorer ou favoriser l'apparition d'une Hyper Réactivité Bronchique non Spécifique (HRBnS) [White, 2000].

II.4.1.2. Les micro-organismes dans les centres d'enfouissement technique.

En dehors de la mesure des poussières totales et de leur contenu en métaux lourds [Rahkonen et al., 1987], Rahkonen a mesuré les concentrations en micro-organismes viables dans l'air ambiant, au niveau d'alvéoles en cours d'exploitation, dans cinq décharges finlandaises admettant des ordures ménagères.

Les taux retrouvés sont considérés comme élevés et se décomposent comme suit :

- le taux de bactéries totales est compris entre 20 et 2.10^4 CFU/m³ (CFU : Colony Forming Unit ou en français UFC), ce qui correspond selon l'auteur à des taux élevés si l'on considère que les concentrations retrouvées dépassent dans 68% des cas celles habituellement retrouvées dans un air dit « pur » (0 à 500 CFU/m³).
- le taux de bactéries Gram-négatif est compris entre 14 et 29 CFU/m³.
- le taux d'actinomycètes thermophiles est compris entre 0 et 100 CFU/m³.
- le taux de champignons totaux est compris entre 2.10^1 et 3.10^3 CFU/m³, soit des taux peu élevés mais suffisamment pour que 76% des échantillons excèdent les concentrations potentiellement à l'origine du déclenchement de la maladie du poumon fermier. L'identification des genres a mis en évidence *Aspergillus*, *Penicillium* et *Cladosporium*, ainsi que des levures.

Dans une deuxième étude [Rahkonen et al., 1990], Rahkonen détermine à nouveau, dans les mêmes conditions techniques, les concentrations en micro-organismes sur deux autres décharges finlandaises.

Les taux retrouvés sont de cinq à vingt fois plus élevés que les concentrations de « fond » et se répartissent de la façon suivante :

- le taux de bactéries totales est compris entre $4 \cdot 10^2$ et 10^5 CFU/m³,
- le taux de bactéries Gram-négatif est, cette fois, très élevé et compris entre 10^2 et 10^4 CFU/m³, avec dans 67% des échantillons, un taux supérieur à 10^3 CFU/m³, valeur limite établit par Rylander [Rylander 1984],
- le taux de champignons est compris entre $7 \cdot 10^2$ et $3 \cdot 10^4$ CFU/m³.

Les niveaux de contamination de l'air et donc les conditions de travail (circulation sur l'alvéole, fonctionnement du compacteur) sont très variables. Elles fluctuent en fonction de nombreux paramètres tels que la quantité et la qualité des ordures, les conditions météorologiques (la température de l'air, la vitesse du vent et l'humidité relative sont mesurées lors du prélèvement de chaque aérosol) et de la saison.

Ainsi dans la première étude Rahkonen souligne que les plus fortes concentrations en micro-organismes sont mesurées dans les décharges les plus importantes, de par leur taille et leur activité, au cours de journées chaudes et ventées du mois d'août. Dans l'étude de 1990 il retrouve une corrélation entre les concentrations et la température de l'air, l'humidité relative et les précipitations. Par contre, les concentrations sont mal corrélées avec le transport et les opérations de compactage. Il explique cette absence de corrélation par la distance variable entre les points de prélèvements et les engins en activité et par la faible présence de vent le jour de ces prélèvements.

Des prélèvements ont pu être faits sur une des décharges après aspersion par des lixiviats. Les taux de micro-organismes s'avèrent alors moins élevés, mais l'auteur précise que ces taux demandent à être confirmés. D'autre part, de précédentes études infirment ces constatations, car si les taux de poussières sont moindres grâce à l'arrosage, les lixiviats comportent des micro-organismes, tels que des staphylococoques et des streptocoques mais aussi des bactéries Gram-négatif telles que *Proteus sp.* ou *Klebsellia pneumoniae* [Pahren, 1987] [Collins et al., 1992], qui sont alors dispersés sur l'aire de travail.

La répartition des micro-organismes en fonction de leur diamètre aérodynamique, rendu possible par l'utilisation d'impacteurs Andersen six étages, a mis en évidence que 40 à 60% des bactéries prélevées (soit une concentration de l'ordre de 10^4 CFU/m³) et 80% des champignons (soit une concentration de $7 \cdot 10^3$ CFU/m³) font partie de la fraction inhalable, dont une part est susceptible d'être retrouvée au niveau des alvéoles pulmonaires.

Par ailleurs, la comparaison des concentrations sur l'alvéole dans l'air ambiant et à l'intérieur des engins en cours de fonctionnement - engins équipés de filtration - a permis de montrer une atténuation du taux de micro-organismes dans les cabines, de l'ordre d'un facteur trois.

En 1990 [Rahkonen et al., 1990], le but de Rahkonen est aussi de préciser les espèces ou genres bactériens rencontrés et de mesurer les concentrations d'endotoxines émises par les bactéries Gram-négatif.

Les genres bactériens isolés sont majoritairement des bactéries Gram-négatif : 81 bactéries Gram-négatif telles que des *Pseudomonas*, *Xanthomonas*, *Enterobacter*, *Acinetobacter*, *Klebsellia*,... contre 58 bactéries Gram positif dont *Bacillus*, *Micrococcus*, *Staphylococcus*, *Enterococcus*, *Corynebacterium*... Les plus fréquemment isolées sont les *Pseudomonas*, les *Enterobacter* et des *Bacillus* sp. mais la plupart correspond à des bactéries dites environnementales. Parmi celles ci, on retrouve des germes pathogènes opportunistes susceptibles d'affecter des organismes immunodéprimés.

Les concentrations d'endotoxines varient de 0,4 à 29 ng/m³ avec une moyenne de 5,3 ng/m³. Almaguer [Almaguer et al., 1996] retrouve, lui, sur l'alvéole en cours d'exploitation des taux de 1 à 2,2 EU/m³, soit environ 0,07 à 0,22 ng/m³. Soit des taux en deçà de ceux établis comme dangereux par Rylander [Rylander et al., 1984], à savoir 100 ng/m³.

II.4.1.3. La comparaison à d'autres environnements contaminants. (Cf. Tableau 6)

Peu d'études ont été réalisées concernant le risque microbiologique aéroporté dans le secteur des décharges et notamment dans les CET dits de classe II. Rakhonen, avec les deux études préalablement citées, fait référence sur le sujet. Pour estimer l'importance de l'exposition des salariés des centres de stockage, il faut donc faire appel aux publications réalisées dans les autres industries du déchet.

Pour Fabries [Fabries et al., 1997], selon les secteurs d'activité (collecte, tri, recyclage, compostage), l'exposition des salariés aux micro-organismes serait de 10³ jusqu'à 10⁹ CFU/m³ voire 10¹⁰ CFU/m³ pour Dutkiewicz [Dutkiewicz, 1997], soit de forts niveaux d'exposition.

Type d'activité	Bactéries totales (CFU/m ³)	Bactéries Gram-négatif (CFU/m ³)	Endotoxines (ng/m ³ ou EU/m ³)	Champignons totaux (CFU/m ³)	Références
Récupération déchets solides	2,1.10 ⁵	-	-	4,4.10 ⁴	Lembke, 1985
Collecte	>20.10 ³	6.103	480-990 ng/m ³	10 ⁴	Sigsgaard, 1990
Collecte	<10 ³ -2.10 ⁴	-	0,1-3 ng/m ³	10 ⁴ -10 ⁶	Poulsen, 1995
Collecte	4.10 ⁵ -3,6.10 ⁶	-	<8 EU/m ³	-	Heldal, 1997
Collecte	1,4.10 ³ -2,8.10 ⁶	10 ² -1,7.10 ⁵	16-353 ng/m ³	9.10 ² -2.10 ⁶	Van Tongeren, 1997
Compostage	3.10 ⁴ -10 ⁶		0,2-186 ng/m ³	7.10 ³ -7.10 ⁵	
Transfert	3.10 ² -10 ⁶		1,6-13,7 ng/m ³	2.10 ² -1,5.10 ⁶	
Compostage	-	1,9.10 ⁴ -3,7.10 ⁶	1-42 ng/m ³	-	Clark, 1983
Compostage	-	1,8.10 ⁹ -1,9.10 ¹⁰	636-16300 EU/m ³	7.10 ⁷ -3.10 ⁸	Weber, 1993
Compostage	>2,8.10 ⁴	3,6.10 ³ -9,1.10 ³	-	6.10 ³ -9.10 ³	Heida, 1995
Compostage	2,5.10 ³ -9,5.10 ⁴	<10 ³		8.10 ² -2,2.10 ⁴	Perdrix, 1997b
Compostage	4.10 ⁵ -1,3.10 ⁷	-	170 EU/m ³	-	Heldal, 1997
Mise en ballots	10 ³ -4.10 ⁴	10-2.10 ³	-	3.10 ² -10 ⁴	Pépin, 1996
Tri	6.10 ² -1,4.10 ⁴	1,5.10 ² -9.10 ³	0,2-12 ng/m ³	10 ³ -2,5.10 ⁴	Rakhonen, 1992
Incinération	3.10 ² -10 ⁴	20-5.10 ³	0,2-4,7 ng/m ³	10 ² -7,3.10 ⁴	
Station d'épuration	1,5.10 ² -2,5.10 ³	2-6,3.10 ⁴	0,01-350 ng/m ³	-	Laitinen, 1994
Décharges	20-2.10 ⁴	14-29	0,4-29 ng/m ³	20-3.10 ³	Rahkonen, 1987
Décharges	4.10 ² -10 ⁵	10 ² -10 ⁴	-	7.10 ² -3.10 ⁴	Rahkonen, 1990

Tableau 6 : Concentrations en micro-organismes et en endotoxines dans l'air, dans différents environnements de l'industrie des déchets, d'après Blancher [Blancher, 1999] ; tableau complété.

L'évaluation de l'exposition dans une installation municipale de récupération des déchets [Lembke et al., 1985] révèle une exposition élevée à la fois aux bactéries (2,1.10⁵ CFU/m³) et aux champignons (4,4.10⁴ CFU/m³). Les espèces bactériennes majoritairement isolées sont *Staphylococcus aureus* et *Enterobacter cloacae*. Pour les champignons, une nette prédominance d'*Aspergillus sp.* est relevée avec notamment *Aspergillus flavus* et *Aspergillus fumigatus* qui atteignent des taux de 10³ à 10⁴ CFU/m³, suivi de *Penicillium sp.* fréquemment retrouvé à des taux de 10³ CFU/m³.

Van Tongeren [Van Tongeren et al., 1997] relate les niveaux d'exposition des salariés aux micro-organismes et aux endotoxines dans différents secteurs de l'industrie des déchets : collecte, compostage et stations de transfert. C'est le personnel de la station de collecte qui est le plus exposé aux endotoxines, et notamment le poste de séparation manuelle avec des taux avoisinants 360 ng/m³. De fortes concentrations (de 10⁴ à 10⁶ CFU/m³) en micro-organismes sont retrouvées dans les différentes installations, tout particulièrement au niveau de la fosse où sont déversés les déchets (où la concentration est supérieure à 10⁶ CFU/m³). En 1990 Sigsgaard [Sigsgaard et al., 1990] avait déjà retrouvé des taux élevés de micro-organismes et

particulièrement d'endotoxines chez des collecteurs de déchets. Après une revue des différentes études parues Poulsen [Poulsen et al., 1995b], en 1995, retrouve un contenu en bioaérosols globalement identique lors de la collecte des ordures, mais le taux d'exposition aux endotoxines est moindre.

Une étude norvégienne [Heldal et al., 1997] rapporte l'exposition aux micro-organismes et endotoxines lors de la collecte des déchets, en comparant plusieurs situations de ramassage. Heldal met en évidence des niveaux d'exposition des salariés plus élevés avec des stockages fermés (facteur multiplicatif de trois) qu'avec des cuves aérées (concentrations de l'ordre de 10^6 bactéries par m^3). Contrairement à ce qui avait été mis en évidence par Van Tongeren, les niveaux d'endotoxines sont très faibles, notamment par rapport aux taux retrouvés dans des usines de compostage.

Pour le compostage, les niveaux d'exposition sont variables selon les étapes de transformation du compost. Les bactéries croissent rapidement au cours du process de transformation pour décroître en fin de maturation.

Les bactéries Gram-négatif sont représentées de façon variable selon les auteurs. Ainsi, Weber [Weber 1993], Heida [Heida et al., 1995] ou Heldal [Heldal et al., 1997] citent une très forte concentration en Gram-négatif (de 10^4 à 10^{10} CFU/ m^3) avec des taux d'endotoxines atteignant 16300 EU/ m^3 ; ces Gram-négatif représentent la majorité des bactéries alors que pour Perdrix [Perdrix et al., 1997b], elles n'excèdent pas 10^3 CFU/ m^3 et qu'une forte concentration en staphylocoques coagulase négatif, non pathogènes pour l'homme, est retrouvée, atteignant 5.10^4 CFU/ m^3 .

Les études s'accordent par contre pour donner des concentrations en champignons très élevées, de l'ordre de 10^3 à 10^4 CFU/ m^3 voire 10^6 à 10^8 CFU/ m^3 [Weber 1993] ainsi que des concentrations massives d'*Aspergillus* et/ou de *Penicillium* [Clark 1983] [Heida et al., 1995] [Perdrix et al., 1997b].

Dans les usines de tri et d'incinération [Rakhonen, 1992] [Pépin, 1996], l'exposition des salariés aux différents micro-organismes - dont les bactéries Gram-négatif - est aussi retrouvée élevée. Paradoxalement, Rakhonen ne relève pas ici de forte concentration d'endotoxines.

Une étude réalisée sur neuf stations d'épuration [Laitinen et al., 1994] retrouve à nouveau des concentrations bactériennes élevées atteignant 10^5 CFU/ m^3 sur l'aire de traitement des boues, 88% de ces bactéries ont un diamètre aérodynamique inférieur à $4,7 \mu m$; c'est aussi au niveau de l'aire de traitement des boues que les concentrations d'endotoxines sont les plus élevées (jusqu'à 350 ng/ m^3) ainsi qu'à proximité des bassins de sédimentation et d'aération des eaux.

Dès lors que les concentrations d'endotoxines sont supérieures à 30 ng/m³ - taux limite pris par l'auteur pour une exposition de huit heures -, le taux de bactéries Gram-négatif excède 5.10⁵ CFU/m³. Parmi ces bactéries, les plus fréquemment identifiées sont les *Acinetobacter calco var. anitratus*, *Citrobacter freundii*, *Enterobacter sp.*, *Klebsellia sp.*, *Serratia sp.*, *Pseudomonas sp.*, *Escherichia coli sp.* dont les endotoxines seraient à l'origine du syndrome des égoutiers décrit par Rylander et Lundholm en 1976 [Perdrix et al., 1997a].

A partir des deux études réalisées dans les décharges d'ordures ménagères, Rakhonen estime que les concentrations retrouvées dans cette industrie des déchets sont élevées mais qu'elles sont du même ordre que les autres filières de traitement. Il note avoir trouvé des concentrations moindres dans les décharges plus petites, mais rappelle que les conditions météorologiques et les interventions des engins ne sont pas reproductibles d'un prélèvement à l'autre [Rahkonen et al., 1990].

Du fait de la diversité des approches méthodologiques, des nombreux micro-organismes rencontrés, d'une stratégie de métrologie des aérosols non standardisée (méthode d'échantillonnage, analyse de l'air), d'un matériel de prélèvements non équivalent [Dutkiewicz, 1997], la comparaison des différentes études et l'interprétation des résultats sont difficiles.

Malgré tout il est possible de dire que les micro-organismes retrouvés, tant au niveau quantitatif que qualitatif, dans les différentes activités du secteur du déchet sont proches.

Ceci peut être nuancé pour le compostage, où l'on retrouve des concentrations bactériennes totales plus élevées d'un facteur 10 et une présence supérieure en bactéries Gram-négatif par rapport aux autres filières des déchets.

Des travaux sont encore nécessaires pour préciser les éventuelles relations dose-réponse et dose-effet. Contrairement aux polluants chimiques, aucune norme équivalente d'une VME (Valeur Moyenne d'Exposition) n'est publiée dans le monde. Seules des recommandations ont fait l'objet de différents rapports selon les pays [Choudat et al., 1997] [Perdrix et al., 1997b].

En fonction des études déjà réalisées et du pays d'étude, les auteurs prennent en considération des « valeurs limites » ou « niveaux acceptables » variables, dépendant de différents critères. Ces valeurs ne sont pas des normes. (Cf. Tableau 7)

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 Québec	10^4	10^3	$<100 \text{ ng/m}^3$	-	Pépin, 1996
Valeurs guides Dutch Occupational Health Association	10^4	10^3	-	10^4 avec $0,5 \cdot 10^3/\text{espèce}$	Heida, 1995
Valeur guide (ACGIH)	-	-	-	10^3 avec $0,5 \cdot 10^3/\text{espèce}$	Tongeren, 1997
Valeurs limites (ASTM)	10^4	10^3	-	-	Fabries, 1997
Valeurs limites Scandinavie (OEL)	$5 \cdot 10^3$ à $1 \cdot 10^4$	10^3	-	$5 \cdot 10^4$	Dutkiewicz, 1997
Pologne	10^5	$2 \cdot 10^4$	-	-	
Concentrations exagérées	10^3	-	-	10^2	Perdrix, 1997b
Valeur limite sur la base d'une exposition de 8 heures par jour	-	-	50 EU/m^3	-	Fabries, 1997
Valeur limite sur la base d'une exposition de 8 heures par jour (DECOS)	-	-	50 EU/m^3 soit $4,5 \text{ ng/m}^3$	-	Heederick, 1997

Tableau 7 : Propositions de valeurs guides de micro-organismes aéroportés et d'endotoxines dans différentes études de la littérature.

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 : $0,01\text{-}100 \text{ EU/ml} \approx 1 \text{ pg/ml- } 10 \text{ ng/ml}$ [Heederik et al., 1997].

En pratique, selon l'espèce de bactéries Gram-négatif qui produit l'endotoxine, 1 ng/m^3 correspond à 10 à 14 EU/ m^3 .

OEL : Occupational Exposure Limit.

ACGIH : American Conference of Governmental Industrial Hygienist.

ASTM : American Society for Testing and Materials.

DECOS : Dutch Expert Committee on Occupational Standards of the National Health Council.

Perdrix [Perdrix et al., 1997a] précise que tout aérosol fongique, dès lors que la concentration est suffisamment importante, peut entraîner des troubles toxiques ou d'hypersensibilité. Pour Almaguer [Almaguer et al., 1996], l'absence de normes ne doit pas faire oublier les susceptibilités immunologiques individuelles et les connaissances actuellement très limitées - et cependant nécessaires - pour établir une relation entre l'exposition à des taux définis et l'initiation d'une maladie. Pour cet auteur, l'association d'un collège de médecins, d'épidémiologistes et d'hygiénistes industriels devraient pouvoir aboutir à l'établissement de ce lien.

De fait, plusieurs groupes œuvrent pour établir des méthodes normalisées d'échantillonnage et des normes spécifiques au milieu de travail sur les concentrations en bactéries et champignons à ne pas dépasser [Choudat et al., 1997].

Les stratégies de prélèvements, le matériel à utiliser et les conditions d'analyse doivent aboutir à un consensus, seule façon de pouvoir comparer les études parues ou à paraître et de mieux caractériser le risque.

Après que des relations dose-réponse et dose-effet aient été mises en évidence et qu'une notion de dose seuil éventuelle ait été établie, des propositions devraient voir le jour [Perdrix et al., 1997a].

Actuellement, une exposition bactérienne polymorphe supérieure à 10^3 CFU/m³ est considérée comme trop élevée, à plus forte raison si une espèce prédomine. Pour les champignons, ce chiffre est rapporté à 10^2 CFU/m³, d'autant plus qu'il existe une prédominance d'*Aspergillus* [Perdrix et al., 1997b].

La démarche des scientifiques est la même en ce qui concerne les endotoxines. Ainsi, diverses organisations recherchent les conditions optimales de prélèvements et d'analyses afin que des normes soient définies.

Les différents auteurs ne s'accordent pas sur les concentrations n'entraînant pas d'effets sur la santé [Douwes et al., 1997]. Pour Heederik, elles s'étendraient de 9 à 170 ng/m³ [Heederik et al., 1997]. Pour Rylander, c'est à partir d'un taux de 20 ng/m³ qu'on est susceptible de voir apparaître une inflammation des voies aériennes ; ce même auteur suggère un taux limite d'exposition de 100 à 200 ng/m³, chiffres à partir desquels il constate une chute du Volume Expiratoire Maximal Seconde (VEMS). Par ailleurs, il est l'un des premiers à établir, pour les endotoxines, des relations dose-effet avec la survenue d'une oppression thoracique pour un

taux de 300 à 500 ng/m³, et constate la présence de fièvre entre 500 et 1000 ng/m³ chez les ouvriers de l'industrie du coton [Rylander et al., 1986] [Rylander, 1987] [Rylander, 1994]. Pour d'autres [Castellan et al., 1987], la plus petite concentration pour laquelle une réponse pulmonaire est observée est de 10 ng/m³.

Des chercheurs ont par ailleurs tenté de savoir si, en estimant le taux de bactéries, une corrélation positive pouvait être réalisée avec le taux d'endotoxines. Les résultats de l'étude semblent le confirmer [Nielsen et al., 1996].

En 1997, une valeur limite de 50 EU/m³ (soit environ 4,5 ng/m³) sur la base d'une exposition de 8 heures par jour a été proposée [Fabries, 1997] [Heederik et al., 1997].

II.4.2. Les toxiques.

II.4.2.1. Les polluants en phase particulaire.

II.4.2.1.1. Les différents types de polluants retrouvés dans les décharges.

En 1987, Mozzon [Mozzon et al., 1987] recherche les niveaux d'exposition atmosphérique en poussières totales, en quartz et en métaux dans trois décharges municipales, au cours des saisons les plus chaudes et les plus sèches de l'année.

La même année, Rahkonen [Rahkonen et al., 1987] analyse la teneur en poussières totales dans cinq décharges finlandaises.

II.4.2.1.2. Les niveaux retrouvés dans les décharges.

Mozzon [Mozzon et al., 1987] retrouve, sur un total de 18 prélèvements individuels ou d'ambiance, un seul prélèvement individuel contenant plus de 10 mg/m³ de poussières totales. Il n'existe pas de données pour les 17 autres prélèvements.

Pour Rahkonen [Rahkonen et al., 1987], les concentrations atmosphériques moyennes en poussières totales prélevées à hauteur des voies aériennes des salariés, sont plutôt basses. Elles varient selon les décharges entre 0,15 mg/m³ (valeurs comprises entre 0,10-0,20) et 2,7 mg/m³ (valeurs comprises entre < 0,10-5,4). Elles dépendent de la quantité et de la qualité des ordures, de la circulation, du fonctionnement des engins (compacteurs) sur l'alvéole et des conditions météorologiques. Les taux les plus élevés sont mesurés dans les décharges les plus

importantes au cours des journées chaudes et ventées du mois d'août. Par ailleurs, comme pour les micro-organismes, Rakhonen a comparé les concentrations sur l'alvéole dans l'air ambiant et à l'intérieur des engins en cours de fonctionnement - engins équipés de filtration - ce qui a permis de montrer une importante atténuation du taux de poussières totales dans les cabines, de l'ordre d'un facteur quinze. Cet auteur n'a pas mesuré les concentrations en poussières alvéolaires.

Dans l'étude de Mozzon [Mozzon et al., 1987], l'exposition au quartz est mesurée à des taux variant de 0,04 à 0,20 mg/m³. Six prélèvements individuels sur les neuf réalisés étaient supérieurs à la valeur limite de 0,05 mg/m³ fixée par la NIOSH.

Toujours dans cette étude, Mozzon [Mozzon et al., 1987] définit l'exposition aux métaux en suspension dans l'air comme n'étant pas excessive, sans plus de précision. Alors que le cadmium et l'arsenic ont été dosés, seul le taux maximum de plomb retrouvé sur un site de décharge, de 3 µg/m³, est précisé.

Les concentrations en métaux lourds (cadmium, chrome, cuivre, plomb, fer et zinc) recherchées par Rakhonen [Rahkonen et al., 1987] sont retrouvées à des taux bas. Aucune corrélation avec les saisons n'est mise en évidence comme c'est le cas pour les concentrations en poussières totales (Cf. Tableau 8).

	Saison	Cd	Cr	Cu	Pb	Fe	Zn
Taux (µg/m ³) retrouvés par Rakhonen	été	0,0086	0,3	1,1	0,83	2	1,8
	automne	0,0017	0,06	0,69	0,15	2,4	0,31

Tableau 8 : Concentrations moyennes en métaux lourds dans des décharges contrôlées en Finlande, d'après Rahkonen, 1987.

II.4.2.1.3. Les valeurs d'exposition professionnelle et les niveaux environnementaux des polluants en phase particulaire.

a- Les particules.

Un aérosol est constitué de particules solides ou liquides en suspension dans un milieu gazeux. Les particules sont considérées en suspension si leur vitesse limite de chute maximale

n'excède pas $0,25 \text{ m.s}^{-1}$ [INRS 1999]. Ce terme d'aérosol est générique, il recouvre tous les types de particules en suspension telles que poussières, fumées ou brouillards.

Les particules inhalées sont susceptibles de se déposer tout au long de l'arbre respiratoire en fonction de leur diamètre aérodynamique (Cf. Tableau 9).

Sur le plan toxicologique, la toxicité des poussières est essentiellement liée à la fraction des particules de taille inférieure à $10 \mu\text{m}$ et plus particulièrement celles de taille inférieure à $5 \mu\text{m}$. Les particules de plus grande taille sont généralement retenues au niveau du nez et dans les voies aériennes supérieures.

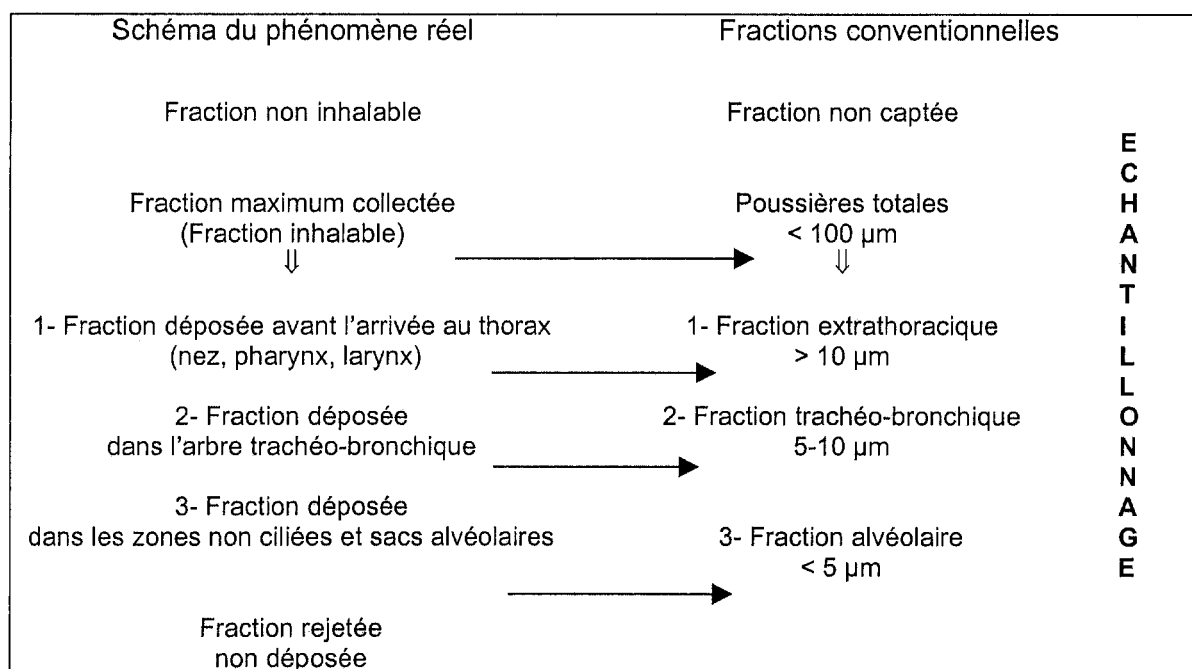


Tableau 9 : Parallèle entre la pénétration dans les voies respiratoires et les fractions conventionnelles obtenues par échantillonnage.

La réalisation d'un échantillonnage permet d'obtenir une ou plusieurs des fractions conventionnelles en fonction de l'appareil de mesure choisi et de son mode d'utilisation.

L'évaluation de l'exposition à la phase particulaire est quantifiée soit à partir des Particules Totales (PT) qui peuvent être inhalées par le système respiratoire (fraction inhalable), soit à partir des sous-fractions comme la fraction alvéolaire (particules inférieures à $5 \mu\text{m}$).

Pour prévenir la survenue d'effets chez les salariés exposés à des particules, la législation française a fixé deux VME :

- particules totales : VME = 10 mg/m³
- particules < 5 µm : VME = 5 mg/m³

Sur le plan environnemental, les particules prises en considération par la réglementation sont celles qui ont une taille inférieure à 10 µm. La valeur seuil de 130 µg/m³ (médiane hivernale) est préconisée par la Directive européenne 80/779/CEE du 15 juillet 1980.

En plus de la granulométrie, la composition des particules inhalées joue aussi un rôle important dans le risque toxique (présence ou non de micro-organismes, de composants métalliques, d'Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)).

b- Les métaux. [Air Quality Guideline for Europe, 1987]

L'ARSENIC (As).

Chez les salariés exposés (extraction, préparation ou utilisation d'arsenic ou de ses dérivés) la VME est fixée à 0,2 mg/m³, l'arsenic et ses composés sont reconnus cancérogènes pour l'homme et classés dans le groupe 1 du CIRC.

Par ailleurs, l'arsenic et ses composés sont ubiquitaires dans la nature. La teneur des sols en arsenic est augmenté par la dispersion de pesticides, herbicides ou de défoliants. Les sources de pollution atmosphérique sont constituées par les rejets volcaniques, la combustion du charbon ou les émissions de carburants. De 1 à 10 ng/m³ en milieu rural, les concentrations atmosphériques peuvent atteindre 200 ng/m³ en milieu urbain. Ce polluant environnemental est aussi présent dans la fumée du tabac.

Le CADMIUM (Cd).

Le cadmium est un sous-produit issu de la métallurgie du zinc, du plomb et du cuivre. Les sources industrielles de cadmium et de ses composés peuvent être à l'origine d'intoxications professionnelles. Classé par le CIRC dans le groupe 1, la législation française a fixé la VME du cadmium et de ses composés, chez les salariés exposés, à 0,05 mg/m³.

Le rejet intempestif d'ustensiles ou de produits contenant du cadmium, les émissions volcaniques, les incinérateurs et les sources industrielles contribuent à leur présence dans l'environnement. La fumée du tabac en phase particulaire pourrait apporter 0,1 à 0,2 µg de cadmium par cigarette.

Alors qu'en milieu rural les concentrations atmosphériques sont inférieures à 5 ng/m³, en milieu urbain les concentrations sont comprises entre 5 et 15 ng/m³, pour atteindre 50 ng/m³ en milieu industriel.

Le CHROME (Cr).

La principale source d'exposition professionnelle est le chromage électrolytique. Le risque est maximal lors du chromage « dur » ou « épais » ou encore lors du soudage ou de l'oxycoupage de l'acier inox et des alliages chromés qui libèrent des dérivés du chrome hexavalent (Cr6) qui est cancérogène reconnu pour l'homme (groupe 1 du CIRC).

La législation française a fixé la VME du chrome métal à $0,5 \text{ mg/m}^3$ et celle des composés du chrome hexavalent à $0,05 \text{ mg/m}^3$.

Bien qu'ubiquitaire - le chrome est retrouvé à l'état de traces ou de résidus dans de multiples produits tels que le ciment, le cuir, l'eau de Javel, les cosmétiques, l'alimentation, l'eau de boisson – c'est la production industrielle des différents produits à base de chrome qui représente la source majeure de chrome atmosphérique.

Inférieures à 3 ng/m^3 en milieu rural, les concentrations atmosphériques urbaines sont de l'ordre de 4 à 70 ng/m^3 en milieu urbain, et varient entre 5 à 200 ng/m^3 dans les pays européens.

Le MANGANESE (Mn).

Le manganèse donne lieu à de nombreuses sources d'exposition professionnelle telles que l'extraction, la métallurgie, la fabrication de piles sèches, le soudage ou l'oxycoupage. La VME est fixée par la législation française à 1 mg/m^3 .

Quelques pays utilisent encore certains composés du manganèse en remplacement du plomb comme antidétonant dans les essences ou comme antifumées dans le gasoil. Ce n'est pas le cas de la France [Institut Français du Pétrole, 2000]. Cette utilisation contribue, tout comme l'érosion de l'écorce terrestre, où le manganèse est un élément abondant, à la pollution environnementale.

En milieu rural, les concentrations atmosphériques sont de $0,01$ à $0,03 \text{ } \mu\text{g/m}^3$, en milieu urbain elles atteignent jusqu'à $0,3 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ voire $0,5 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ en zone industrielle.

Le NICKEL (Ni).

Le nickel est présent à l'état de traces dans le pétrole, le ciment, les huiles de coupe, les détergents. La législation française a fixé la VME du nickel métal à 1 mg/m^3 . Le nickel est cancérogène reconnu pour l'homme (groupe 1 du CIRC).

La fumée du tabac contient $0,5$ à $2 \text{ } \mu\text{g}$ de nickel par cigarette. La combustion de charbon ou de produits pétroliers constitue la principale source de nickel atmosphérique. En Europe, en milieu rural les concentrations moyennes sont de $0,1$ à $0,7 \text{ ng/m}^3$, en milieu urbain de 3 à 100 ng/m^3 et en milieu industriel de 8 à 200 ng/m^3 .

Le PLOMB (Pb).

Les sources d'exposition professionnelle sont nombreuses et comprennent la métallurgie, la fabrication de batteries et accumulateurs, la récupération des métaux, l'oxycoupage, le décapage thermique des vieilles peintures... Chez les salariés exposés au plomb, la législation française a fixé la VME à 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Source d'intoxication accidentelle, essentiellement d'origine alimentaire, la contamination par le plomb peut se faire par l'eau de boisson (pollution hydrique, les emballages de conserves métalliques, les poteries, le gibier ou encore le vin). Les autres sources d'exposition sont environnementales, le métal présent dans l'air provient pour sa plus grande part (80 à 90%) de l'automobile (essences plombées) et des rejets industriels.

En milieu rural, les concentrations sont de 0,1 à 0,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Les concentrations les plus élevées sont retrouvées dans les villes ayant le plus de trafic automobile. Dans la plupart des villes européennes, les concentrations moyennes sont de 0,5 à 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

c- Les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques.

Formés lors de la combustion à plus de 500-700°C de toute substance organique contenant du carbone ou de l'hydrogène, les HAP sont composés de plusieurs cycles aromatiques. Dans l'environnement, les HAP sont en phase gazeuse et/ou en phase particulaire. La répartition en phase particulaire débute à partir de quatre cycles aromatiques. Les particules sur lesquelles sont adsorbées les HAP sont des microparticules, dont la taille est voisine de 0,2 à 0,3 μm [Joly et al., 1993]. Elles pénètrent donc facilement et profondément dans l'arbre pulmonaire.

Chez l'homme, outre la voie pulmonaire, la voie de pénétration des HAP est aussi digestive. Une méthode d'évaluation de l'exposition est le dosage des métabolites urinaires. Le pyrène est un des composants majoritaires des émissions de HAP et son métabolite, le 1-hydroxypyrène, est éliminé pour plus de 90% dans les urines. Avec une demi-vie moyenne de 18 heures, il sert d'indicateur biométriologique de l'exposition globale aux HAP.

Constituants majeurs des produits dits « noirs », les principales circonstances d'exposition professionnelle sont les cokeries, les usines à gaz, les fonderies, le goudronnage des routes, les travaux de ramonage et d'entretien des chaudières et des cheminées.

L'exposition de la population générale est due avant tout au tabagisme (jusqu'à 80 ng/cigarette), à l'alimentation et aux émissions du chauffage urbain et des véhicules, notamment des véhicules diesel.

Parmi les centaines de molécules différentes et les multiples isomères existants, le Benzo(a)Pyrène (B(a)P), cancérogène possible pour l'homme (groupe 2A du CIRC), est l'un des dérivés le plus répandu et le plus toxique.

D'autres HAP, sont susceptibles d'être cancérogènes :

- comme le diesel, le Benzo(a)Anthracène (B(a)A) et le Dibenzo(a,h)Anthracène (D(a,h)A) figurent dans le groupe 2A du CIRC,
- comme l'essence, le Benzo(b)Fluoranthène (B(b)F) et le Benzo(k)Fluoranthène (B(k)F) appartiennent au groupe 2B du CIRC (cancérogène possible pour l'homme).

II.4.2.2. Les polluants en phase gazeuse.

II.4.2.2.1. La formation et la composition du biogaz.

Les émissions toxiques gazeuses provenant des sites d'enfouissement sanitaire sont constituées de composés issus de la décomposition de la partie organique des déchets ménagers enfouis.

En 1994 [Wilkins, 1994], Wilkins s'est intéressé aux effets des Composés Organiques Volatils (COV) émis lors de la collecte des déchets après que les salariés aient émis des plaintes à type de nausées et de diarrhées. 90 COV sont identifiés dans la zone de stockage, la plupart sont d'origine végétale ou issus de la dégradation microbienne (alcools, acides carboxyliques, esters, aldéhydes, cétones, monoterpènes, diméthylsulfure). Si les composés sont tous mesurés à des taux inférieurs aux Threshold Limit Value (TLV), les concentrations sont trois fois supérieures à celle d'une zone témoin. Mais selon l'auteur, lors de l'ouverture d'un conteneur à ordures, il est possible que les TLV soient dépassées pour les composés soufrés et que les brèves inhalations, auxquelles est soumis le personnel, soient à l'origine des troubles digestifs. Cependant l'hypothèse n'est pas vérifiée dans l'étude.

En 1996, afin de mettre en évidence l'origine de nausées et troubles respiratoires Wilkins [Wilkins et al., 1996] consacre son étude à l'émission des COV lors de la dégradation de déchets de jardin. Cette fois c'est plus de 170 COV qui sont identifiés et encore une fois c'est plus particulièrement sur les composés soufrés (hydrogène sulfuré, méthane-thiol) que toute l'attention est portée car ils ont à la fois une faible TLV et sont à l'origine de nausées. Bien que ces deux composés ne soient pas mesurés dans l'étude, leur présence probable associée aux concentrations des composé organo-soufrés mis en évidence est, pour l'auteur, à comparer à la valeur limite du méthane-thiol en vigueur au Danemark. Il est ainsi supposé que les composés détectés contribuent à l'apparition des plaintes observées chez le personnel exposé. L'absence

de dosage quantitatif de certains composés et les chemins détournés utilisés pour aboutir à des suppositions méritent que ces deux études soient largement complétées.

Dans les décharges, en plus des composés issus de la décomposition de la matière organique, des produits toxiques malencontreusement retrouvés dans les ordures sont parfois associés à la volatilisation. Toutes ces émissions constituent le biogaz. Sans réseau de drainage, le biogaz migre à travers les différentes couches de déchets pour être émis soit directement dans l'atmosphère, soit rejeté à distance d'une aire de stockage après une migration souterraine [Drouin et al., 1993].

Plusieurs processus, interdépendants, interviennent dans la dégradation des déchets. La décomposition physique résulte de la dislocation des constituants des déchets. Lors de la phase chimique, des phénomènes d'hydrolyse, de dissolution-précipitation, de sorption-désorption ou d'échanges d'ions sont retrouvés. Puis, sous l'action de milliards de micro-organismes opérant en phase anaérobie (les organismes cellulotiques qui décomposent les macromolécules telles que le bois ou le papier en monomères solubles [Couturier et al., 1998] ce qui aboutit à la formation de sucres ; les organismes acidogènes qui convertissent ces sucres en acides faibles ; les organismes méthanogènes qui transforment ces acides gras volatils, notamment en méthane et dioxyde de carbone [Collins et al., 1992] [Lailas, 1986]), la partie organique des déchets est transformée en biogaz.

Tous les auteurs s'accordent pour dire que plusieurs facteurs influencent la production et la composition du biogaz [Drouin et al., 1993], mais aussi des lixiviats [Matejka et al., 1994] [Mertens et al., 1995]. Ceux liés aux conditions atmosphériques, comme la température de l'air, la pression barométrique, les précipitations et ceux liés aux conditions du site tels que la topographie, l'hydrogéologie, le mode d'exploitation de la décharge (compactage ou non), le type de recouvrement (épaisseur du remblai, nature de la couche de couverture), l'âge des dépôts, la nature des déchets enfouis, ainsi que la température et le contenu en humidité de la masse de déchets.

La composition typique du biogaz est un mélange de cinq composants majeurs dont les marges de concentrations sont très variables selon les sites et l'âge des déchets. Il s'agit du méthane dont le pourcentage est compris entre 47 et 62% selon les conditions aérobies ou anaérobies, suivi du dioxyde de carbone - 32 à 47% -, de l'azote - 3 à 7% -, puis de l'hydrogène et de l'oxygène dans des proportions moindres, et de composés dits traces, car présents en petite quantité, entre 0,1 et 1% du volume de gaz.

Parmi ces composés traces, certains (dont des hydrocarbures aromatiques, des composés sulfurés ou bien encore des esters) sont à l'origine d'odeurs désagréables, et donc ont abouti à des plaintes de la part des personnes résidant à proximité des décharges. D'autre part, la prise de conscience par les autorités publiques, poussées par les médias, de possibles risques pour la santé de ces populations riveraines, a amené de nombreux chercheurs à étudier plus précisément ces composés traces.

Brosseau et Heitz reprennent Lang [Lang, 1989] et expliquent qu'ils sont le résultat de la volatilisation de la partie organique liquéfiée des ordures et de l'aboutissement de la conversion chimique et/ou biologique des déchets enfouis (production de chlorure de vinyle par la dégradation bactérienne anaérobie des solvants chlorés, par exemple).

Comme pour la production du biogaz, la nature et les concentrations maximales de ces effluents varient d'un site d'enfouissement à l'autre, en fonction du type de déchets enfouis, de la température et du contenu en humidité du site, mais aussi de l'âge du site et du traitement des lixiviats [Drouin et al., 1993]. Il est donc difficile de donner une valeur représentative aux données publiées. Cependant, plusieurs auteurs rapportent les principales classes de composés retrouvés dans le biogaz [Brookes et al., 1983] [Keller, 1988 dans Brosseau et al., 1994]. Elles comprennent les hydrocarbures aliphatiques, les hydrocarbures aromatiques, les hydrocarbures halogénés (chlorés pour la plupart), les composés sulfurés, les alcools organiques, les esters, les éthers, les composés oxygénés autres (cétones, furanes), les composés inorganiques inertes ou autres (éléments organométalliques volatils). (Cf. Tableau 10)

Classes	Exemples de substances
Hydrocarbures aliphatiques	Ethane Propane
Hydrocarbures aromatiques	Benzène Toluène, Xylène
Hydrocarbures halogénés (chlorés)	Chlorure de vinyle Dichlorométhane Chloroforme
Composés sulfurés	Sulfure d'hydrogène Disulfure de carbone Mercaptans
Alcools organiques	Ethanol Propane-1-ol
Composés oxygénés (esters, éthers, cétones)	Ethyl butyrate
	Diethyl ether
	Acétone Butane-2-one

Tableau 10 : Exemples de substances retrouvées dans le biogaz pour les principales classes de composés.

Par ailleurs, il est observé que plus les déchets enfouis sont jeunes, plus la variété des composés dans le gaz émis est grande. Sur ce type de site, il est possible d'identifier de nombreux esters, terpènes et composés organiques sulfurés [Young et al., 1983].

Wood et Porter [Wood et al, 1987], après avoir étudié vingt sites californiens de classe II, établissent une liste de 72 composés contenus dans le biogaz. Il était supposé que les émissions gazeuses qui en émanaient étaient exemptes de toutes substances dangereuses. Or du chlorure de vinyle et du benzène, connus pour être cancérrogènes pour l'homme, sont retrouvés dans 85% des sites. Si certains de ces sites ont pu être l'objet de dépôts illégaux soit intentionnels, soit par méconnaissance de la pollution engendrée par des produits déposés par les usagers des décharges, les auteurs rappellent qu'au cours du mécanisme de dégradation les micro-organismes contribuent, *in situ*, à l'élaboration de produits toxiques. Des solvants chlorés, comme le tétrachloroéthylène et le trichloroéthane sont convertis en chlorure de vinyle par action des bactéries. Des enzymes sont produites par les micro-organismes, ce qui aboutit à une déhalogénéation des composés organiques les plus halogénés.

Parmi les 35 composés traces retrouvés sur la décharge de Miron Quarry par Goldberg [Goldberg et al., 1995a], en plus du benzène et du chlorure de vinyle, des composés suspects d'être cancérrogènes tels que le chlorure de méthylène, le chloroforme, le 1,2-dichloroéthane, le bromodichlorométhane, le tétrachloroéthylène, le 1,4-dichlorobenzène, le 1,2-dibromoéthane, le tétrachlorure de carbone ont été mis en évidence

II.4.2.2.2. Les niveaux retrouvés dans le biogaz.

Au total, plus de 100 composés traces, dont des esters, des terpènes et des composés sulfurés, ont été mis en évidence par Young et Parker [Young et al., 1983] sur des échantillons prélevés à la surface des déchets sur six décharges britanniques, dont trois admettaient exclusivement des déchets d'origine domestique. Leur nature est comparable à ce qui était connu dans la littérature. Les concentrations maximales varient d'un site à l'autre, voire d'un prélèvement à l'autre, ce que les auteurs attribuent à la différence d'âge du dépôt en décharges, au mode de dépôt (déchets bruts, emballés ou pulvérisés) et au taux inégal de décomposition. Malgré ces variations de concentration, le taux de benzène atteint la TLV adoptée par l'ACGIH ou la NIOSH, et trois autres composés qui dépassent les TLV sont mis en évidence. Le méthanol atteint le taux maximum, les butanethiols atteignent deux fois la norme et celle-ci est majorée de 87 fois pour le méthane-thiol.

Outre la nature et la concentration des composés traces, ces deux auteurs ont cherché à mettre en évidence quels étaient les composés les plus odorants à l'origine de la pollution olfactive s'échappant des sites. Ils suggèrent que l'odeur pestilentielle, qui atteint des sommets durant les premières années de mise en décharge, est attribuable à deux groupes de substances. Le premier est représenté par les alkyl benzènes (propylbenzène, butylbenzène) et le limonène qui, associés à quelques autres hydrocarbures, sont responsables de l'odeur typique des décharges. Le second groupe comprend les composés organosulfurés et les esters, où le méthane-thiol semble jouer un rôle très important. Particulièrement odorant, le méthane-thiol nécessite une dilution importante (de l'ordre du million) pour devenir inodore et semble souvent être confondu avec l'odeur caractéristique du sulfure d'hydrogène.

Par ailleurs, parmi les trois sites étudiés recevant des ordures ménagères brutes ou pulvérisées, la principale classe de composés traces retrouvée au cours du temps était les alcools, qui sont issus de la fermentation de tous les matériaux putrescibles, particulièrement les fruits et les végétaux. Le pourcentage atteignait, en début de décomposition, jusqu'à 70 % de l'ensemble des composés traces sur le site qui acceptait des déchets ménagers pulvérisés - donc plus rapidement dégradés. Après six mois, sur les trois sites, les alcools étaient encore la classe prédominante.

L'étude réalisée par Assmuth et Kalevi [Assmuth et al., 1992], dans quatre décharges finlandaises admettant des ordures ménagères, met en évidence des taux comparables aux études antérieures [Brookes et al., 1983] [Young et al., 1983] [Wood et al., 1987] (les auteurs soulignent cependant que la comparaison est difficile du fait de la différence de prélèvement des échantillons et des méthodes d'analyse qui évoluent avec le temps). Mais cette étude révèle aussi la présence de plusieurs composés traces organiques dangereux, soit parce que les concentrations sont au-dessus des normes environnementales admises, soit du fait de leur caractère potentiellement cancérigène, c'est le cas du dichlorométhane, du tétrachlorure de carbone, du benzène.

Parmi les éléments organométalliques volatils détectés et identifiés dans le biogaz, on retrouve des composés métalliques à base d'arsenic, de plomb (plomb tétraéthyle et plomb tétraméthyle), d'étain, de mercure (diméthyl mercure), de tellurium, d'antimoine et de bismuth. Il n'a pas été identifié de composés comportant du cadmium [Feldman et al., 1995].

Malgré les taux parfois mis en évidence, Young estime que les constituants organiques traces retrouvés sur les sites étudiés ne constituent pas de risque significatif pour la santé [Young et al., 1985]. Pour lui, le risque essentiel serait représenté par le caractère explosif du biogaz, du à la présence de méthane (susceptible de provoquer des explosions lorsque sa concentration dans l'air atteint 5 à 15%) et d'hydrogène.

II.4.2.2.3. La toxicité des polluants en phase gazeuse. [Air Quality Guideline for Europe, 1987] [INRS, 1999a] [Haguenoer, 1981] [Haguenoer, 1982] [Lauwerys, 1999] [Testud, 1998] [Viala, 1998]

a- Les Composés Organiques Volatils.

Le terme de COV regroupe plusieurs familles d'HydroCarbures (HC), dont les HC aliphatiques, les HC Aromatiques Monocycliques (HAM), les HC halogénés.

Ces hydrocarbures possèdent, pour une exposition importante, un pouvoir irritant au niveau de la peau et des muqueuses, ainsi qu'un effet déprimeur du système nerveux central. Certains possèdent une toxicité spécifique, notamment cancérigène pour de faible dose

Les HAM.

Les HAM sont des molécules qui possèdent le cycle aromatique du benzène. Ils comprennent des molécules telles que les BTX (Benzène, Toluène, Xylènes), l'éthylbenzène, le triméthylbenzène...

Le benzène.

Les principales sources d'exposition professionnelle au benzène sont représentées par la distillation du pétrole et du goudron de houille, la synthèse de différents produits chimiques (l'utilisation du benzène en tant que solvant est désormais interdite et l'ensemble des produits actuellement mis sur le marché doit contenir moins de 0,1% de benzène). Pour les salariés exposés, la législation française a fixé une VME à 3 mg/m³. Le benzène est classé dans le groupe 1 du CIRC.

Les concentrations atmosphériques en benzène sont comprises entre 3 et 160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Les maxima sont rencontrés en zone urbaine.

Lors d'exposition prolongée, on peut observer une hématotoxicité, allant jusqu'à des dépressions médullaires voire des leucémies.

Les HC chlorés.

Efficaces, polyvalents, ininflammables et recyclables, les solvants chlorés représentent 10% du marché français. Si de nombreux composés sont encore largement utilisés en synthèse organique (trichlorométane ou chloroforme) ou comme décapants (dichlorométane), la production globale est en diminution du fait de la réglementation visant à réduire l'émission de substances appauvrissant la couche d'ozone.

Le chlorure de vinyle.

Le chlorure de vinyle appartient aux hydrocarbures chlorés. Les principales sources d'émissions sont représentées par les usines qui le produisent ou qui fabriquent la forme polymérisée : le PolyChlorure de Vinyle (PVC). La moyenne annuelle à moins de 1 km des sources est estimée à plus de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, alors qu'à distance de toute pollution les concentrations sont comprises entre 0,1 et 0,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

A de fortes expositions, le chlorure de vinyle est susceptible de provoquer des troubles angioneurotiques et un syndrome sclérodermiforme des doigts. Il est par ailleurs classé dans le groupe 1 du CIRC, car pourvoyeur d'angiosarcome hépatique.

Le trichloroéthylène et le tétrachloroéthylène sont utilisés comme dégraissants, ils sont à l'origine - comme la plupart des solvants chlorés - de troubles de l'excitabilité myocardique. Ces deux substances sont classées 2A par le CIRC. Leur VME respective est de 405 mg/m^3 et 335 mg/m^3 .

Les HC oxygénés.

Parmi les hydrocarbures oxygénés, on retrouve :

- Les cétones.

Les cétones ($\text{R}_1\text{-CO-R}_2$) sont en général des liquides volatils et inflammables. Utilisées comme solvants, ce sont aussi des intermédiaires chimiques de synthèse,

- Les éthers.

Certains éthers ($R_1\text{-CO-R}_2$) sont employés comme additif antidétonant dans l'essence automobile.

Les éthers de glycol résultent de la combinaison d'un glycol et d'une ou deux molécules d'alcools. Ils franchissent aisément la barrière cutanée et sont utilisés en milieu industriel comme solvants ou constituants de fluides hydrauliques. La population générale est exposée par l'intermédiaire des produits d'entretien ou encore des colorations capillaires.

Les éthers de glycol, sont à l'origine de dépression médullaire et de divers troubles hématologiques, en principe réversibles à l'arrêt de l'exposition. Leur rôle dans l'infertilité masculine, les avortement spontanés, et dans la survenue de Leucémie Aiguë Myéloblastique (LAM) est suggéré.

b- Les Alcools.

Les alcools possèdent une fonction hydroxyle (-OH). Les principales sources d'exposition sont liées à leur utilisation comme solvants, à la fabrication des matières plastiques ou encore d'antigels.

Le méthanol est produit par le métabolisme humain. L'exposition de la population générale se fait par le biais de l'alimentation et notamment par les boissons diététiques à base d'aspartam.

c- Les Aldéhydes.

Issus de la combustion incomplète des composés carbonés, les aldéhydes comportent un ou plusieurs groupements (-CH=O). Ce sont des molécules chimiques très réactives capables de se condenser avec de nombreux dérivés, ce qui explique leur importance comme intermédiaires de synthèse de nombreux corps chimiques. Ils sont utilisés dans la production de résines, comme solvants, désinfectants ou encore dans l'industrie textile ou du papier.

Chez les salariés exposés au formaldéhyde, la législation française a fixé une VME à $0,6 \text{ mg/m}^3$, il est classé 2A par le CIRC. Pour l'acétaldéhyde, la VME est fixée à 180 mg/m^3 , il s'agit d'une molécule classée 2B par le CIRC.

L'exposition de la population générale aux aldéhydes provient des incinérateurs de déchets urbains, des gaz d'échappement des véhicules, de l'alimentation, du tabagisme (30 à 70 µg/cigarette), mais aussi du processus de dégradation naturelle des végétaux (pour le formaldéhyde et l'acétaldéhyde) et de l'environnement « intérieur ». En effet, les émanations produites à partir du mobilier en aggloméré et des mousses isolantes en résines urée-formol constituent une source atmosphérique d'aldéhydes.

Retrouvé dans l'alimentation, l'acétaldéhyde serait responsable de certaines manifestations de l'éthylisme chronique et il est à l'origine du syndrome antabuse. L'acroléine est retrouvée dans les fumées de tabac, d'incendie, la bière.

Le formaldéhyde, l'acétaldéhyde et l'acroléine sont les trois principaux composés émis par les véhicules en zone urbaine [Gautier, 1997].

Pour le formaldéhyde, l'OMS a fixé une valeur guide de 100 µg/m³ sur 30 minutes. En milieu urbain, les concentrations moyennes annuelles sont de l'ordre de 5 à 10 µg /m³.

Pour l'acroléine, les taux atmosphériques urbains sont de l'ordre de 0,03 µg /m³ [WHO, 1992].

Les aldéhydes sont tous fortement irritants ou caustiques et souvent sensibilisants.

Le prochain chapitre recense les études ayant cherché à établir un lien entre la santé et les sujets au contact des ordures ménagères.

II.5. LES CENTRES D'ENFOUISSEMENT TECHNIQUE ET LES RISQUES POUR LA SANTE.

Comme dans toutes les filières de traitement des déchets, de nombreux micro-organismes sont présents sur les CET. Ils sont à l'origine de la fermentation des ordures et participe ainsi à la formation du biogaz.

Les études concernant la composition du biogaz des CET de classe II, montrent qu'une grande variété de polluants peuvent être émis dans l'air soit sous forme gazeuse, soit sous forme particulaire.

Les décharges de classe II sont donc une source potentielle d'exposition à de multiples composés chimiques. Si certains ont un effet à court terme, tel le sulfure d'hydrogène (connu pour être un irritant pulmonaire), il existe une émission dans l'air de nombreux composés dits traces - car retrouvés en faible concentration [Young et al., 1983] [Wood et al, 1987] - mais pour lesquels un effet cumulatif pourrait, à long terme, être à l'origine de pathologies. Parmi ces substances, on retrouve notamment le chlorure de vinyle et le benzène.

Par ailleurs, à cette émission, s'ajoutent celles engendrées par les nombreux engins (camions-benne, compacteurs, bulldozer) amenés à circuler sur une alvéole.

Les préoccupations liées aux émissions en provenance des sites d'enfouissement sanitaires n'ont donné lieu qu'à un nombre limité d'études pour la population générale, mais plus encore pour les travailleurs des CET de classe II. Dans ce domaine d'activité, la nature et l'importance des risque chimiques liés aux déchets sont mal connus [Bergeret et al., 1992] [Hours et al., 1992] et les risques pour la santé sont mal déterminés. Par ailleurs les risques sont différents pour la population générale et pour les populations salariées directement au contact des déchets.

Les données de la littérature concernant les décharges de classe II sont peu abondantes. Si le risque théorique paraît important au vue du peu d'études de morbidité réalisées, le risque réel semble beaucoup plus faible, d'où la nécessité de se rapporter à d'autres domaines de l'industrie des déchets tels que la collecte, le tri ou encore le recyclage.

II.5.1. La méthodologie des différentes études.

(Cf. Tableau 11)

Aux Etats-Unis, l'équipe d'Hertzman [Hertzman et al., 1987] réalise, en 1987, une étude rétrospective portant sur les répercussions sur la santé de salariés et de résidants proches d'une décharge de l'Ontario ayant reçu de 1950 à 1980 des déchets domestiques et industriels. Dans un premier temps les symptômes médicaux apparus entre 1965 et 1980 sont collectés par questionnaire et validés par contrôle des dossiers médicaux et comparés chez 197 employés travaillant sur ou à proximité de la décharge (salariés de la décharge, employés communaux, pompiers instructeurs) - représentant un groupe à forte exposition potentielle - et un groupe de 235 témoins. Aucune mesure quantitative des polluants n'a été effectuée. Hertzman compare aussi dans son étude, les morts attendues à celle des hommes de l'Ontario après ajustement de l'étiologie, de l'âge et du sexe.

Dans un deuxième temps, l'étude est étendue à 1124 ménages habitant à proximité du CET. Six zones ont été déterminées selon la distance par rapport au site et la durée d'habitation entre 1976 et 1980. Dans ces six zones, les sujets étaient considérés comme exposés ; la population contrôle, composée de 636 ménages, résidait à plus de 8 kilomètres du site. Hertzman étudie, entre autre, les faibles poids de naissance et recherche les malformations congénitales chez les femmes ayant vécu autour du site, donc situées dans la zone d'exposition, par rapport à des femmes de la zone témoin. Là encore aucune mesure de l'exposition réelle n'a été réalisée.

Les effets délétères retrouvés sont attribués à l'exposition aux différentes émanations chimiques de la décharge, plus qu'à l'hypothèse d'une perception du risque par les populations les plus concernées (travailleurs ou résidants de proximité) ou qu'au biais de mémoire des sujets. Le risque relatif ayant été ajusté pour l'âge, le sexe et la tabagisme, Hertzman s'appuie, pour valider ses constatations, sur la force de l'association, l'importance des symptômes recueillis chez les travailleurs au contact des déchets et la baisse des pathologies constatées chez les résidants proches en relation avec l'éloignement du site. Cependant la validité est réduite par le taux de refus de participation des populations témoins, les différences socio-économiques entre les groupes étudiés, les symptômes mis en évidence - collectés par questionnaire et définis de façon imprécise - qui sont très banals et donc très difficiles à relier effectivement à une pollution due à la décharge.

Puis, c'est une équipe finlandaise, dirigée par Tuomi [Tuomi et al., 1991] qui rapporte les résultats d'une étude transversale. Cette étude donne, notamment, la prévalence des maladies cardio-vasculaires sur deux périodes, 1981 et 1985. Elle porte sur 4255 agents municipaux répartis, selon une auto-appréciation subjective de la capacité individuelle de travail, en trois

groupes en fonction de la demande physique, mentale ou mixte de leur activité. Les employés sont interrogés quant à la présence de 46 symptômes. Les salariés au contact des déchets (au nombre de 16, seulement) appartiennent à la troisième catégorie. Dans cette étude aucune définition des postes n'est rapportée et l'intitulé des postes n'est pas explicite.

Une étude réalisée au Danemark, en 1994 [Sigsgaard et al., 1994a], évalue l'exposition aux poussières totales, aux micro-organismes, bactéries Gram-négatif et endotoxines de 44 collecteurs d'ordures ménagères, de 20 salariés attachés au tri des papiers et de 119 travailleurs d'une usine d'eau potable de Copenhague, ces derniers sont pris comme témoins. Après avoir mis en évidence que l'exposition aux particules de poussières et aux micro-organismes est plus importante chez les travailleurs au contact des déchets, et notamment chez les sujets affectés à la collecte, que dans la population témoin, il recherche la prévalence de troubles respiratoires ou de symptômes d'irritation muqueuse.

La même année, Sigsgaard [Sigsgaard et al., 1994b], mesure les diminutions de la fonction pulmonaire en fin de poste chez 99 travailleurs de l'industrie du recyclage (tri de papiers, collecte, compostage, fabrication de papiers) parallèlement aux concentrations en poussières et en endotoxines aux postes des salariés.

Goldberg, en 1995, réalise deux études portant sur une décharge d'ordures ménagères québécoise, la décharge de « Miron Quarry » qui depuis 1968 a accueilli environ 36 millions de tonnes d'ordures ménagères et de déchets industriels ; il s'intéresse aux effets potentiels, à long terme, pour les 100000 personnes vivant à proximité immédiate du site.

La première étude [Goldberg et al., 1995a] porte sur l'incidence des cancers de 1981 à 1988 des personnes vivant près de la décharge. 35 composés organiques volatils ont été identifiés dans le biogaz de la décharge, dont le benzène et le chlorure de vinyle mais aussi de nombreux hydrocarbures halogénés tels que le trichloroéthylène ou le tétrachloroéthylène, suspects d'être cancérogènes pour l'homme, mais peu de données – en dehors du taux de méthane – existent quant à l'évaluation de l'exposition des communautés proches de la décharges. Les cas de cancer sont recueillis auprès du registre de cancers de Montréal. Les populations sont définies en fonction de leur zone d'habitation (la population de référence est non exposée, faiblement, moyennement, fortement exposée hors vent, fortement exposée sous le vent). L'âge, le sexe et l'ethnie sont pris en compte et établis à partir de recensements de 1981 et 1986. Malgré l'intérêt de cette étude liée à sa puissance, il n'existe pas de mesure quantitative de l'exposition, ni de notion sur la durée d'exposition (maximum de vingt ans, soit un temps de latence court pour aboutir au diagnostic de tumeurs solides), les facteurs confondants que sont l'alcool et le tabac n'ont pas été pris en compte.

Dans une deuxième étude, l'équipe de Goldberg [Goldberg et al., 1995b] analyse le poids de naissance d'enfants nés de mère ayant vécu durant leur grossesse à proximité de la décharge de l'île de Montréal. Plusieurs populations sont à nouveau définies en fonction de la distance du domicile par rapport à la décharge et à l'exposition ou non sous le vent. Si les caractéristiques socio-économiques et l'âge maternel sont similaires entre les cas et les témoins, les pathologies survenues au cours de la grossesse, la consommation de tabac, la profession de la mère, le lieu d'habitation durant la grossesse et le lieu accouchement différents ne sont pas pris en compte.

Toujours en 1995 et après une large revue de la littérature, Poulsen mène deux études [Poulsen et al., 1995a] [Poulsen et al., 1995b] qui recensent les différentes pathologies survenues chez les travailleurs chargés de la collecte, du tri, du recyclage ou du compostage des déchets ménagers en comparaison à l'ensemble des travailleurs danois durant la période portant de 1984 à 1992.

En 1996, l'équipe de Zuskin [Zuskin et al., 1996] recherche, chez 81 employés du service d'hygiène municipale chargés du balayage des rues ou de la collecte des déchets la prévalence de symptômes par rapport à 65 témoins, salariés d'une usine d'emballage de produits alimentaires.

Dans son étude, Hansen [Hansen et al., 1997] compare la symptomatologie de 1515 collecteurs de déchets à un groupe témoin composé de 423 salariés gardiens de parking.

Ivens, lui, dans deux études récentes [Ivens et al., 1997] [Ivens et al., 1999] interroge 1747 travailleurs en charge de la collecte des ordures ménagères et 1169 employés municipaux pris comme témoins.

Après que les salariés travaillant sur la décharge d'ordures ménagères de la ville de New-York - qui avec 14000 tonnes de déchets réceptionnées journalièrement est l'une des plus importantes décharges au monde - aient rapporté un nombre élevé de pathologies par rapport aux autres salariés du département d'hygiène de la ville, 238 travailleurs de la décharge et 262 témoins ont été interrogés par Gelberg [Gelberg, 1997] quant à la survenue de divers symptômes dans les six mois précédant l'étude. Des estimations des niveaux d'exposition en poussières respirables, composés organiques volatiles et métaux semblent être régulièrement réalisées au niveau de l'aire résidentielle située à proximité du site d'exploitation, mais les résultats ne sont pas précisés et aucune mesure de l'exposition n'est relatée pour les salariés. Du fait du caractère rétrospectif de l'étude, Gelberg évoque la possibilité d'un biais de mémoire ainsi qu'une perception du risque plus importante chez les travailleurs au contact des déchets, qui

rapportent plus de symptômes. Par ailleurs, on reconnaît à cette étude certaines limites, comme l'absence de mesure de l'exposition et un intitulé peu explicite des postes de travail.

Type d'activité	Nombre de sujets	Références
Etude rétrospective travailleurs décharge ordures ménagères et déchets industriels	197 salariés 235 témoins (employés municipaux)	Hertzman, 1987
Etude résidents proches décharges	1124 ménages 636 ménages témoins	Hertzman, 1987
Etude transversale employés municipaux au contact des déchets	4225 salariés dont 16 salariés au contact des déchets	Tuomi, 1991
Etude transversale salariés collecte, tri	64 salariés 119 témoins (employés station d'épuration)	Sigsgaard, 1994a
Etudes transversales population proximité décharge ordures ménagères et déchets industriels	-	Goldberg, 1995a
	-	Goldberg, 1995b
Recensement études transversales salariés collecte, tri, recyclage	Salariés de la collecte, du tri, du recyclage Témoins : salariés danois	Poulsen, 1995a Poulsen, 1995b
Etude transversale salariés balayage et collecte	81 salariés 65 témoins (salariés d'une usine d'emballage)	Zuskin, 1996
Etude transversale salariés collecte	1515 salariés 423 témoins (gardiens de parking)	Hansen, 1997
Etude transversale salariés collecte	1747 salariés 1169 témoins (employés municipaux)	Ivens, 1997
Etude transversale travailleurs décharge ordures ménagères	238 salariés 262 témoins du département d'hygiène	Gelberg, 1997

Tableau 11 : Les différentes études rapportant les pathologies retrouvées chez des salariés ou des populations au contact de déchets.

II.5.2. Les pathologies.

(Cf. Tableau 12)

II.5.2.1. Les pathologies respiratoires.

Il existe deux études dans la littérature concernant les salariés des décharges d'ordures ménagères. La première est celle d'Hertzman [Hertzman et al., 1987]. Il retrouve chez les salariés exposés, significativement plus de signes respiratoires (bronchite chronique (RR (Risque Relatif) = 3,52 ; p = 0,015) ; toux (RR = 2,38 ; p = 0,006)) que chez les témoins. Cet

l'auteur a aussi comparé les morts attendues chez les salariés à celles des hommes de l'Ontario, il ne retrouve pas d'augmentation du risque de mortalité pour les maladies du système respiratoire autres que les cancers (SMR (Standardized Mortality Ratio) = 136 [14-205]). Pour les habitants proches de la décharge, les résultats montrent aussi une forte association pour les troubles respiratoires comme la bronchite chronique ou la toux (RR = 1,56 [1,04-2,07] ; $p < 0,001$) et, comme pour tous les signes qu'il met en évidence chez les résidents établis à proximité de la décharge, il existe une diminution du risque avec l'éloignement du site.

La deuxième est celle de Gelberg [Gelberg, 1997]. Dans cette étude, les résultats montrent une prévalence plus élevée de problèmes respiratoires comme la bronchite chronique, la toux ou la dyspnée (OR = 2,14 [1,35-3,38] ; $p \leq 0,001$), chez les salariés de la décharge d'ordures ménagères de la ville de New-York.

Pour Sigsgaard [Sigsgaard et al., 1994a], l'exposition aux particules de poussières et aux micro-organismes est plus importante chez les travailleurs au contact des déchets et notamment chez les sujets affectés à la collecte. Des fièvres d'inhalation - ou syndrome toxique des poussières organiques (ODTS) - qui sont, pour Sigsgaard associées à une prédisposition atopique familiale, sont retrouvées chez les collecteurs de déchets. Dans cette population, aucune différence attribuable à leur exposition n'est observée au niveau des paramètres pulmonaires de base (VEMS, Capacité Vitale (CV)) et de la réactivité bronchique, par contre il existe une variation de plus de 20% du peak flow orientant vers un effet nocif de l'environnement de travail, sur les poumons.

La même année, Sigsgaard [Sigsgaard et al., 1994b], mesure les diminutions de la fonction pulmonaire en fin de poste, chez des travailleurs exposés aux poussières organiques, et met en évidence une chute du VEMS, corrélée à l'importance de l'exposition. Par contre, aucune relation n'est démontrée entre des altérations de la fonction pulmonaire et le taux d'endotoxines, ce qui est peut être dû aux faibles concentrations d'endotoxines observées qui sont inférieures à 100 ng/m³, taux minimum proposé pour voir apparaître une bronchoconstriction [Rylander, 1987].

Il est toutefois actuellement établi que les endotoxines jouent un rôle important dans le développement de symptômes incluant fièvre, oppression thoracique et diarrhées dans des industries comme celles du coton, des stations d'épuration et du compostage [Clark et al, 1983] [Rylander et al., 1982] [Rylander et al., 1984].

Poulsen [Poulsen et al., 1995a] [Poulsen et al., 1995b] retrouve pour les salariés au contact des déchets ménagers, toutes filières confondues, une présence plus importante d'allergies respiratoires (RR = 2,6 [1,8-3,9]). Cet auteur met aussi en évidence, dans les usines de compostage, des manifestations plus sévères comme de l'asthme et des cas d'aspergillose

pulmonaire. Tous ces troubles, comme les irritations oculaires et des voies aériennes supérieures, sont attribués à une exposition simultanée à de multiples agents biologiques (bactéries, endotoxines, champignons) ainsi qu'à des COV et des particules diesels.

L'équipe de Zuskin [Zuskin et al., 1996] relève, chez les employés du service d'hygiène municipale, une forte prévalence de troubles respiratoires chroniques et aigus tels que la sécheresse du nez et de la gorge, l'irritation de la gorge et des yeux, par rapport aux témoins. Les examens mettent en évidence un abaissement significative ($p < 0,05$) des résultats de la Capacité Vitale Forcée (CVF) et du VEMS par rapport aux témoins pour les salariés ayant plus de 10 ans d'ancienneté, sans plus de précision, il est expliqué que ces résultats ne seraient pas dus au seul tabagisme.

Par rapport au groupe témoin Hansen [Hansen et al., 1997] met en évidence chez des collecteurs, une prévalence modérée de symptômes à type de toux (PPR (Ratio Proportionnel de Prévalence) = 1,3 [1-1,7]), d'éternuements (PPR = 1,4 [1-1,8]) et d'écoulements nasal (PPR = 1,9 [1-3,5]). Il retrouve surtout un excès significatif de bronchite chronique (PPR = 2,3 [1,3-4,3]), qu'il relie à la fois à l'exposition aux particules dues à la pollution automobile (à laquelle sont pourtant problemement exposés les sujets témoins qui sont gardiens de parking), mais surtout à l'inhalation importante de bioaérosols.

II.5.2.2. Les pathologies oculaires et ORL.

Pour Hertzman [Hertzman et al., 1987], les signes d'irritation ORL ou oculaire (RR = 1,63 ; $p = 0,130$) ne sont pas significativement plus élevés chez les salariés de la décharge que dans la population témoin. Les résultats montrent par contre, une association significative chez les habitants proches de la décharge pour ces mêmes irritations (RR = 1,87 ; $p < 0,001$).

Gelberg [Gelberg, 1997] lui, trouve une prévalence plus élevée d'angines (OR = 2,26 [1,33-3,82] ; $p < 0,01$) chez ce même type de salariés par comparaison aux témoins. En ce qui concerne les agents travaillant sur l'alvéole, des signes d'irritation oculaire (OR=2,04 [1,32-3,14] ; $p \leq 0,001$) et de la gorge (OR=2,68 [1,66-4,31] ; $p \leq 0,001$) sont retrouvés par rapport aux salariés de la décharge tous postes confondus.

En 1994, Sigsgaard [Sigsgaard et al., 1994a] met en évidence une prévalence d'irritation des muqueuses oculaires (27 %, $p < 0,05$), ORL (14 à 21 %, $p < 0,05$) et de syndromes grippaux (14%, $p < 0,05$) chez les salariés de la collecte par rapport à sa population témoin (respectivement 11, 0 et 1% avec $p < 0,05$).

II.5.2.3. Les pathologies cutanées.

Pour la population proche de la décharge, Hertzman [Hertzman et al., 1987] met en évidence des atteintes cutanées à type d'irritation ou d'éruption ($RR = 1,76 [1,53- 2,32]$; $p < 0,001$). Gelberg [Gelberg, 1997] retrouve une prévalence plus élevée de signes dermatologiques à type d'irritation ou encore de sécheresse cutanée ($OR = 2,07 [1,11-3,84]$; $p \leq 0,001$) chez les salariés de la décharge par rapport aux témoins. Par ailleurs, il relate plus de plaintes chez les agents qui travaillent sur l'alvéole par rapport aux autres salariés de la décharge ($OR = 1,87$; $p < 0,05$).

Les travailleurs chargés de la collecte, du tri, du recyclage ou du compostage des déchets ménagers présentent, dans les études de Poulsen [Poulsen et al., 1995a] [Poulsen et al., 1995b] plus d'irritations cutanées ($RR = 1,6 [1,2-2]$) que les autres salariés danois.

II.5.2.4. Les pathologies digestives.

L'équipe d'Hertzman [Hertzman et al., 1987] ne retrouve aucune corrélation non seulement pour les troubles cardio-vasculaires, hématologiques, génito-urinaires mais aussi pour les signes gastro-intestinaux.

Par contre, Gelberg révèle des troubles gastro-intestinaux à type de nausées, vomissements, diarrhées ($OR = 2,28$; $p \leq 0,001$) chez les salariés de l'alvéole par rapport aux autres agents de la décharge.

Sigsgaard [Sigsgaard et al., 1994a] dans le milieu de la collecte, rapporte une prévalence de symptômes digestifs (nausées, vomissements, diarrhées) de 19 à 27% ($p < 0,05$) par rapport à la population témoin où la prévalence est de 2 à 5%.

Dans ses deux études Ivens [Ivens et al., 1997] [Ivens et al., 1999] retrouve plus de nausées (PPR (Prevalence Proportion Ratio) = $1,4 [1,08-1,81]$) et de diarrhées (PPR = $1,76 [1,37-2,28]$) chez les travailleurs chargés de la collecte que chez les salariés municipaux. Les symptômes apparaissent essentiellement au cours de l'été, le week-end ou au retour de vacances. S'ils sont un signe de contamination importante, les auteurs attirent l'attention sur le risque engendré par l'espacement des collectes qui favorise le développement de micro-organismes tels que les bactéries Gram-négatif ou encore les *Aspergillus*. Dans un deuxième temps, il met en évidence une relation entre la survenue des nausées et l'exposition aux endotoxines (PPR = $1,6 [0,88-2,9]$) ; le risque de rapporter de tels symptômes diminue en même temps que l'exposition

diminue. Pour les diarrhées, c'est l'exposition associée aux endotoxines (PPR = 4,59 [2,74-7,71]) et aux champignons (PPR = 5,6 [2,39-13,08]) qui est mise en cause, avec là encore une relation linéaire entre l'exposition et les diarrhées. Les auteurs rappellent que les taux élevés de micro-organismes retrouvés peuvent engendrer des COV. D'après Wilkins [Wilkins, 1994] [Wilkins et al., 1996], de tels composés sont aussi à l'origine de troubles gastro-intestinaux.

Poulsen [Poulsen et al., 1995a] [Poulsen et al., 1995b] met lui aussi en évidence des troubles gastro-intestinaux (RR = 2,8 [1,3-6,3]) chez les salariés des filières de traitement des déchets par rapport aux travailleurs danois.

II.5.2.5. Les pathologies neurologiques et de l'humeur.

Chez Hertzman [Hertzman et al., 1987], les troubles neurologiques (RR = 2,45 ; p = 0,005) et de l'humeur (RR = 4,70 ; p < 0,001) sont aussi plus marqués chez les salariés de la décharge d'Upper Ottawa Street. Pour ces deux types de troubles confondus, les salariés de la décharge de la ville de New-York sont aussi plus atteints que les autres travailleurs du département d'hygiène de la ville (RR = 1,89 ; p < 0,05). Chez les résidants, l'association est forte pour les troubles neurologiques (RR = 2,29 [1,54-2,65] ; p < 0,001) et les troubles de l'humeur (RR = 1,70 [1,30-2,50] ; p < 0,001).

Dans l'étude de Gelberg [Gelberg, 1997] les résultats montrent une prévalence plus élevée de signes neurologiques tels que la fatigue, les céphalées, les troubles de mémoire et de concentration (OR = 1,89 [1,08-3,32] ; p < 0,05) chez les salariés de la décharge.

Poulsen [Poulsen et al., 1995a] [Poulsen et al., 1995b] ne met pas en évidence de troubles nerveux et sensoriels significatifs (RR = 2 [0,8-5,3]) pour les salariés au contact d'ordures ménagères.

II.5.2.6. Les cancers.

Hertzman [Hertzman et al., 1987], ne retrouve pas d'augmentation du risque de cancers, ni pour tous les cancers confondus (SMR = 113 [41-247]), ni pour les cancers respiratoires (SMR = 164 [33-481]). Par ailleurs, il ne met pas en évidence d'augmentation du risque de mortalité toutes causes confondues, mais il évoque le biais du travailleur sain pour expliquer un SMR à 88, avec exclusion notamment des sujets présentant des troubles cardio-vasculaires.

Goldberg [Goldberg et al., 1995a] remarque, chez les femmes, un excès de risque faible, à la limite de la significativité pour les cancers de l'estomac ($RR = 1,2 [0,9-1,5]$) et du col de l'utérus ($RR = 1,2 [1-1,5]$) et chez les hommes, pour les cancers du foie ($RR = 1,3 [0,9-1,8]$), de l'estomac ($RR = 1,3 [1-1,5]$) et à un degré moindre pour le poumon ($RR = 1,1 [1-1,2]$), avec une cohérence selon la zone d'exposition. L'auteur estime que du fait du nombre important de personnes exposées, il est nécessaire d'établir par d'autres études la réalité d'un excès de cancers du fait de l'exposition au biogaz.

II.5.2.7. Les faibles poids de naissance, les malformations congénitales.

Hertzman, dans son étude [Hertzman et al., 1987], ne retrouve aucun effet, chez les femmes ayant vécu à proximité de la décharge, en ce qui concerne les faibles poids de naissance et les malformations congénitales.

Dans sa deuxième étude, Goldberg [Goldberg et al., 1995b] n'obtient pas de relation significative avec la prématurité. Par contre, une augmentation de 20% du risque d'avoir des enfants de faible poids de naissance (< 2500 g) est retrouvée (OR ajusté = $1,2 [1,04-1,39]$) du fait de vivre près de la décharge.

II.5.2.8. Autres pathologies.

Tuomi [Tuomi et al., 1991] rapporte que chez les quelques salariés au contact des déchets inclus dans son étude, la prévalence retrouvée pour les maladies cardio-vasculaires est de 25% en 1981 et 1985.

	Pathologies	Références
Respiratoires	bronchite chronique RR=3,52 p=0,015*	Hertzman, 1987
	toux RR=2,38 p=0,006*	
	maladies système respiratoire SMR=136 [14-205]*	
	pathologies respiratoires RR=1,56 P>0,001**	Siggaard, 1994a
	abaissement de 20% peak flow	
	allergies respiratoires RR=2,6 [1,8-3,9]	Poulsen, 1995a et b
	bronchite chronique, toux, dyspnée OR=2,14 p≤0,001*	Gelberg, 1997
ORL Oculaires	toux PPR=1,3 [1-1,7]	Hansen, 1997
	irritations oculaires RR=1,63 p=0,13*	Hertzman, 1987
	irritations oculaires RR=1,87 p<0,001**	
	syndrome grippal prévalence 14% (contre 1%), p < 0,05	Siggaard, 1994a
	irritations oculaires prévalence 27% (contre 11%), p < 0,05	
	irritations ORL prévalence 14 à 21% (contre 0%), p < 0,05	Gelberg, 1997
	irritations oculaires=2,04 [1,32-3,14] p≤0,001 (salariés alvéole)*	
Cutanées	irritation ORL OR=2,68 [1,66-4,31] p≤0,001 (salariés alvéole)*	
	angines OR=2,26 [1,33-3,82] p<0,01*	Hansen, 1997
	éternuements PPR=1,4 [1-1,8]	
	écoulement nasal PPR=1,9 [1-3,5]	Hertzman, 1987
	irritations, éruptions RR=1,76 [1,53-2,32] p<0,001**	
	irritations RR=1,6 [1,2-2]	
	irritations, sécheresse OR=2,07 [1,11-3,84] p≤0,001*	Gelberg, 1997
Neurologiques Humeur	pathologies cutanées OR=1,87 p<0,05 (salariés alvéole)*	
	-céphalées, vertiges, troubles de l'équilibre, léthargie RR=2,45 p=0,005*	Hertzman, 1987
	-irritabilité, dépression, insomnie, anxiété, agitation RR=4,70 p<0,001*	
	-neurologiques RR=2,29 p<0,001**	
	-humeur RR=1,70 p<0,001**	Poulsen, 1995a et b
	pathologies neurologiques RR=2 [0,8-5,3]	
	céphalées, troubles de mémoire et de concentration OR=1,89 [1,08-3,32] p<0,05*	Gelberg, 1997
Gastro- intestinales	signes digestifs prévalence 19 à 27% (contre 2 à 5%) p<0,05	Siggaard, 1994a
	signes digestifs RR=2,8 [1,63-6,3]	Poulsen, 1995a et b
	signes digestifs OR=2,28 p≤0,001 (salariés alvéole)*	Gelberg, 1997
	nausées PPR=1,4 [1,08-1,81]	Ivens, 1997 et 1999
	diarrhées PPR=1,76 [1,37-2,28]	
Cancers	tous cancers confondus SMR=113 [41-247]*	Hertzman, 1987
	cancers respiratoires SMR=164 [33-481]*	
	toutes causes confondues SMR=88	
	cancer estomac femmes RR=1,2 [0,9-1,5]	Goldberg, 1995a
	cancer estomac hommes RR=1,3 [1-1,5]	
	cancer col utérus RR=1,2 [1-1,5]	
	cancer foie hommes RR=1,3 [0,9-1,8]	
	cancer poumon hommes RR=1,1 [1-1,2]	
Prématurité Malformations congénitales	enfants de faible poids de naissance OR=1,2 [1,04-1,39]	Goldberg, 1995b

Tableau 12 : Différentes pathologies retrouvées chez des salariés* travaillant dans des décharges d'ordures ménagères et/ou de déchets industriels et les résidants proches des sites**.

II.6. CONCLUSION.

Les retentissements sur la santé des activités de l'industrie des déchets sont difficilement détectables dans la population générale, à la fois du fait du manque de spécificité des pathologies engendrées et des multiples expositions possibles, tant au niveau microbiologique qu'au niveau des nombreux composés toxiques produits à l'état de traces.

Il existe une discordance parmi les études réalisées qui prennent en compte soit la contamination dans le secteur des déchets (milieu hautement susceptible d'être contaminé), soit la morbidité des salariés travaillant au contact des ordures ménagères ou des populations établies à proximité des sites ; mais très peu conjuguent de façon simultanée les deux types d'évaluation. Ces études épidémiologiques sont souvent à la limite de la positivité et ne prennent pas toujours en compte tous les facteurs confondants.

Hertzman [Hertzman et al., 1987] et Gelberg [Gelberg, 1997] plus récemment, semblent cependant avoir mis en évidence une fréquence plus élevée, de troubles respiratoires, neurologiques, dermatologiques ou encore gastro-intestinaux, pour les salariés des décharges d'ordures ménagères.

Afin de mieux estimer les risques, une nouvelle approche, basée sur l'évaluation à la fois de l'exposition des travailleurs des sites de déchets et sur les pathologies susceptibles d'être développées, est mise en place : le chapitre suivant rapporte une évaluation de l'exposition atmosphérique, toxicologique et microbiologique, effectuées chez des salariés de deux CET de classe II.

**EVALUATION DE L'EXPOSITION
MICROBIOLOGIQUE ET
TOXICOLOGIQUE DE SALARIES
DE DEUX CENTRES
D'ENFOUISSEMENT TECHNIQUE
DE CLASSE II**

III. EVALUATION DE L'EXPOSITION MICROBIOLOGIQUE ET TOXICOLOGIQUE DE SALARIES DE DEUX CENTRES D'ENFOUISSEMENT TECHNIQUE.

III.1. MATERIEL ET METHODE.

III.1.1. Les sites.

Les critères de choix (Cf. Tableau 13) des sites sont des critères :

- techniques,
- humains,
- et/ou économiques,

définis par les équipes de recherche en fonction des exigences de chacun des experts (toxicologues, biologistes, vétérinaires...).

Concernant la métrologie des salariés, les critères étaient les suivants :

- au plan technique :
 - le nombre de salariés,
 - l'unicité des tâches,
 - la distance pour l'intervention,
 - l'environnement du site,
- au plan humain :
 - l'acceptation par le directeur de la mise à disposition d'une salle,
 - l'acceptation par les salariés du port de pompe.

	CRITERES	
Caractéristiques de base	techniques	Accessibilité à toutes les parties du site et à sa périphérie
		Proportion de déchets (%OM)
		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
		Possibilités d'analyses spécifiques des différentes zones en fonction de leur ancienneté
		Autre activité industrielle de proximité limitante
	humains	Plaintes des populations proches
		Adhésion et collaboration du responsable du centre
Métrologie des salariés	techniques	Nombre de salariés (CET)
		Unicité des tâches
		Distance pour l'intervention
	humains	Acceptation par le directeur - mise à disposition d'une salle - temps de visite médicale (1h30)
		Acceptation par les salariés - port des pompes - prise de sang - tests spéciaux
		Coopération du médecin du travail
		économiques
	Autres	

Tableau 13 : Critères de choix des sites.

III.1.2. Les émissions.

Une première campagne de prélèvements sur chacun des sites a alors pu débuter, elle a concerné le dosage des polluants au niveau des sources d'émission.

- l'alvéole en cours d'exploitation,
- les effluents (biogaz et lixiviats).

III.1.2.1. Les micro-organismes.

Pour les micro-organismes aéroporté, notre but a été d'obtenir une approche qualitative des bactéries et champignons pour évaluer les temps de prélèvements à mettre en place et sélectionner les milieux de culture les plus pertinents pour les prélèvements à réaliser ultérieurement auprès des salariés.

III.1.2.1.1. Les polluants.

Les micro-organismes que nous avons cherchés à mettre en évidence sont :

- la flore bactérienne totale à 30°C,
- les staphylocoques,
- les bactéries Gram-négatif,
- la flore fongique,
- les espèces aspergillaires,
- les actinomycètes thermophiles.

III.1.2.1.2. Les méthodes de prélèvements et d'analyses (Cf. Annexe 1).

Les prélèvements d'air ont été effectués par impacteurs Andersen reliés à une pompe permettant le recueil des micro-organismes viables et cultivables directement sur des milieux de culture gélosés (Cf. Annexe 2).

Afin d'obtenir des résultats exploitables, les prélèvements ont été répétés pour chaque milieu de culture et avec différentes durées de prélèvements

Au niveau des puits et des conduits de drainage du biogaz, les prélèvements ont été effectués buse face au flux. Pour la station d'épuration au niveau du site 2 - seul site à être pourvu d'une station d'épuration - les prélèvements ont été réalisés en ambiance, à proximité des bassins. Tous les autres prélèvements ont été pratiqués sous bâche de façon à concentrer les particules émises.

Une fois les prélèvements effectués, les boîtes de culture ont été mises à incuber. Après incubation, les colonies de micro-organismes ont été dénombrées et identifiées. L'identification a été réalisée par études macroscopique et microscopique par le laboratoire de Médecine du Travail de Grenoble (IUMTE) pour les champignons et par le laboratoire de bactériologie du CHU de Grenoble pour les bactéries.

III.1.2.1.3. La présentation des résultats.

Le volume d'air sous les bâches et la durée de pose de ces bâches ne pouvant être évalués, les résultats des prélèvements ainsi effectués ne seront donnés que de façon semi-quantitative.

Les résultats seront présentés sous forme de graphiques. Les différents points représentés correspondront aux valeurs retrouvées pour chaque prélèvement effectué. Sont initialement

présentés, les résultats des prélèvements à la source pour chaque micro-organisme pour le premier site, puis pour le deuxième site.

III.1.2.2. Les toxiques.

L'estimation des polluants gazeux au niveau de points susceptibles *a priori* d'émettre des toxiques en grande quantité, a été réalisée par le laboratoire Europoll. C'est à partir des toxiques mis en évidence que les polluants recherchés au niveau des salariés sont choisis, en fonction des critères suivants :

- importance des concentrations retrouvées au niveau des émissions,
- toxicité des polluants,
- traceur possible des CET.

III.1.3. L'exposition des salariés.

Une visite des sites, préalable à l'évaluation de l'exposition, a permis de définir les postes à risque potentiel.

Lors d'une réunion préparatoire, le projet et son déroulement ont été présentés en détail avant chaque intervention aux responsables et aux salariés des sites, en présence du médecin du travail.

III.1.3.1. Les micro-organismes.

III.1.3.1.1. Les bactéries et les champignons.

a- Les zones de travail choisies.

Les zones de travail sont choisies en fonction des résultats des prélèvements à l'émission. Il s'agit des zones de travail réception, alvéole, lixiviats.

b- Les polluants recherchés.

Ce sont les mêmes germes que ceux qui ont été cherchés lors de la phase d'émissions, les staphylocoques en moins.

c- Les méthodes de prélèvements et d'analyses (Cf. Annexe 1).

La méthode de prélèvement a été la même que lors de la recherche des émissions à la source. Pour des raisons techniques, les prélèvements ne sont pas effectués individuellement auprès de chaque salarié mais dans l'ambiance de travail proche des salariés et à hauteur de leurs voies respiratoires.

d- La présentation des résultats.

La présentation des résultats sera la même que pour les résultats des prélèvements au niveau des sources.

III.1.3.1.2. Les endotoxines.

a- Les points de prélèvements.

Les points de prélèvements choisis sont l'alvéole et la zone de traitement des lixiviats.

b- Les méthodes de prélèvements et d'analyse (Cf. Annexe 1).

Comme pour les prélèvements microbiologiques, les prélèvements d'endotoxines n'ont pas été effectués, pour des raisons techniques, individuellement auprès de chaque salarié mais dans l'ambiance de travail proche des salariés et à hauteur de leurs voies respiratoires.

L'air a été aspiré au moyen d'une pompe et les prélèvements recueillis sur un filtre.

L'analyse des prélèvements a été effectuée selon la méthode LAL (*Limulus Amebocyte Lysate*) au laboratoire de Microbiologie clinique de l'hôpital universitaire d'Uppsala en Suède.

c- La présentation des résultats.

Les résultats seront présentés sous forme d'un graphique, les différents points représentés correspondent aux valeurs retrouvées pour chaque prélèvement effectué.

III.1.3.2. Les toxiques.

III.1.3.2.1. Les postes de travail choisis.

Afin d'obtenir un échantillonnage permettant de caractériser l'exposition de l'ensemble des salariés travaillant sur la décharge, l'ensemble des postes ou des zones de travail sont étudiés (réception, alvéole, effluents).

III.1.3.2.2. Les polluants recherchés.

Les polluants que nous avons cherchés à mettre en évidence sont :

- pour la phase particulaire :

- les particules inhalables ou poussières totales,
- les particules ou poussières alvéolaires (diamètre < 5µm),
- les métaux : plomb, manganèse, cadmium, nickel, chrome,
- les HAP et notamment les HAP cancérigènes tels que le B(a)P, le B(a)A, le D(a,h)A, B(b)F, le B(k)F,

- pour la phase gazeuse :

- les COV : les alcools, les hydrocarbures oxygénés (acétone et éther), les hydrocarbures cycliques, les hydrocarbures aliphatiques, les hydrocarbures chlorés, les HAM,
- les aldéhydes.

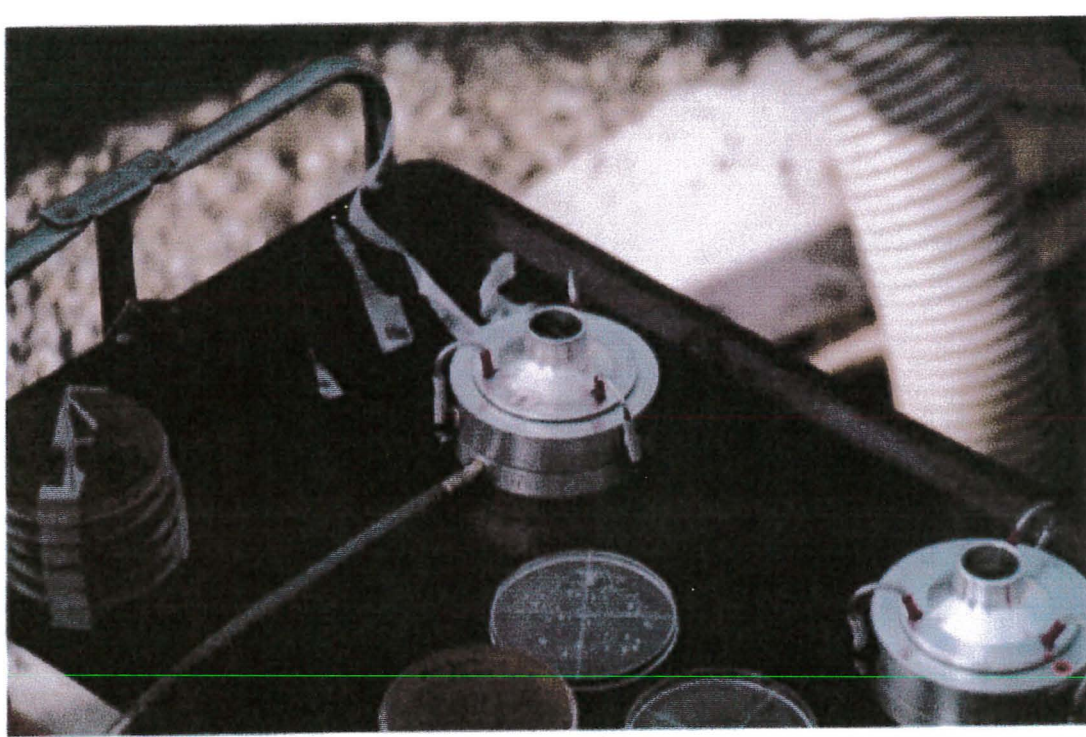
III.1.3.2.3. Les méthodes de prélèvements et d'analyses.

Deux types de prélèvements ont été réalisés : des prélèvements portatifs individuels pour les salariés et des prélèvements d'ambiance pour les zones de travail caractéristiques. Ces prélèvements ont été réalisés sur une fraction représentative de l'activité journalière afin de pouvoir estimer le risque en fonction de la VME.

Pour chaque sujet un questionnaire a été réalisé concernant les activités du jour et/ou les incidents survenus. Nous avons demandé aux agents de ne pas fumer pendant toute la durée des prélèvements. Après quoi, chaque salarié a été équipé de deux pompes autonomes portatives (petit boîtier d'environ 600 g, fixé à la ceinture), reliées aux supports de piégeage qui sont placés au voisinage des voies respiratoires. Le débit de chaque pompe a été réglé et vérifié en début de poste.

Durant la même période, les prélèvements en ambiance ont été effectués par l'intermédiaire des mêmes pompes posées à poste fixe, mais toujours à hauteur des voies respiratoires.

Les prélèvements et les analyses ont été réalisées conformément aux normes AFNOR (Cf. Annexe 3) par le Laboratoire de Médecine du Travail et Toxicologie de l'IUMTE de Grenoble.



Un impacteur Andersen et des milieux gélosés.



Un conducteur d'engins de l'alvéole portant une pompe de prélèvement individuel.

III.1.3.2.4. La présentation des résultats.

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

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

Par ailleurs, dans un premier temps, les résultats des prélèvements des conducteurs d'engins travaillant sur les alvéoles seront comparés pour chaque site. Dans un deuxième temps, les résultats des prélèvements des conducteurs d'engins de l'alvéole du site 2 seront 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 sera utilisé pour la comparaison de chacun des deux groupes.

III.1.4. Les conditions d'intervention.

III.1.4.1. L'activité des sites.

Le nombre de transactions journalières, le tonnage ainsi que la répartition des déchets ont été fournis par les agents de la réception.

III.1.4.2. Les conditions météorologiques.

Les constantes météorologiques ont été fournies par la station de Météo-France.

Nous avons cherché à obtenir la direction et la vitesse maximale du vent, l'appréciation globale du temps, les valeurs des précipitations éventuelles, les températures minimales et maximales de l'air sous abri, la pression atmosphérique, les pourcentages d'humidité minimale et maximale dans l'air.

III.2. LES RESULTATS.

III.2.1. La présentation des sites.

Une fois le projet accepté par les différents partenaires, sur les quatre CET de classe II proposés par les industriels concernés par l'étude, les deux sites jugés les plus pertinents selon les critères préalablement sélectionnés ont été choisis. (Cf. Tableau 14)

	Site 1	Site 2
Début d'exploitation	1976	1972
Décharge contrôlée	1989	1979
Centre d'Enfouissement Technique (CET)	1992	1994
Fin d'exploitation estimée	2010	2030
Superficie (en hectares)	15	62,5
Direction des vents dominants	Nord-Sud ou Sud-Nord	Nord-Sud
Quantité de déchets reçus (en tonnes en 1997)	123628	385000
Pourcentage d'OM	63,8	54,5
Pourcentage de DIB	12,4	31,3
Autres déchets	Refus de tri de déchetterie et de compostage Boues de STEP Mâchefers	Boues de STEP Amiante ciment
Nombre moyen de transactions par jour	60 à 70 camions	150 camions
Lixiviats	Drainage vers une citerne de 80 m ³ , puis évacuation en station d'épuration	Drainage vers une station d'épuration interne au site
Biogaz	Système de captage par 33 puits sur 3 lignes, incinération au niveau de 2 torchères de 1000 m ³ /h	Système de captage par réseaux et puits, incinération au niveau de 6 torchères de 6000 m ³ /h Valorisation thermoélectrique
Autres activités à proximité	Autoroute au nord Elevage de volailles en batterie au sud-ouest	Récupération de métaux avec brûlage des plastiques au sud
Distance des premières habitations	250 mètres au sud	150 mètres au nord
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

Tableau 14 : Principales caractéristiques de chacun des deux sites.

Les deux sites sélectionnés ont été les sites nommés site 1, il correspond au premier site étudié du point de vue chronologique, le deuxième site étant le site 2.

III.2.2. Les conditions d'intervention.

III.2.2.1. Le déroulement de l'étude.

III.2.2.1.1. La caractérisation des émissions.

Pour le site 1, l'intervention s'est déroulée le 16 juillet 1998.

Pour le site 2, l'intervention s'est déroulée le 28 juillet 1998.

III.2.2.1.2. La métrologie des salariés.

Pour le site 1 l'intervention s'est déroulée au cours :

- de 2 journées consécutives, les 19 et 20 octobre 1998 pour les prélèvements microbiologiques,
- de 4 journées consécutives, les 19, 20, 21 et 22 octobre 1998 pour les prélèvements toxicologiques.

Pour le site 2 l'intervention s'est déroulée au cours :

- de 2 journées consécutives, les 24 et 25 mars 1999 pour les prélèvements microbiologiques,
- de 3 journées consécutives, les 23, 24 et 25 mars 1999 pour les prélèvements toxicologiques.

III.2.2.2. L'activité des sites. (Cf. Tableaux 15 et 16)

Le jour où nous sommes intervenus pour réaliser les prélèvements atmosphériques, l'activité de chacun des sites se décomposait comme suit :

Pour le site 1.

	Nombre de transactions	Tonnage de déchets
journée du 19/10/98	95	483,74 dont 67,86 % d'OM 9,96 % de DIB
journée du 20/10/98	70	442,34 dont 52,25 % d'OM 20,32 % de DIB
journée du 21/10/98	82	467,98 dont 43,19 % d'OM 21 % de DIB
22/10/98 de 7 heures à 12 heures	57	165,54 dont 57,38 % d'OM 8,22 % de DIB

Tableau 15 : Transactions, tonnage et répartition des déchets lors des prélèvements atmosphériques toxicologique et microbiologique sur le site 1.

Pour le site 2.

	Nombre de transactions	Tonnage de déchets
23/03/99	176	1131,4 dont 39,29 % d'OM 38,37 % de DIB
24/03/99	171	1121,82 dont 26,91 % d'OM 45,42 % de DIB
25/03/99	153	1119,75 dont 34,2 % d'OM 39,8 % de DIB

Tableau 16 : Transactions, tonnage et répartition des déchets lors des prélèvements atmosphériques toxicologique et microbiologique sur le site 2.

III.2.2.3. Les conditions météorologiques. (Cf. Tableaux 17 et 18)

Pour le site 1.

Date	Direction du vent	Vitesse maximum du vent (m/s)	Précipitations (ml)	Temps	Température (°C) min-max	Pression atmosph	Humidité (%) min-max
19/10/98	N	317	0	nuageux	9,6-15	-	50-86
20/10/98	N-NO	267	0	ensoleillé	6,8-15,5	-	47-92
21/10/98	S	250	0	ensoleillé	1,2-18,2	-	47-97
22/10/98	S	234	0	ensoleillé	4,5-18,9	-	57-93

Tableau 17 : Conditions météorologiques lors des prélèvements atmosphériques toxicologique et microbiologique sur le site 1.

Pour le site 2.

Date	Direction du vent	Vitesse maximum du vent (m/s)	Précipitations (ml)	Temps	Température (°C) min-max	Pression atmosph (hPa)	Humidité (%) min-max
23/03/99	N-O	300	0	très nuageux, à couvert	2,7-9	1019	73-99
24/03/99	S	900	0	ensoleillé	1,9-20,3	1013	21-99
25/03/99	S	1267	0	très nuageux, à couvert	9,1-14,1	1005	42-83

Tableau 18 : Conditions météorologiques lors des prélèvements atmosphériques toxicologique et microbiologique sur le site 2.

III.2.3. L'exposition atmosphérique microbiologique.

III.2.3.1. A l'émission.

III.2.3.1.1. La description des sources.

Les points de prélèvements au niveau des sources ont été les suivants :

Pour le site 1.

- l'alvéole en cours d'exploitation, deux points de prélèvements ont été sélectionnés. Le premier point se situe au niveau de déchets déposés le jour même, le deuxième au niveau de déchets déposés depuis 10 jours, appelés respectivement « déchets 1j » et « déchets 10j »,
- une zone de résurgence des lixiviats appelée « lixiviats »,
- des fissures émettant des odeurs de biogaz avec deux points de prélèvements, appelés « fissure A » et « fissure B »,
- à l'intérieur de conduits de biogaz appelé « conduit biogaz ».

Pour le site 2.

- une alvéole dont l'exploitation est terminée. Recouverte, elle bénéficie d'un engazonnement, appelée « alvéole fermée »,
- l'alvéole en cours d'exploitation au niveau de déchets déposés depuis 4 jours, appelée « déchets 4j »,
- à l'intérieur de conduits de biogaz appelé « conduit biogaz »,

- au niveau de différents bassins de la station d'épuration, appelés « bassin d'anoxie », « fosse à boues », « bassin d'aération » et « lagune ».

Pour chaque site, un point de mesure, destiné à évaluer l'émission liée au terrain lui-même, nommé « terrain » est réalisé au niveau du sol, à distance de toutes sources de pollution potentielle.

III.2.3.1.2. Les micro-organismes.

a- Les bactéries. (Cf. Graphiques 5 et 6)

Pour le site 1.

Au niveau du **terrain** (point d'émission lié au terrain), les concentrations sont faibles, d'ordre de grandeur 10^2 CFU/m³.

Des concentrations plus élevées de l'ordre de 10^3 CFU/m³ sont mises en évidence au niveau des déchets entreposés sur l'**alvéole** et de la zone de résurgence des **lixiviats**, avec des niveaux bactériens supérieurs pour les déchets âgés de 10 jours (3 à $5,8 \cdot 10^3$ CFU/m³) par rapport à ceux déposés la veille de l'intervention ($1,7$ à $2,4 \cdot 10^3$ CFU/m³).

Les concentrations les plus élevées ($>10^4$ CFU/m³) sont retrouvées dans le **biogaz**, au niveau des prélèvements réalisés auprès des fissures et dans les conduits de biogaz.

D'un point de vue qualitatif, ce sont les bactéries Gram positif qui sont largement prédominantes au niveau de l'ensemble des points de prélèvements ; les genres et espèces identifiés (*Bacillus* sp., Corynébactéries, Microcoques, Staphylocoques coagulase négatif) sont classiques d'un environnement extérieur. Les quantités de Gram négatif sont cependant importantes au niveau du biogaz (fissure B : 60%, conduit de biogaz : 12%) pouvant atteindre $9 \cdot 10^3$ CFU/m³ et des lixiviats (13%) avec $6 \cdot 10^2$ CFU/m³ ; par ailleurs ces bacilles Gram négatif ne sont pas retrouvés au niveau du terrain.

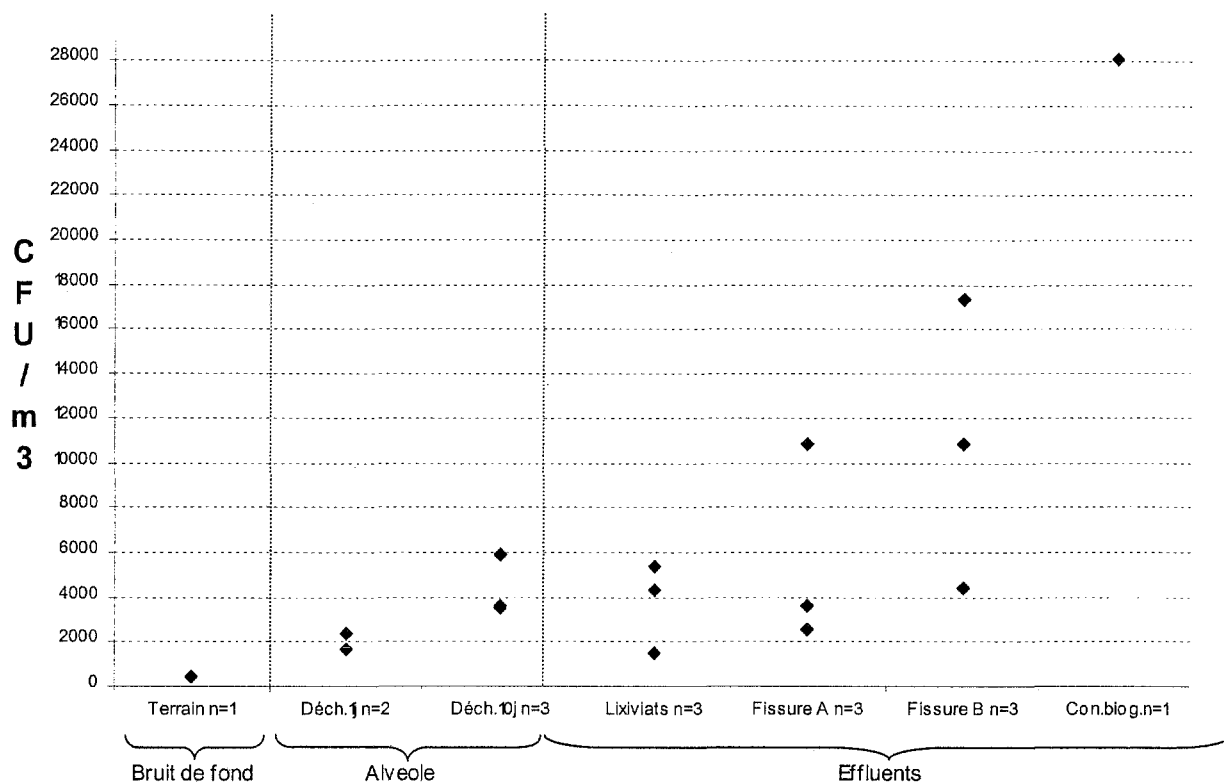
Pour le site 2.

Les concentrations sont très importantes au niveau des déchets entreposés sur l'**alvéole**, dépassant $1,7 \cdot 10^5$ CFU/m³. Au niveau de l'alvéole fermée et des **lixiviats** de la lagune de la station d'épuration les concentrations sont de l'ordre de 10^4 CFU/m³ pour atteindre 10^3 CFU/m³ au niveau du conduit de **biogaz**. Pour les autres points de prélèvements de la station d'épuration et pour le **terrain**, les concentrations sont de l'ordre de 10^2 CFU/m³.

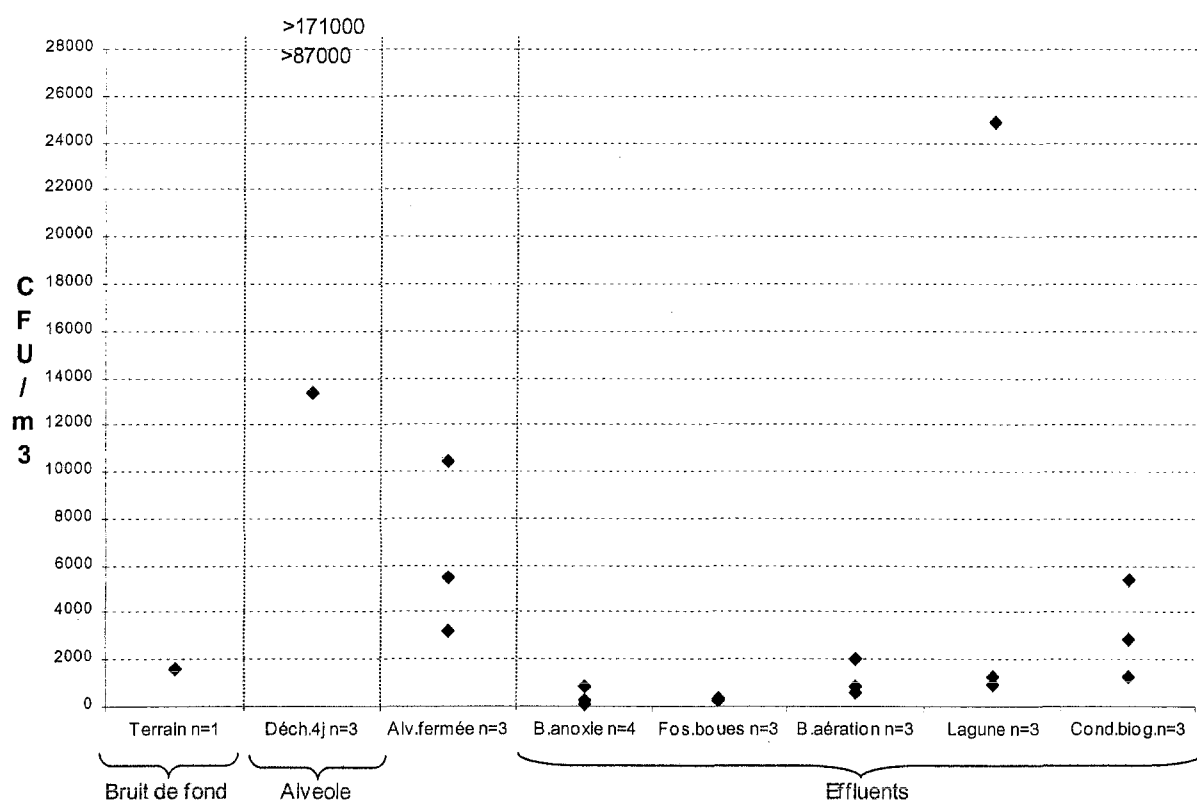
D'un point de vue qualitatif, les bactéries Gram positif sont là encore prédominantes pour l'ensemble des points de prélèvements - et de même nature que pour le site 1 - à l'exception de

la station d'épuration où les bacilles Gram négatif sont en nombre important. Au niveau de la lagune, le taux de bactéries Gram-négatif atteint 70 %, soit $8,4.10^3$ CFU/m³ ; pour les bassins d'anoxie, de la fosse à boues et du bassin d'aération, les concentrations sont de l'ordre de 4.10^3 CFU/m³.

Pour les deux sites, les staphylocoques ont été retrouvés - tant au niveau quantitatif que qualitatif - aussi bien sur le milieu de culture sélectif destiné à favoriser la multiplication de ces micro-organismes, que sur celui choisi pour recueillir les bactéries totales. Nous avons donc choisi de ne pas utiliser le milieu sélectif pour la phase d'évaluation de l'exposition des salariés.



Graphique 5 : Concentrations bactériennes au niveau des sources sur le site 1.



Graphique 6 : Concentrations bactériennes au niveau des sources sur le site 2.

b- Les actinomycètes thermophiles.

Pour le site 1.

Détectés au niveau des déchets entreposés sur l'**alvéole** et du **biogaz** (fissure B), leurs concentrations ne dépassent pas 4.10^2 CFU/m³.

Pour le site 2.

Détectés de façon inconstante au niveau des déchets entreposés sur l'**alvéole**, ils atteignent $1,3.10^3$ CFU/m³.

c- Les champignons. (Cf. Graphiques 7 et 8)

Pour le site 1.

Au niveau du **terrain** et pour les déchets entreposés sur l'**alvéole** et datés de 1 jour les concentrations sont de l'ordre de 10^2 CFU/m³.

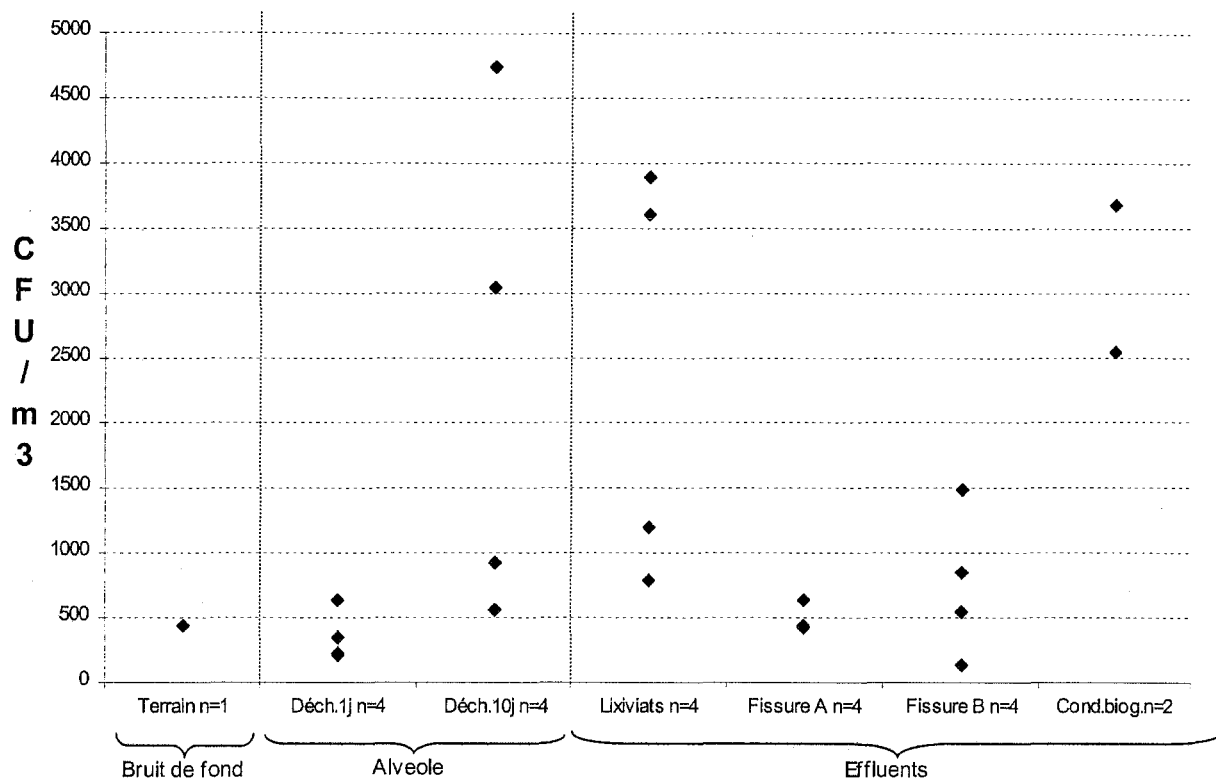
Des concentrations dépassant 10^3 CFU/m³ sont retrouvées au niveau des déchets entreposés sur l'**alvéole** et âgés de 10 jours, du **biogaz** (fissures A et B, conduit de biogaz), des **lixiviats**.

Qualitativement, il existe une nette prédominance d'*Aspergillus fumigatus* (de 80 à 100%) à la fois au niveau du conduit de biogaz et des déchets de 10 jours. Pour les déchets du jour la flore est plus polymorphe ; les espèces fongiques majoritairement retrouvées(50%) sont *Penicillium* sp. et *Aspergillus fumigatus*. Au niveau du terrain, des lixiviats et des fissures, *Alternaria*, champignon classique de l'environnement extérieur, prédomine (60 à 100%).

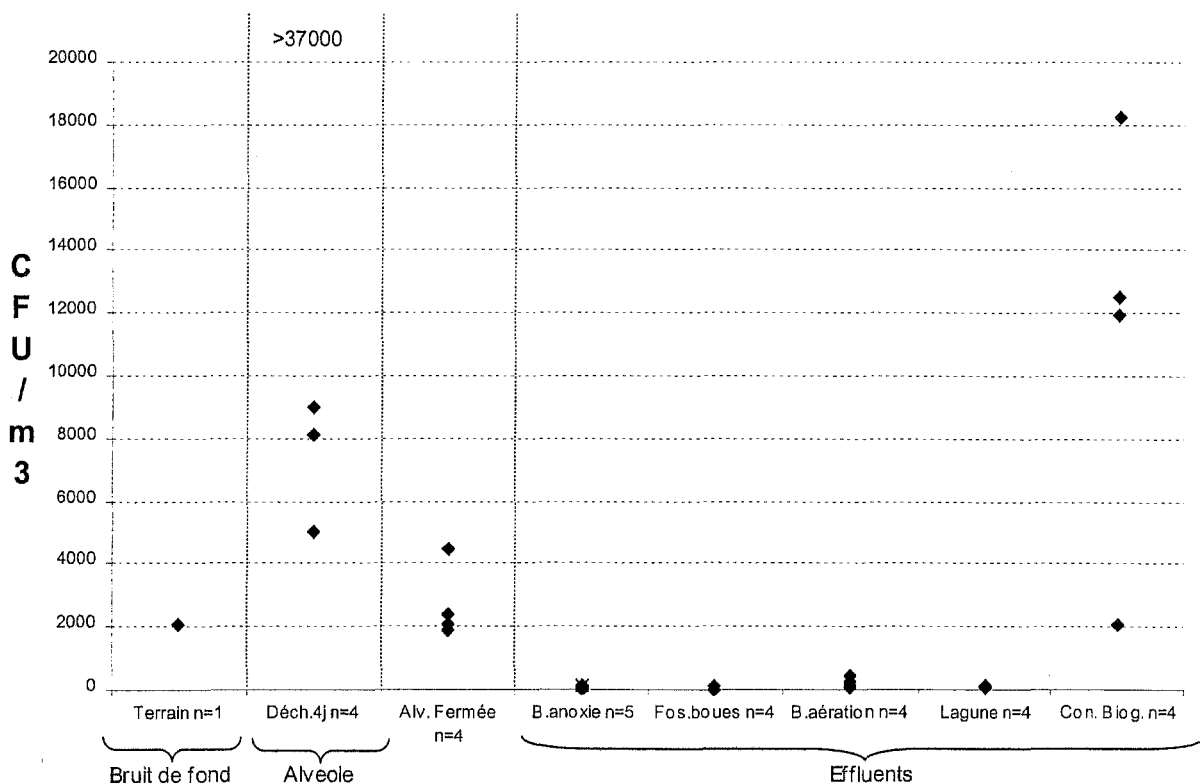
Pour le site 2.

Comme pour les bactéries, la concentration la plus importante est retrouvée au niveau des déchets entreposés sur l'**alvéole** avec un taux de $3,7.10^4$ CFU/m³. Au niveau du conduit de **biogaz**, les concentrations sont de l'ordre de 10^4 CFU/m³, et de 10^3 CFU/m³ pour le **terrain** et l'**alvéole fermée**. Les concentrations au niveau des **lixiviats** de la station d'épuration ne dépassent pas 5.10^2 CFU/m³.

Qualitativement, dans les déchets et le biogaz, où les niveaux de concentrations sont les plus élevés, c'est *Aspergillus fumigatus* qui prédomine (50 à 100%) sur l'ensemble des prélèvements à l'exception d'un prélèvement au niveau du conduit de biogaz où il n'existe que *Penicillium* sp. Le reste de la flore fongique est constitué de *Rhizopus*, *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger* et *Penicillium*. Au niveau du terrain la flore fongique est polymorphe. Sur l'alvéole fermée, les *Aspergillus* sont pratiquement exclusifs et appartiennent aux espèces *Aspergillus ustus*, *Aspergillus flavus*, *Aspergillus nidulans*, *Aspergillus fumigatus*...



Graphique 7 : Concentrations fongiques au niveau des sources sur le site 1.



Graphique 8 : Concentrations fongiques au niveau des sources sur le site 2.

III.2.3.2. Au niveau des salariés.

III.2.3.2.1. La description des zones de travail.

a- Les micro-organismes.

Pour le site 1.

Trois zones de travail caractéristiques ont été choisies :

- la zone bascule – réception, à l'intérieur du bureau,
- la zone alvéole. Deux points de prélèvements situés au centre de l'alvéole, distants d'une trentaine de mètres. Le premier point de prélèvements est appelé « alvéole point 1 », il était situé plus près des camions en activité que le deuxième point nommé « alvéole point 2 »,
- la zone lixiviats. Ce lieu correspond à l'endroit où sont pompés les lixiviats avant d'être emmenés en station d'épuration à l'aide d'un camion citerne. Les prélèvements ont été réalisés en cours ou à l'arrêt du pompage.

Pour le site 2.

Quatre zones de travail caractéristiques ont été choisies :

- la zone bascule – réception, à l'intérieur du bureau,
- la zone alvéole avec à nouveau deux points de prélèvements choisis à la périphérie de l'alvéole en cours d'exploitation. Le premier point de prélèvement est appelé « alvéole point 1 », il était situé lui aussi plus près des camions en activité que le deuxième point de prélèvement nommé « alvéole point 2 ». Compte tenu de leur disposition et de la présence importante de vent le jour du prélèvement, nous précisons que le deuxième prélèvement a été réalisé au vent alors que le premier point était situé sous le vent de l'alvéole et des camions en train de décharger,
- une zone à proximité d'un puits de biogaz fermé appelé mais non encore raccordé au système de drainage « biogaz », situé à la périphérie de l'alvéole en exploitation à 10 mètres du point 1,

- la zone lagune de la station d'épuration avec deux points de prélèvements choisis du fait de la présence de rafales de vent. Le premier autour de la lagune, au vent, il a été appelé « STEP 1 » ; le deuxième sous le vent a été nommé « STEP 2 ».

Des mesures ont aussi été effectuées sur les deux sites, au niveau d'une zone appelée « témoin », située au vent et à l'extérieur de l'enceinte générale des CET, donc non influencée par l'activité du site. Ce point de référence est destiné à différencier la part d'aérocontamination liée au site lui-même, de celle de l'environnement.

b- Les endotoxines.

Les prélèvements d'endotoxines ont été réalisés sur chacun des deux sites, au centre de l'alvéole, consécutivement deux jours de suite.

Pour le site 2, deux prélèvements sont aussi réalisés sur deux jours au niveau de la station d'épuration, à proximité de la lagune.

III.2.3.2.2. Les niveaux atmosphériques.

a- Les bactéries. (Cf. Graphiques 9 et 10)

Pour le site 1.

Quantitativement (concentrations moyennes obtenues de 4.10^2 CFU/m³), la flore bactérienne retrouvée au niveau du point **témoin** peut être considérée comme normale. Au niveau qualitatif, il s'agit d'une flore bactérienne polymorphe (microcoques, *Bacillus* sp., staphylocoques coagulase négative, corynébactéries), classique pour un environnement extérieur.

Bien que la flore retrouvée soit polymorphe, pour la **réception**, les concentrations sont importantes, elles varient entre $2,5.10^3$ et 5.10^3 CFU/m³. Les bactéries sont de type Gram positif mais des bacilles Gram négatif sont aussi présents (*Pantoea agglomerans*, *Brevundimonas vesicularis*) à des taux de 2.10^3 CFU/m³.

Pour l'**alvéole** en cours d'exploitation, les prélèvements réalisés au centre et en périphérie de l'alvéole sont comparables. Les concentrations sont variables dans le temps et comprises entre 3.10^2 et 2.10^4 CFU/m³. Qualitativement, les bactéries recensées sont de type environnemental avec malgré tout la présence constante de bacilles Gram négatif (*Serratia marcesens*, *Pantoea agglomerans*) avec un taux maximum de 4.10^2 CFU/m³.

Au niveau des **lixiviats**, 3 prélèvements retrouvent des taux moyens de 10^3 CFU/m³ avec près de la moitié de bacilles Gram négatif (*Enterobacter aerogenes*, *Sphingomonas paucimobilis*). Durant le quatrième prélèvement, l'arrêt du pompage des lixiviats a entraîné un relargage important de bactéries Gram positif dépassant 3.10^4 CFU/m³.

Pour le site 2.

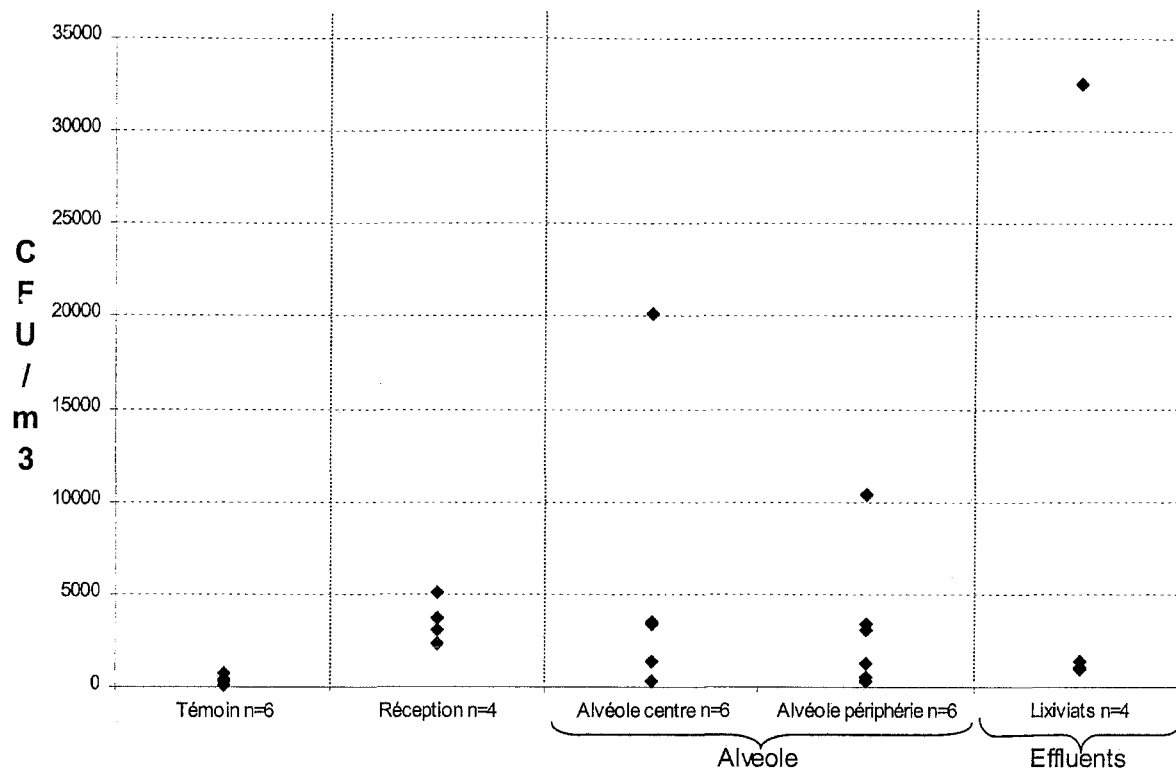
Les concentrations bactériennes sont relativement importantes pour le **témoin** puisqu'elles varient de 5.10^2 CFU/m³ à 2.10^3 CFU/m³. Majoritairement composées de bactéries Gram positif (*Bacillus* sp., staphylocoques coagulase négative, corynébactéries), il existe cependant des bactéries Gram négatif, toutes du genre *Neisseria* saprophytes.

Les concentrations bactériennes dans le local de la **réception** sont importantes et dépassent 7.10^3 CFU/m³, composées essentiellement de bactéries Gram positif, des concentrations de bacilles Gram négatif de près de 10^3 CFU/m³ ont été détectées.

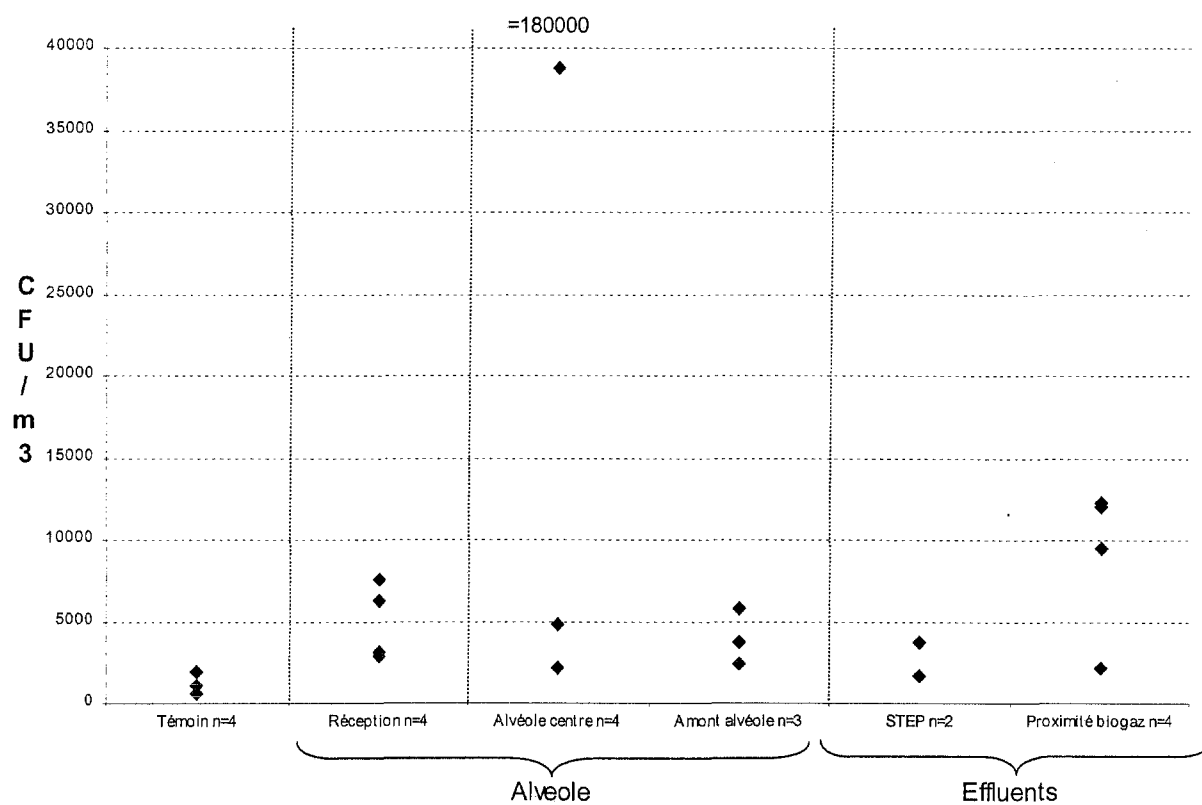
Pour l'**alvéole** en cours d'exploitation, le premier point prélevé, sous le vent, retrouve des concentrations très variables au cours du temps qui s'étalent de 2.10^3 à $1,8.10^5$ CFU/m³. Cette dernière concentration, très élevée, correspond à un prélèvement réalisé alors qu'un camion, distant de 5 à 10 mètres déchargeait des déchets déchiquetés dégageant de la vapeur, ce qui permet de rendre compte des pics d'émissions possibles, émission très dépendante de l'activité du site. Au point de vue qualitatif, la flore est composée de bactéries Gram positif polymorphes (staphylocoques coagulase négative, *Bacillus* sp., microcoques, corynébactéries) mais comprend aussi de 3 à 7.10^2 CFU/m³ bacilles Gram négatif. Au niveau du deuxième point, au vent cette fois, les concentrations sont plus homogènes et de l'ordre de 4.10^3 CFU/m³, d'autre part, il n'est pas retrouvé de bacilles Gram négatif.

Deux points de prélèvement ont été choisis autour de la **lagune** de la station d'épuration. Le prélèvement réalisé au vent comporte une concentration bactérienne de $1,7. 10^3$ CFU/m³ 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*).

Au niveau du **biogaz**, les concentrations en bactéries totales varient de 2.10^3 à $1,2.10^4$ CFU/m³ avec des concentrations relativement importantes, atteignant 10^3 CFU/m³, de bacilles Gram négatif polymorphes (*Pasteurella pneumotropica*, *Ochrobactrum anthropi*, *Stenotrophomonas maltophilia*).



Graphique 9 : Concentrations bactériennes d'ambiance sur le site 1.



Graphique 10 : Concentrations bactériennes d'ambiance sur le site 2.

b- Les actinomycètes thermophiles.

Pour le site 1.

Aucun actinomycète thermophile n'a été retrouvé parmi les prélèvements où ils ont été recherchés.

Pour le site 2.

Quelques actinomycètes thermophiles ont été détectés de manière inconstante, à des concentrations de l'ordre 1.10^2 CFU/m³ au niveau des prélèvements réalisés sous le vent, sur l'alvéole.

c- Les champignons. (Cf. Graphiques 11 et 12)

Pour le site 1.

Au niveau du point **témoin**, les quantités de champignons retrouvées sont aussi normales avec des concentrations moyennes de 3.10^2 CFU/m³. En qualité, la flore est polymorphe et composée de genres ou d'espèces habituellement trouvés dans l'environnement extérieur (*Cladosporium*, *Alternaria*, *Epicoccum*, *Penicillium*, *Conidiobolus*, *Mycelia sterilia*...).

Pour la **réception**, les concentrations fongiques sont très variables, variant de 2.10^2 CFU/m³ avec une flore relativement normale, polymorphe jusqu'à $3,5.10^3$ CFU/m³ avec 90% d'*Aspergillus fumigatus*.

Sur l'**alvéole** en cours d'exploitation, les concentrations sont comparables pour les deux points de prélèvements, elles sont comprises entre 2.10^2 et $2,5.10^3$ CFU/m³. Les genres et espèces fongiques retrouvés et leur proportion sont variables selon le moment du prélèvement (*Aspergillus fumigatus* de 30 à 70%, *Cladosporium* de 20 à 50%, *Pénicillium* de 20 à 95%, *Alternaria*, *A. niger*, *flavus*, *terreus*, *ochraceus*...).

Comme pour les bactéries, il est constaté un relargage important de champignons filamenteux au niveau des **lixiviats** lors de l'arrêt du pompage avec des concentrations supérieures à 4.10^3 CFU/m³. La flore est polymorphe et de même nature (*Cladosporium*, *Alternaria*, *Penicillium*) pendant le pompage et à l'arrêt.

Pour le site 2.

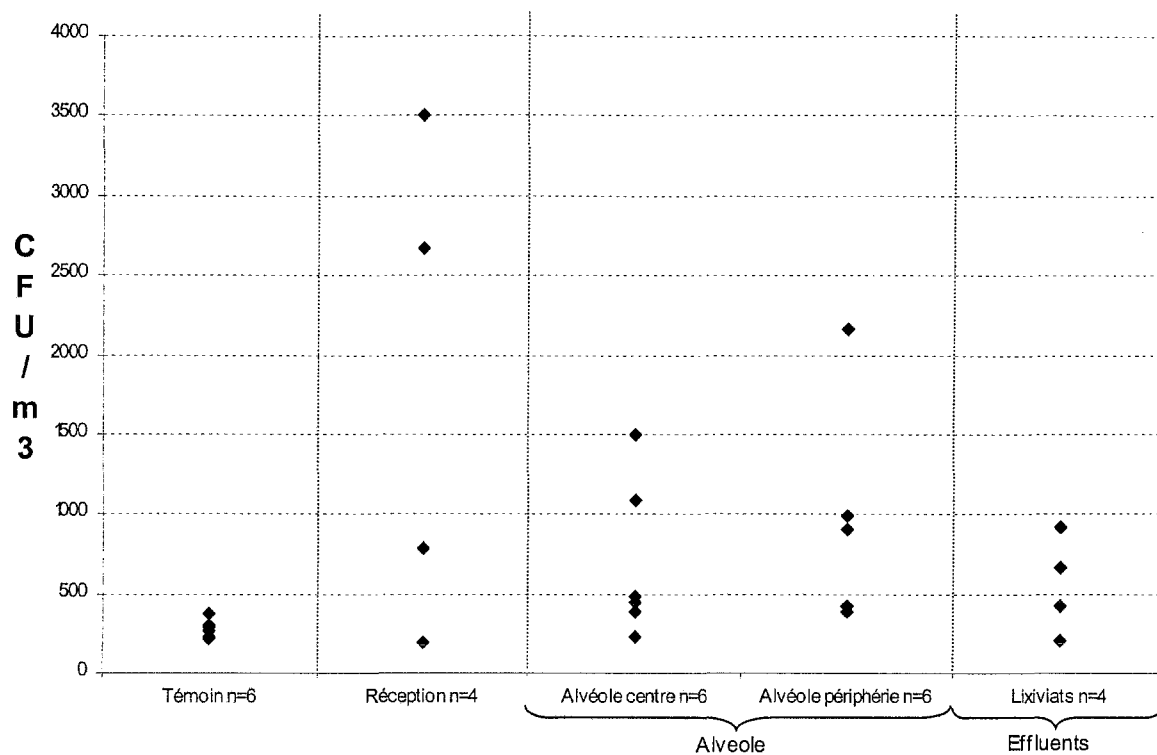
Au niveau du **témoin**, la flore fongique apparaît comme normale tant d'un point de vue quantitatif (concentrations de 2.10^1 à $2,5.10^2$ CFU/m³) que qualitatif (flore polymorphe : *Penicillium*, *Mycelia sterila*, *Cladosporium*, *Scedosporium*, *Verticillium*, *Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus niger*...).

Pour la **réception**, les concentrations sont comprises entre $1,5$ et 8.10^2 CFU/m³, le genre *Penicillium* est majoritaire (de 40 à 80%) et représenté par différentes espèces.

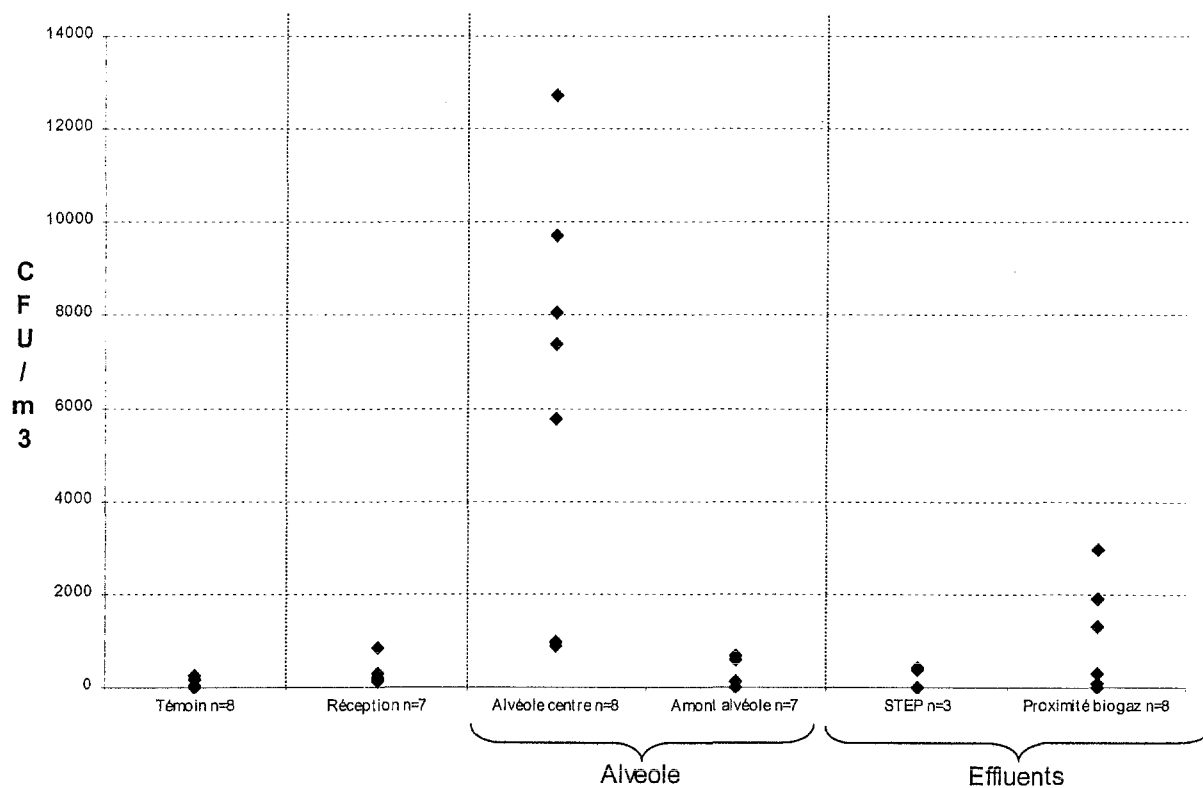
Sur l'**alvéole** exploitée, sous le vent, il existe des quantités élevées de levures qui peuvent atteindre 10^4 CFU/m³; cette présence ne ressortait pas au niveau des autres points de prélèvements. D'un point de vue quantitatif, les concentrations de champignons filamenteux sont élevées (de 4.10^2 à $1,3.10^4$ CFU/m³) avec une prédominance du genre *Penicillium* (40 à 100%), les plus fortes concentrations mesurées correspondant exclusivement à du *Penicillium*. Les concentrations fongiques sont moindres, de l'ordre de 5.10^2 CFU/m³ pour le point situé au vent. Qualitativement les champignons sont polymorphes et identiques au point témoin, ce qui est logique compte tenu de l'emplacement des prélèvements par rapport à l'alvéole et de la direction du vent qui était violent et avec de fortes rafales les jours de prélèvements.

Les deux points de prélèvements de la **lagune** de la station d'épuration ont des taux semblables, de l'ordre de 4.10^2 CFU/m³ avec une flore caractéristique d'un environnement extérieur.

Au niveau du **biogaz**, des levures et des champignons sont retrouvés en proportion similaire avec des concentrations qui varient entre 2.10^3 et $1,2.10^4$ CFU/m³. Qualitativement, le genre *Penicillium* est prédominant mais non isolé.



Graphique 11 : Concentration fongique d'ambiance sur le site 1.



Graphique 12 : Concentration fongique d'ambiance sur le site 2.



d-. Les endotoxines. (Cf. Graphique 13)

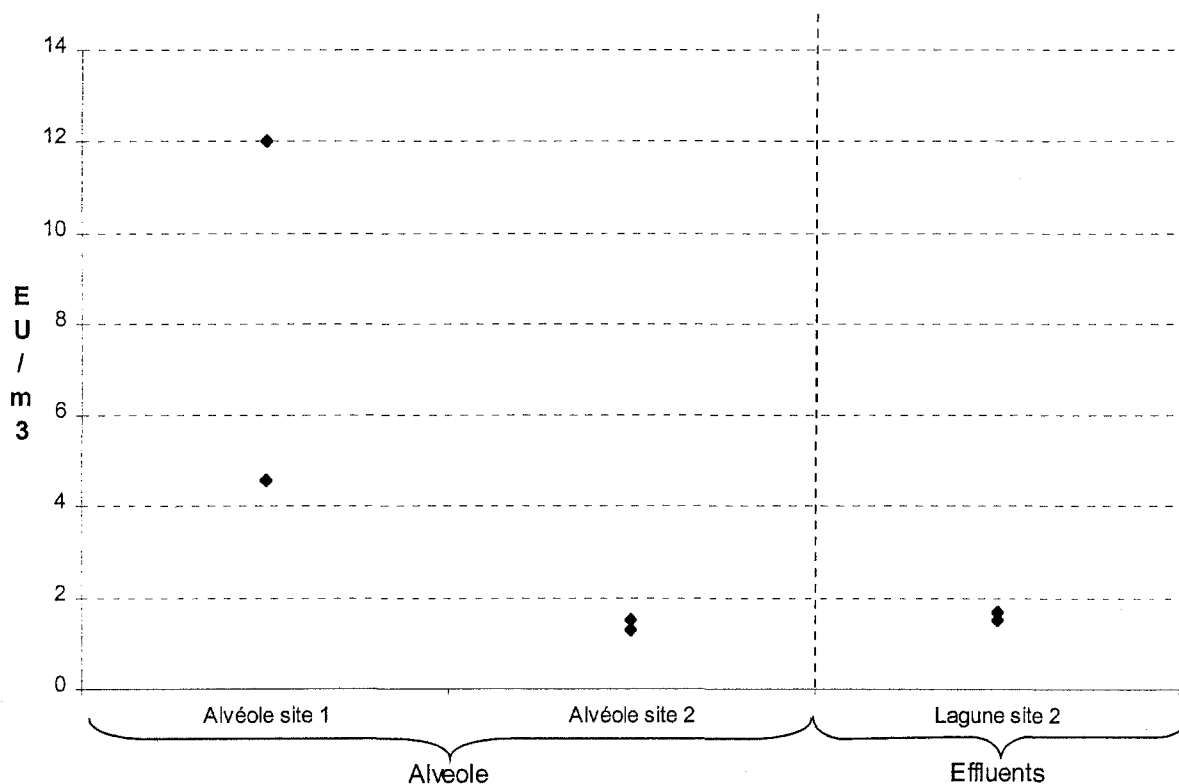
Pour le site 1.

Les deux prélèvements réalisés au centre de l'alvéole retrouvent des taux de 4,6 et 12 EU/m³.

Pour le site 2.

Les prélèvements provenant de l'alvéole retrouvent deux valeurs très proches, 1,3 et 1,5 EU/m³.

Les résultats des prélèvements réalisés à proximité de la lagune, du même ordre, révèlent des taux de 1,5 et 1,7 EU/m³.



Graphique 13 : Concentrations d'endotoxines sur les sites 1 et 2.

III.2.4. L'exposition atmosphérique toxicologique.

III.2.4.1. La description des postes de travail.

Les postes de travail ont été choisis de façon à obtenir un échantillonnage permettant de caractériser l'exposition de l'ensemble des salariés.

Pour le site 1.

L'évaluation des niveaux d'exposition atmosphérique toxicologique a été réalisée au niveau des postes de sept des neuf salariés du site 1.

Ces salariés travaillent à la journée, il s'agit :

- de l'agent à la bascule – réception.

Le poste de travail est situé dans un local, où, dès l'entrée du site, différentes données sont recueillies telles que le tonnage de déchets par camion (ce tonnage est estimé par l'intermédiaire d'un pont à bascule où les camions doivent stationner le temps nécessaire à la pesée), la vérification du type et de l'origine des déchets. L'agent note toutes les transactions, vise les documents présentés par les chauffeurs qui entrent et sortent par la porte du bureau,

- de trois conducteurs d'engins.

On dénombre quatre salariés susceptibles d'être conducteurs d'engins, mais seules trois personnes travaillent en permanence sur l'alvéole en cours d'exploitation.

La quatrième personne remplace l'un des trois conducteurs d'engins durant les périodes de congés ou bien devient polyvalent si l'effectif des salariés de l'alvéole exploitée est au complet. Son activité est alors similaire à celle de l'agent polyvalent.

Les postes de travail sur l'alvéole en cours d'exploitation se composent :

- * d'un conducteur d'engins qui conduit une chargeuse à chenille. Son travail consiste à étaler les déchets lorsqu'ils ont été déversés sur l'alvéole, puis à contrôler la nature de ces déchets. Il doit alors descendre de son engin et inspecter la masse de déchets,
- * de deux conducteurs d'engins qui travaillent sur des compacteurs, l'un à godets, l'autre à « pieds-de-mouton ». Ils sont chargés de compacter au mieux les déchets une fois qu'ils ont été étalés et vérifiés. Le compactage se fait par des allers-retours successifs sur l'alvéole,

- de deux agents polyvalents.

Ils interviennent sur tout le site, assurant l'entretien et la maintenance des installations. Ils sont donc amenés à réaliser des activités très diverses telles que de la peinture, le ramassage des papiers qui se sont envolés à partir de l'alvéole en cours d'exploitation, le pompage des lixiviats au niveau des drains...

- de l'agent lixiviât.

Il est chargé de pomper les lixiviats collectés dans l'une ou l'autre des deux citernes de stockage à l'aide d'un groupe électrogène, puis de les évacuer par camion-citerne vers une station d'épuration située à une dizaine de kilomètres du site.

Quatre zones de travail caractéristiques ont été sélectionnées :

- la zone « alvéole ».

C'est l'alvéole même,

- la zone « torchère ».

Cette zone est située à côté des deux torchères du site et à proximité du passage des camions,

- la zone « lixiviats ».

Il s'agit d'une zone où les lixiviats sont pompés d'une citerne de collecte jusqu'à la cuve du camion-citerne. Ce pompage est réalisé par l'intermédiaire d'un groupe électrogène. Les prélèvements sont réalisés en cours ou à l'arrêt du pompage,

- la zone témoin.

Située au dessus de la salle de conférence et de la voie d'accès à l'alvéole, elle a été dénommée « talus ».

Pour le site 2.

L'évaluation des niveaux d'exposition atmosphérique toxicologique a été réalisée au niveau des postes de douze des quinze salariés du site 2.

Cinq salariés travaillent à la journée, il s'agit :

- du vérificateur.

Cet agent dirige les camions, surveille et contrôle tous les déchargements ayant lieu sur l'alvéole, sur laquelle il circule en permanence à pied,

- de deux agents du BTP, l'un conduit une pelleteuse, l'autre un dumper.

Salariés d'une entreprise extérieure au CET, ils sont chargés du remaniement perpétuel de l'alvéole au cours de son exploitation. En périphérie de l'alvéole, le conducteur de la pelleteuse charge le dumper qui, par des allers-retours entre la pelleteuse et l'alvéole, achemine la terre soit sur les déchets, soit en bordure de l'alvéole afin de l'aménager. Ils ont initialement été choisis car ils étaient susceptibles de ne refléter que l'exposition des salariés aux engins (gaz d'échappement, émission diesel) Il s'avère en fait que leur proximité par rapport à l'alvéole est telle que leur exposition aux déchets est à peine de 50% moindre que celle des conducteurs d'engins de l'alvéole,

- un agent polyvalent.

Cet agent est amené à circuler sur la décharge. Il participe à la maintenance du site - hors station d'épuration -, il assure le bon fonctionnement du réseau de biogaz et vérifie le drainage des lixiviats sur le CET. Il intervient aussi lors de différents travaux d'aménagements du site, on ne le retrouve cependant pas sur l'alvéole, ni au niveau de la station d'épuration,

- un agent chargé de la maintenance de la station d'épuration.

Chargé du bon fonctionnement de la station d'épuration, il réalise des prélèvements à différents niveaux du traitement des lixiviats afin d'étudier leurs caractéristiques physiques et chimiques pour adapter le traitement physico-chimique. Il est donc amené à travailler à l'extérieur auprès des bassins ou des lieux de stockage des différentes substances nécessaires au traitement des lixiviats (ozone, chlore...), mais aussi dans la salle de contrôle (située à proximité de la tour d'ozonation) où sont installés les ordinateurs et alarmes diverses.

Huit salariés travaillent en poste :

- deux agents réception.

L'activité est la même que sur le site 1, mais ici le contrôle est aussi visuel par l'intermédiaire de caméras qui permettent de visualiser le contenu des camions lorsque

les bennes sont à ciel ouvert. Par ailleurs les communications orales avec les chauffeurs et les transactions administratives ont lieu cette fois, par l'intermédiaire d'une fenêtre coulissante, fréquemment ouverte, les conducteurs des camions de déchets ne rentrent pas dans le local,

- six conducteurs d'engins intervenant sur l'alvéole

Ces agents travaillent en poste par équipes de trois. Leur activité est identique à celle des conducteurs du site 1.

Quatre zones de travail caractéristiques ont été sélectionnées :

- la zone alvéole.

Sur le site 2 des prélèvements de longue durée, en ambiance, ont été réalisés sur l'alvéole de jour, mais aussi de nuit, pendant toute la phase où aucun engin ne circule, et ce, afin d'apporter des éléments d'interprétation des résultats obtenus sur le site 1. A savoir : quelle est la part des émissions attribuables aux ordures ménagères et celle attribuable aux particules diesel, dans les niveaux d'exposition des salariés travaillant sur l'alvéole ?

- la zone torchère.

Cette zone est située à coté de quatre torchères, il n'existe pas de voie de circulation à proximité,

- la zone témoin.

Elle est située à proximité de la voie d'accès à la station d'épuration, elle est éloignée de l'alvéole en cours d'exploitation et de tous les effluents. Elle a été dénommée « talus ».

III.2.4.2. Les polluants sélectionnés.

Le but de la campagne de mesure des émissions à la source, effectuée par le laboratoire Europoll, était de réaliser un dosage exhaustif des polluants chimiques émanant du biogaz.

A l'issue de cette phase, une sélection de familles de polluants chimiques a été établie (Cf. Tableau 19) en fonction des critères préalablement choisis.

Polluants	Emissions	Ambiances (Postes fixes et prélèvements individuels)	Justifications
Poussières	+ ($\varnothing > 7\mu\text{m}$)	+ ($\varnothing < 20\mu\text{m}$)	Poussières inhalables (concentration très faible ou non détectée à la source des particules de $\varnothing < 5\mu\text{m}$)
Métaux : - aluminium - antimoine - arsenic - baryum - cadmium - chrome - cobalt - cuivre - étain - fer - manganèse - mercure - molybdène - nickel - plomb - sélénium - vanadium - zinc	Particulaires et gazeux + + + + + + + + + + + + + + + + +	Particulaires - - + - + + - - - - + - + + - - -	Toxicité systémique (dont neurotoxicité) Cancérogénicité Cancérogénicité Concentration importante à l'émission <VME (0,05mg/m3) à l'émission Cancérogénicité
HAP	+ (légers)	+ (particulaires)	Traceurs d'émissions diesel Cancérogénicité de certains HAP
Hydrocarbures totaux	+	non	Pas de toxicité sous cette forme
Aromatiques (BTX...)	+	+	Cancérogénicité du benzène Toxicité neurologique des autres
Cétones et aldéhydes	+	+	Cancérogénicité du formaldéhyde Irritants Toxicité neurologique
Soufrés (composés organiques)			
COV - Halogénés - HC aliphatiques - HC cycliques - Alcools - Oxygénés	+ + + + +	+ chlorés + + + +	Cancérogénicité possible du trichloroéthylène et du tétrachloroéthylène Toxicité essentiellement neurologique

Tableau 19 : Justification de la sélection des familles de polluants pour la campagne d'analyses « salariés ».

III.2.4.3. Les polluants retrouvés.

III.2.4.3.1. Les particules.

a- Les particules totales. (Cf. Graphiques 14 et 15)

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. 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, soit 75% de la VME, 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 différences significatives 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 ($p < 0,05$). (Cf. Tableau 20)

	p
poussières totales comparaison conducteurs de l'alvéole du site 1 et du site 2	Non Significatif (NS)
poussières totales comparaison conducteurs de l'alvéole et BTP du site 2	< 0,05

Tableau 20 : Comparaison des résultats des prélèvements atmosphériques des poussières totales des conducteurs.

b- 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 pour les conducteurs d'engins de l'alvéole. Au niveau des autres points de prélèvements, les taux sont inférieurs à 2% de la VME.

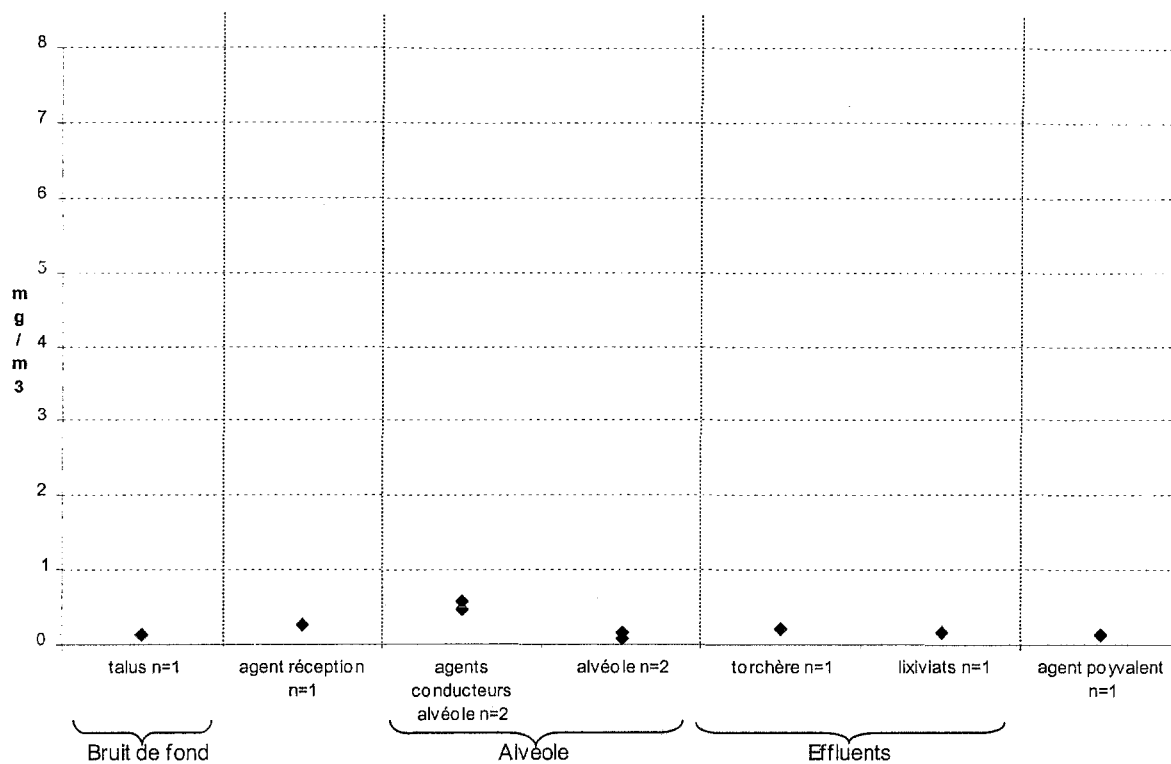
Pour le site 2.

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

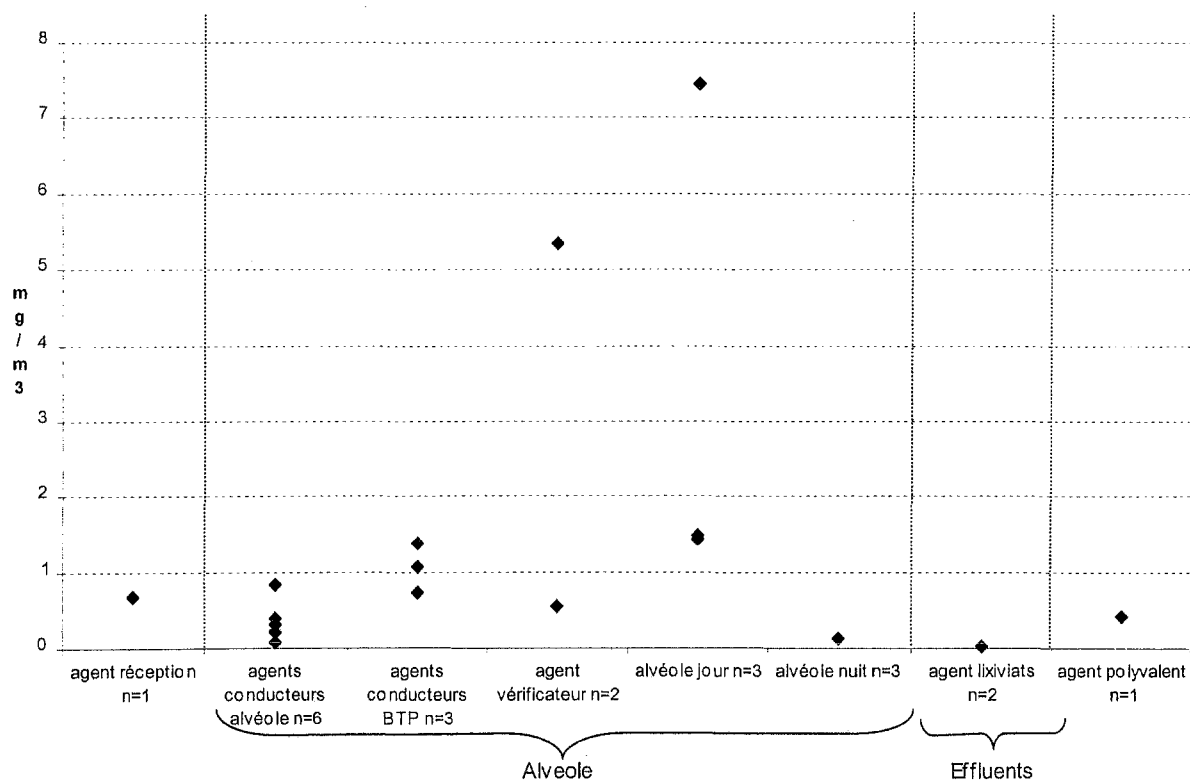
Les plus élevées sont retrouvées sur l'alvéole de jour et auprès du vérificateur, elles représentent 5% de la VME. Au niveau des autres points de prélèvements, les taux sont inférieurs à 1% de la VME.

c- 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).



Graphique 14 : Concentrations en particules totales sur le site 1.



Graphique 15 : Concentrations en particules totales sur le site 2.

III.2.4.3.2. Les métaux. (Cf. Graphiques 16 et 17)

Au niveau des deux sites, il n'est pas retrouvé d'arsenic.

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 différences significatives pour les concentrations atmosphériques mesurées entre les conducteurs d'engins des deux sites.

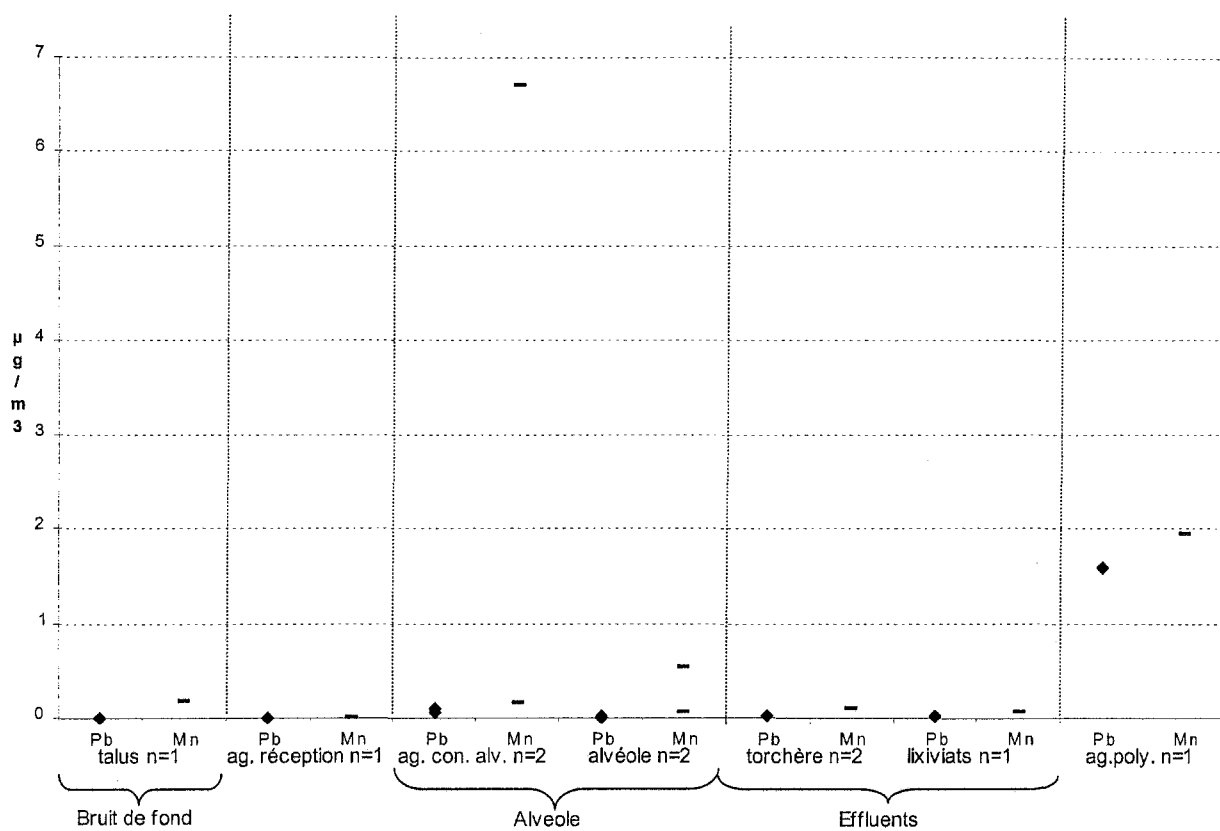
Par contre, en dehors du manganèse, pour tous les métaux retrouvés (plomb, chrome, nickel et cadmium), les conducteurs BTP sont significativement plus exposés que les conducteurs d'engins sur le site 2. (Cf. Tableaux 21 et 22)

	p
plomb	NS
manganèse	NS
chrome	NS
nickel	NS
cadmium	NS

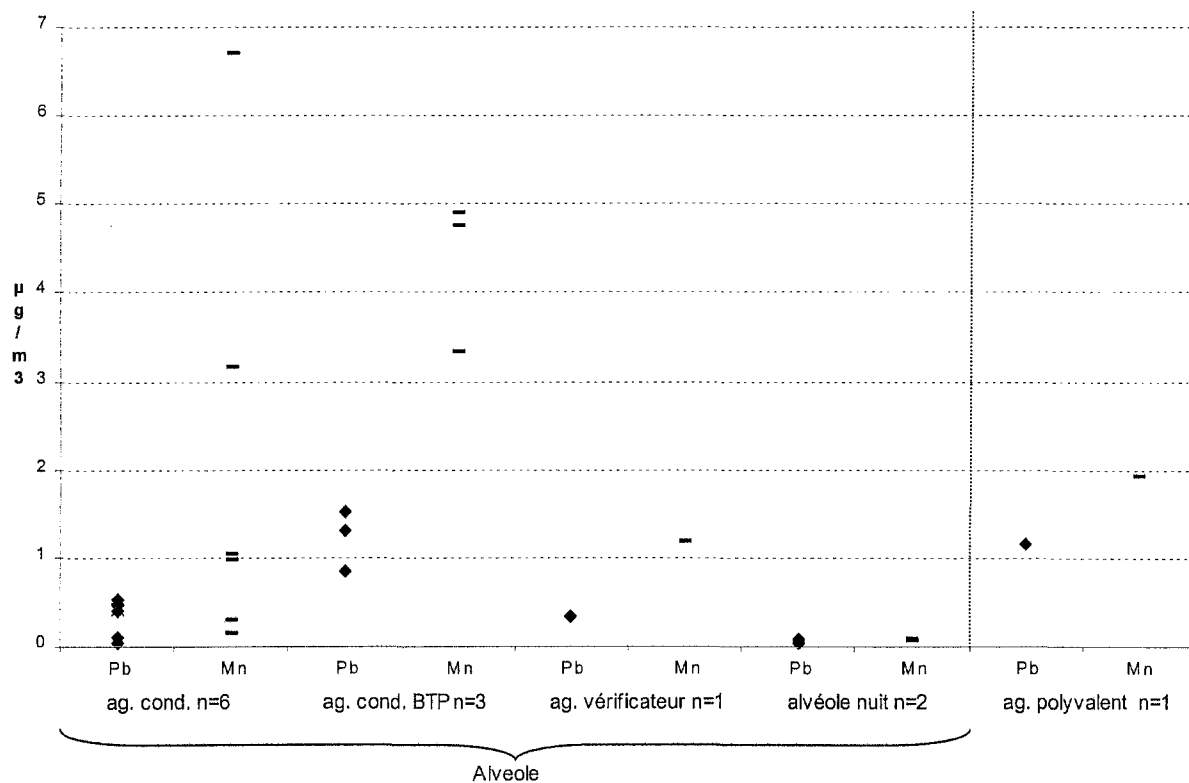
Tableau 21 : Comparaison des résultats des prélèvements atmosphériques des métaux des conducteurs des sites 1 et 2.

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

Tableau 22 : Comparaison des résultats des prélèvements atmosphériques des métaux des conducteurs de l'alvéole et des conducteurs BTP du site 2.



Graphique 16 : Concentrations en plomb et en manganèse sur le site 1.



Graphique 17 : Concentrations en plomb et en manganèse sur le site 2.

III.2.4.3.3. Les HAP. (Cf. Graphiques 18 à 21)

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 B(a)P.

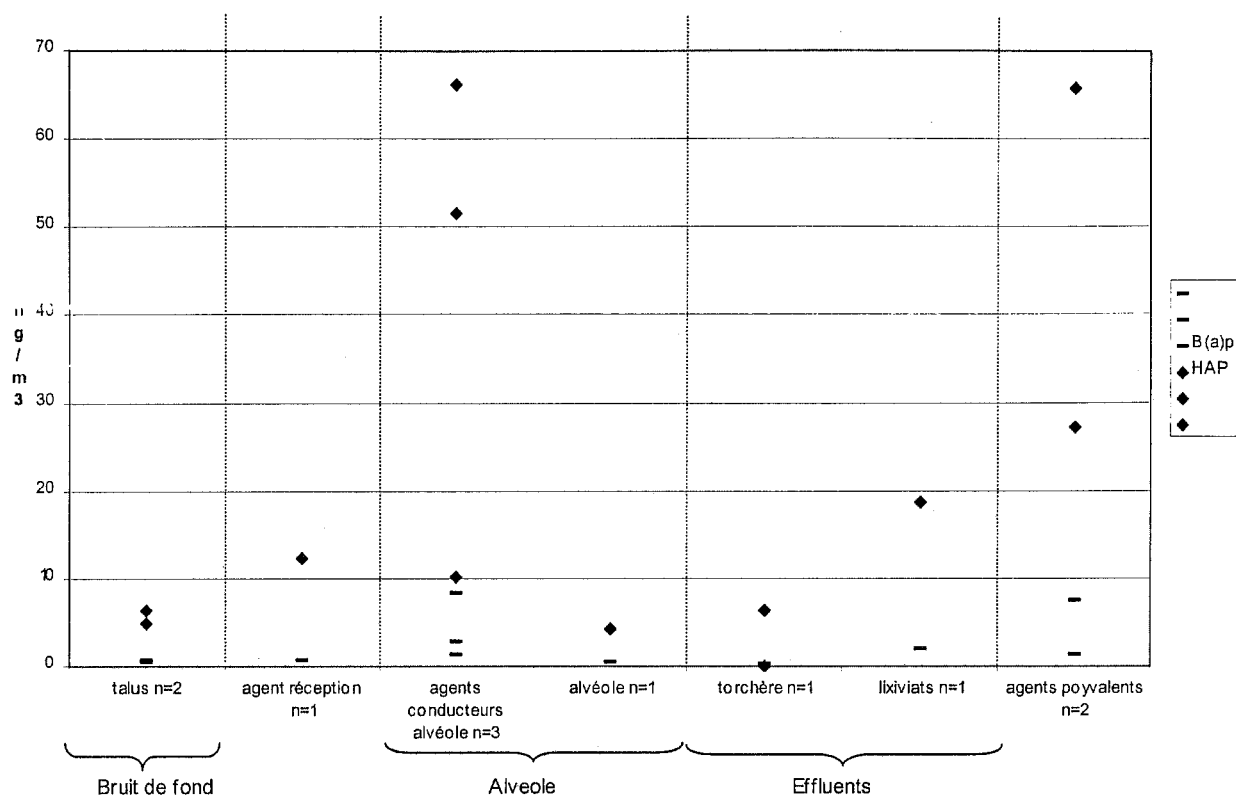
La comparaison des conducteurs d'engins de l'alvéole et du BTP du site 2, ne met en évidence aucune différence significative pour les concentrations atmosphériques en HAP. (Cf. Tableaux 23 et 24)

	p
fluoranthène	NS
pyrène	NS
benzo(a)anthracène*	NS
chrysène	NS
benzo(b)fluoranthène*	NS
benzo(k)fluoranthène*	NS
benzo(a)pyrène*	P=0,05
benzo(g,h,i)pérylène	NS
dibenzo(a,h)anthracène	NS
somme des HAP cancérrogènes*	NS
somme des HAP	NS

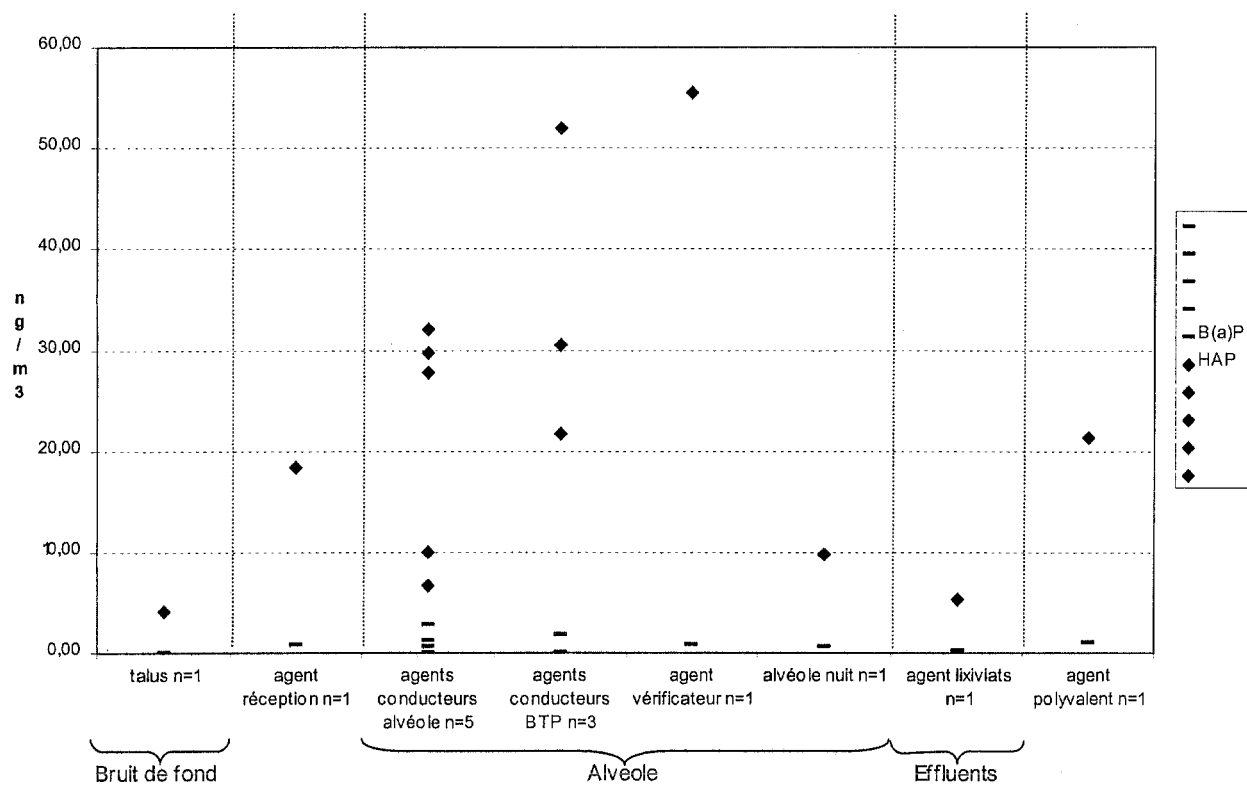
Tableau 23 : Comparaison des résultats des prélèvements atmosphériques des HAP des conducteurs des sites 1 et 2.

	p
fluoranthène	NS
pyrène	NS
benzo(a)anthracène*	NS
chrysène	NS
benzo(b)fluoranthène*	NS
benzo(k)fluoranthène*	NS
benzo(a)pyrène*	NS
benzo(g,h,i)pérylène	NS
dibenzo(a,h)anthracène	NS
somme des HAP cancérrogènes*	NS
somme des HAP	NS

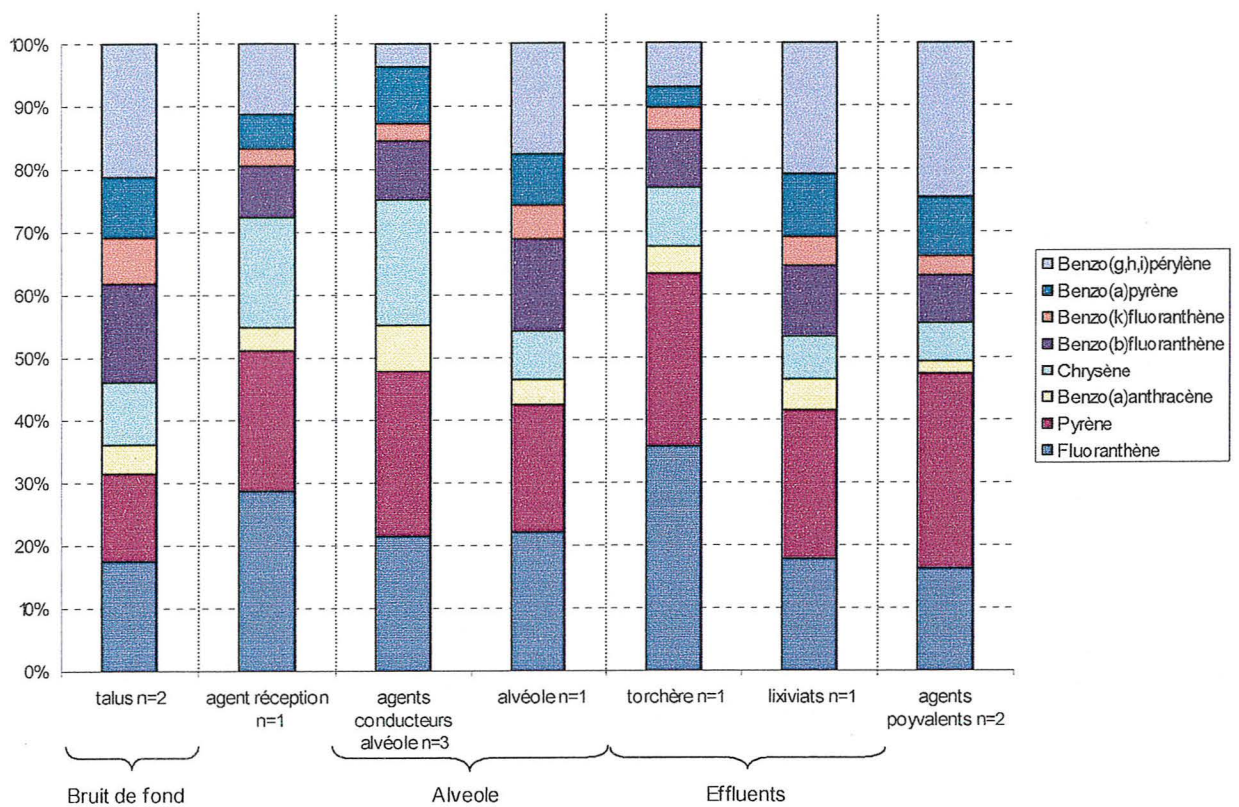
Tableau 24 : Comparaison des résultats des prélèvements atmosphériques des HAP des conducteurs de l'alvéole et des conducteurs BTP du site 2.



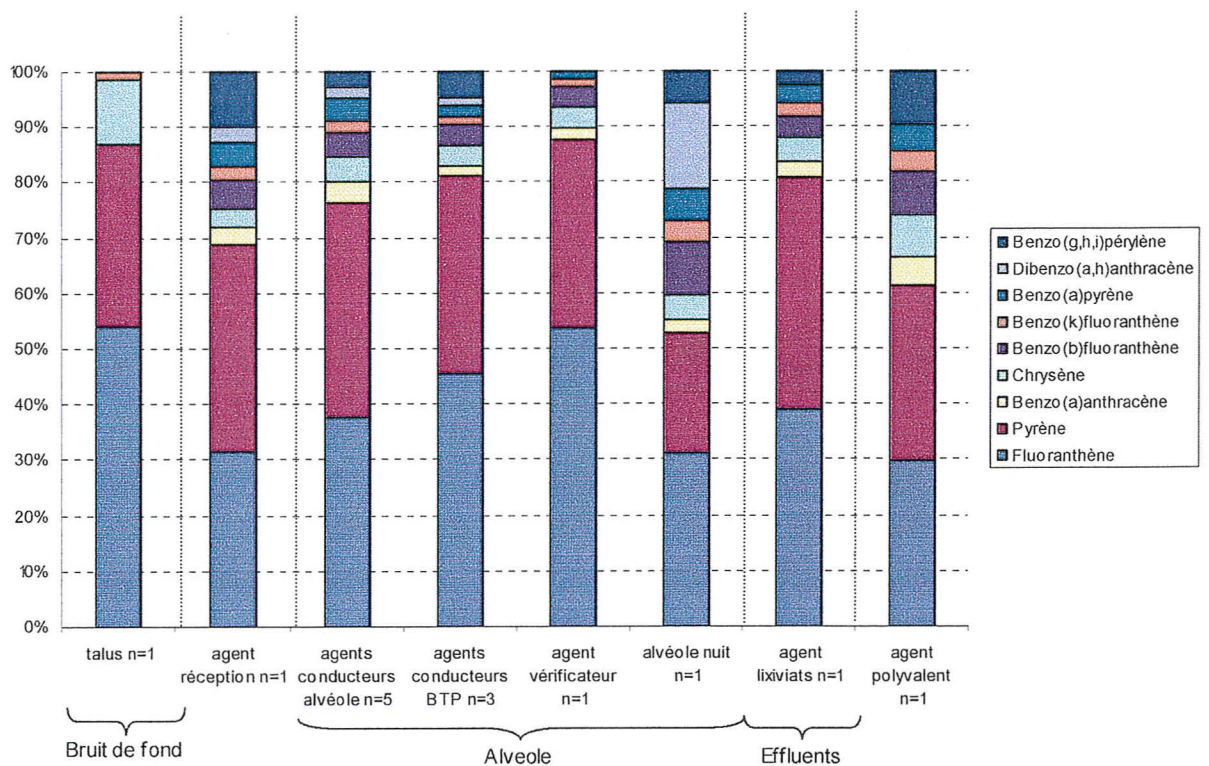
Graphique 18 : Concentrations en HAP et B(a)P sur le site 1.



Graphique 19 : Concentrations en HAP et B(a)P sur le site 2.



Graphique 20 : Répartition des HAP sur le site 1.



Graphique 21 : Répartition des HAP sur le site 2.

III.2.4.3.4. Les COV. (Cf. Graphiques 22 à 25)

Pour le site 1.

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

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 ($0,045 \text{ mg/m}^3$) et au niveau des conducteurs d'engins ($0,121 \text{ mg/m}^3$), ils sont inférieurs à 5% de la VME.

Pour le site 2.

Les concentrations les plus importantes sont relevées auprès des conducteurs d'engins ($13,4 \text{ mg/m}^3$). 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/m^3 .

La nuit, sur l'alvéole, les taux sont inférieurs à $0,8 \text{ mg/m}^3$.

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 observées chez les conducteurs d'engins du site 1 sont significativement plus élevées que celles des conducteurs d'engins du site 2.

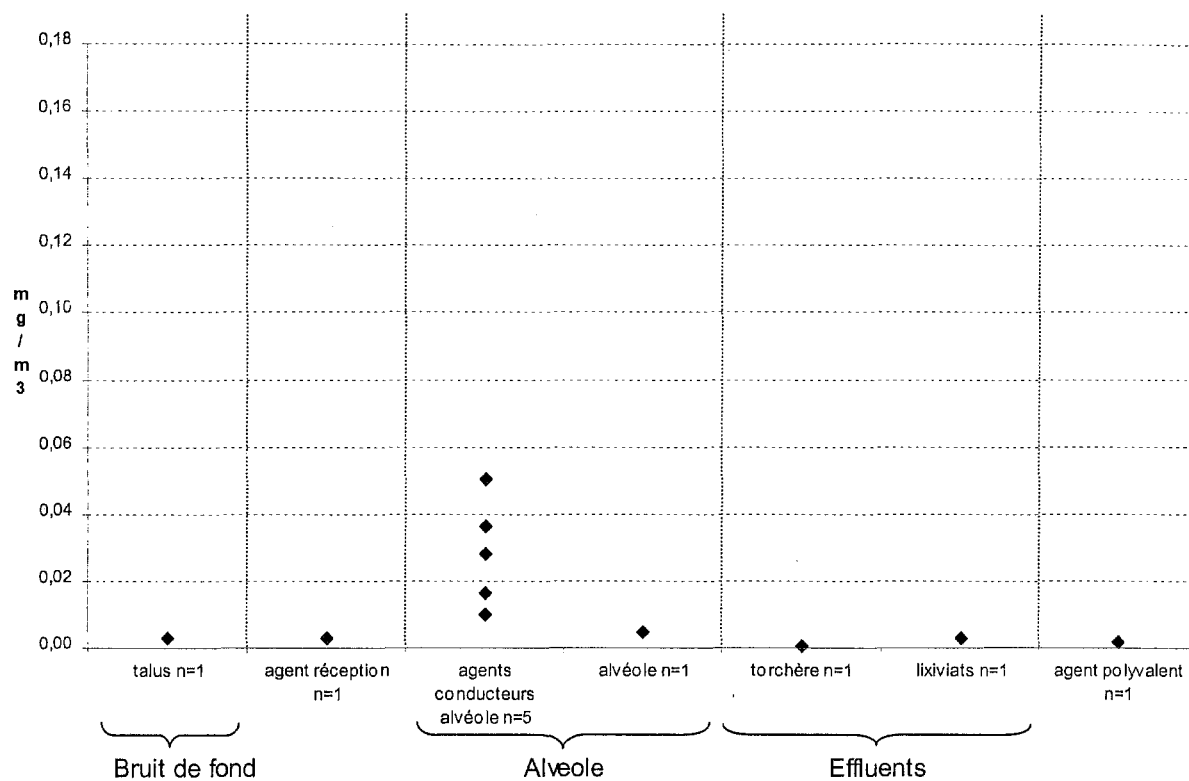
Entre les conducteurs d'engins et BTP du site 2, aucune différence significative dans les prélèvements n'est notée. (Cf. Tableaux 25 et 26)

	p
benzène	< 0,01
toluène	NS
éthylbenzène	NS
xylènes	NS
3éthylbenzène	< 0,05
4éthylbenzène	NS
2éthylbenzène	NS
135triméthylbenzène	NS
124triméthylbenzène	< 0,01
123triméthylbenzène	NS
somme des HAM	NS
méthanol	NS
éthanol	NS
somme des alcools	NS
acétone	NS
éther	NS
somme des oxygénés	NS
trichloroéthylène	NS
tétrachloroéthylène	NS
somme des chlorés	NS
somme des COV	NS

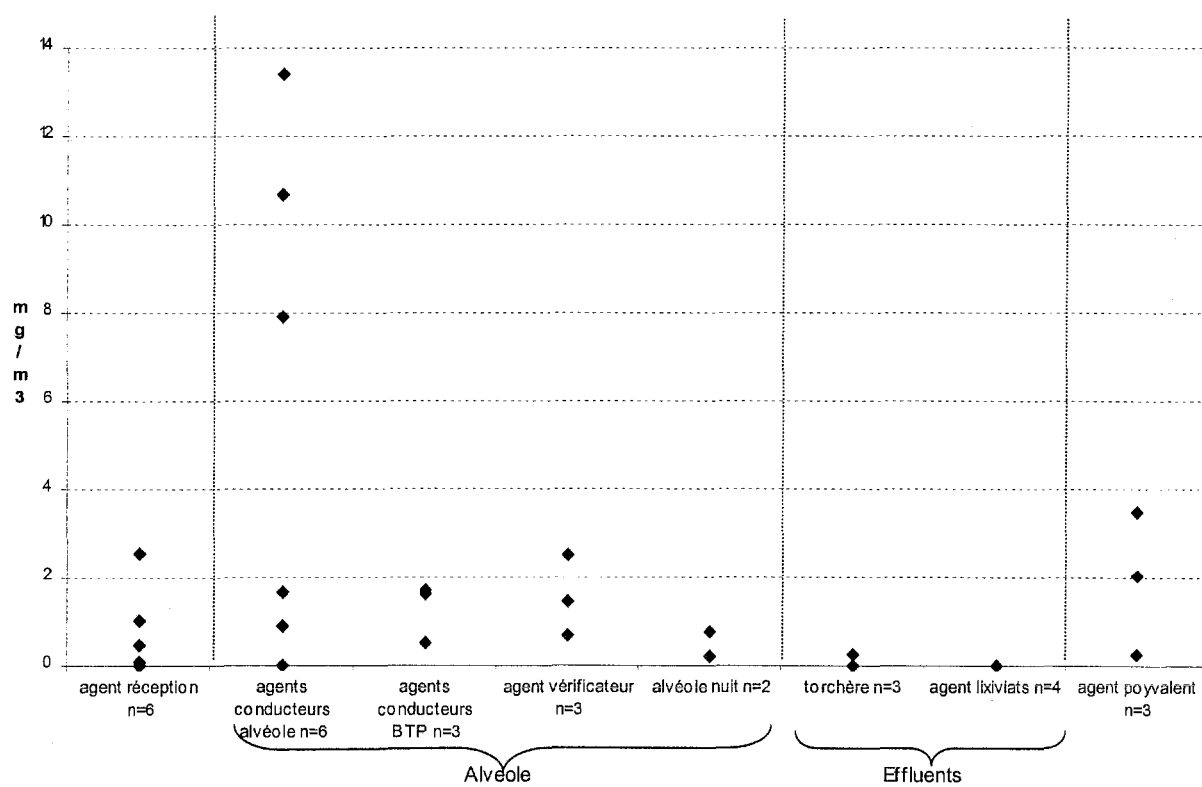
Tableau 25 : Comparaison des résultats des prélèvements atmosphériques des COV des conducteurs des sites 1 et 2.

	p
benzène	NS
toluène	NS
éthylbenzène	NS
xylènes	NS
3éthylbenzène	NS
4éthylbenzène	NS
2éthylbenzène	NS
135triméthylbenzène	NS
124triméthylbenzène	NS
123triméthylbenzène	NS
somme des HAM	NS
méthanol	NS
éthanol	NS
somme des alcools	NS
acétone	NS
éther	NS
somme des oxygénés	NS
trichloroéthylène	NS
tétrachloroéthylène	NS
somme des chlorés	NS
somme des COV	NS

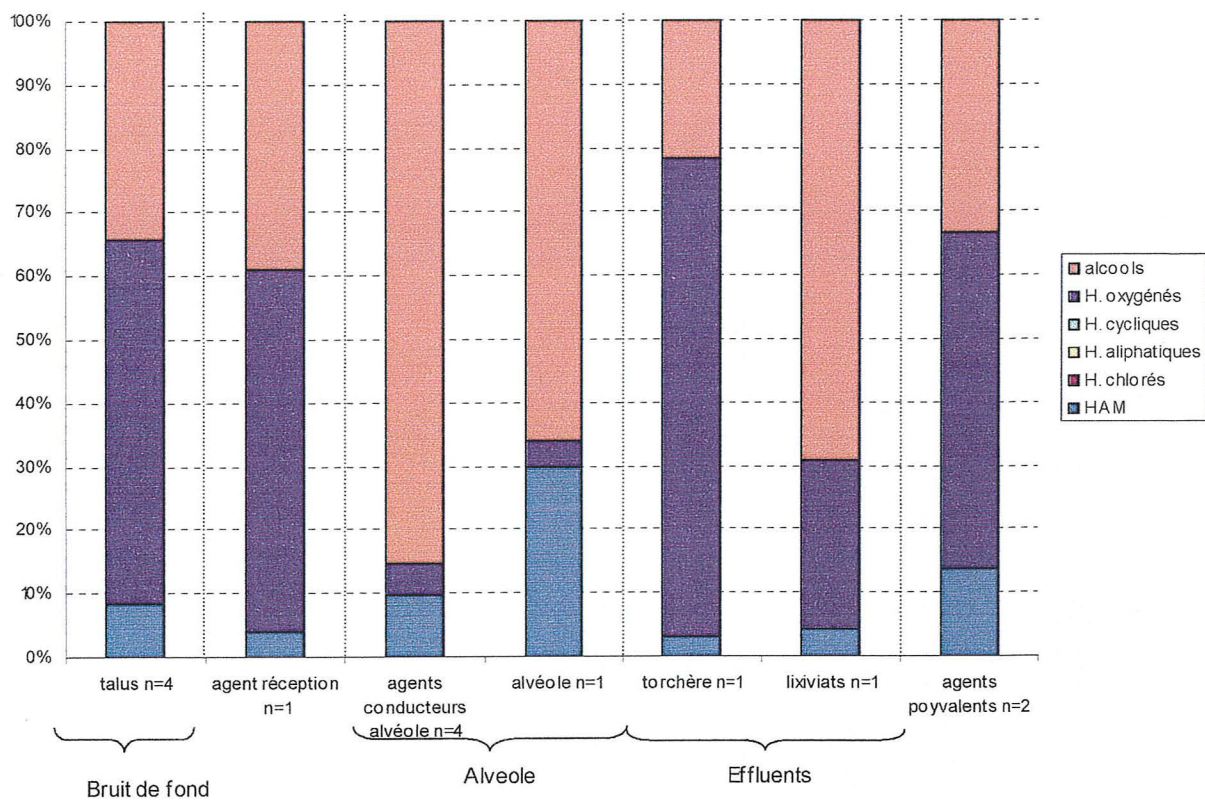
Tableau 26 : Comparaison des résultats des prélèvements atmosphériques des COV des conducteurs de l'alvéole et des conducteurs BTP du site 2.



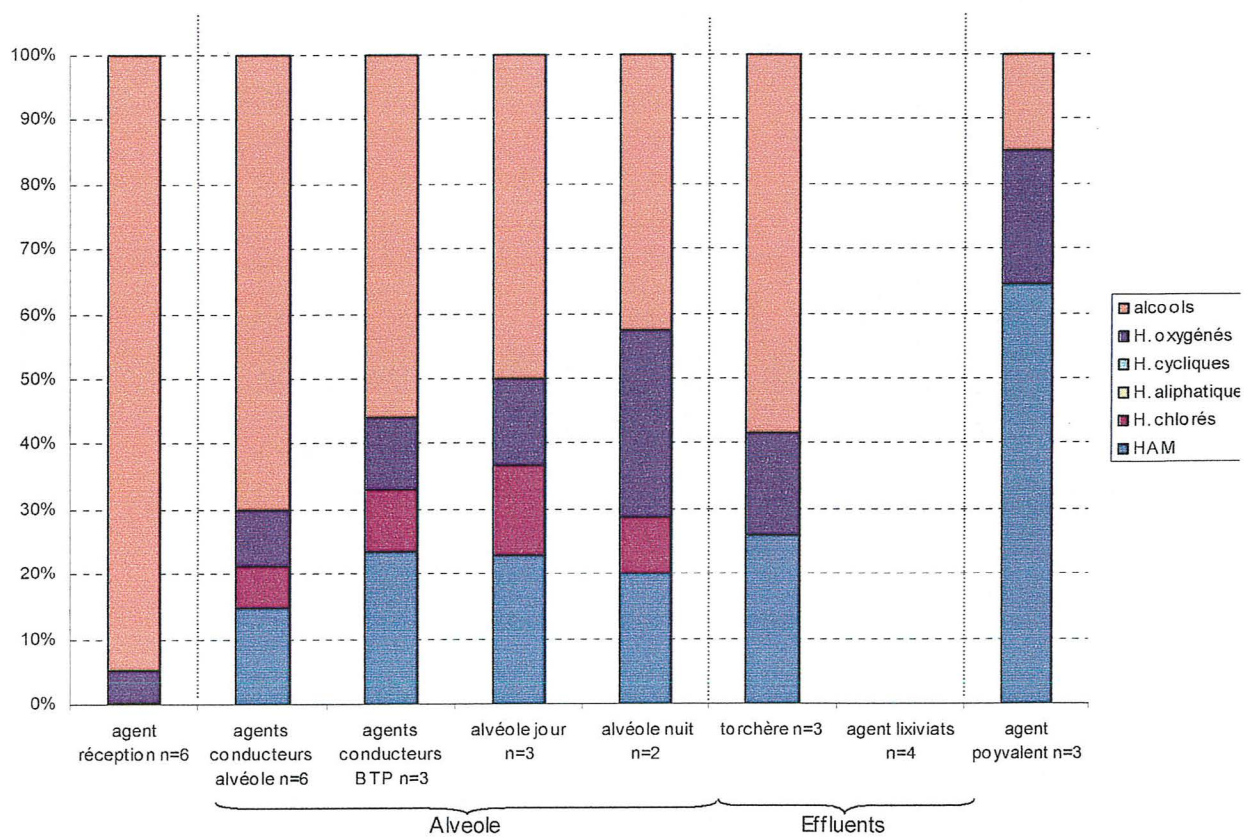
Graphique 22 : Concentrations en COV sur le site 1.



Graphique 23 : Concentrations en COV sur le site 2.



Graphique 24 : Répartition des COV sur le site 1.



Graphique 25 : Répartition des COV sur le site 2.

III.2.4.3.5. Les aldéhydes. (Cf. Graphiques 26 à 29)

Pour le site 1.

Les concentrations les plus importantes (jusqu'à $0,05 \text{ mg/m}^3$) sont mises en évidence sur le site 1, auprès des conducteurs d'engins. Pour tous les autres prélèvements, elles sont inférieures à $0,005 \text{ mg/m}^3$.

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 ($0,17 \text{ mg/m}^3$) et des agents vérificateur et lixiviats ($0,15 \text{ mg/m}^3$).

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.

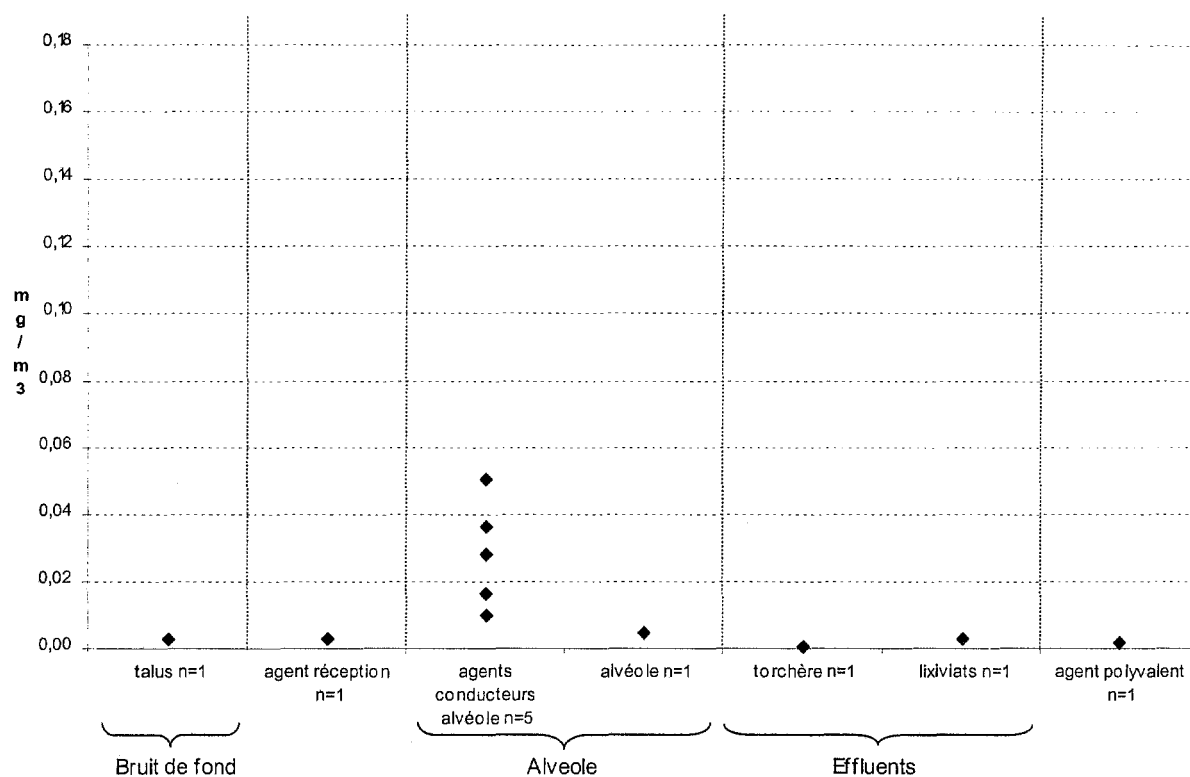
Entre le site 1 et le site 2, pour les conducteurs d'engins, il existe une différence significative pour la concentration en aldéhydes totaux. (Cf. Tableaux 27 et 28)

	p
Formaldéhyde	NS
Acétaldéhyde	NS
acroléine	< 0,01
Propionaldéhyde	NS
Crotonaldéhyde	NS
Butyraldéhyde	NS
Benzaldéhyde	NS
Valéraldéhyde	NS
Isovaléraldéhyde	NS
o-tolualdéhyde	NS
Hexaldéhyde	NS
somme des aldéhydes	< 0,05

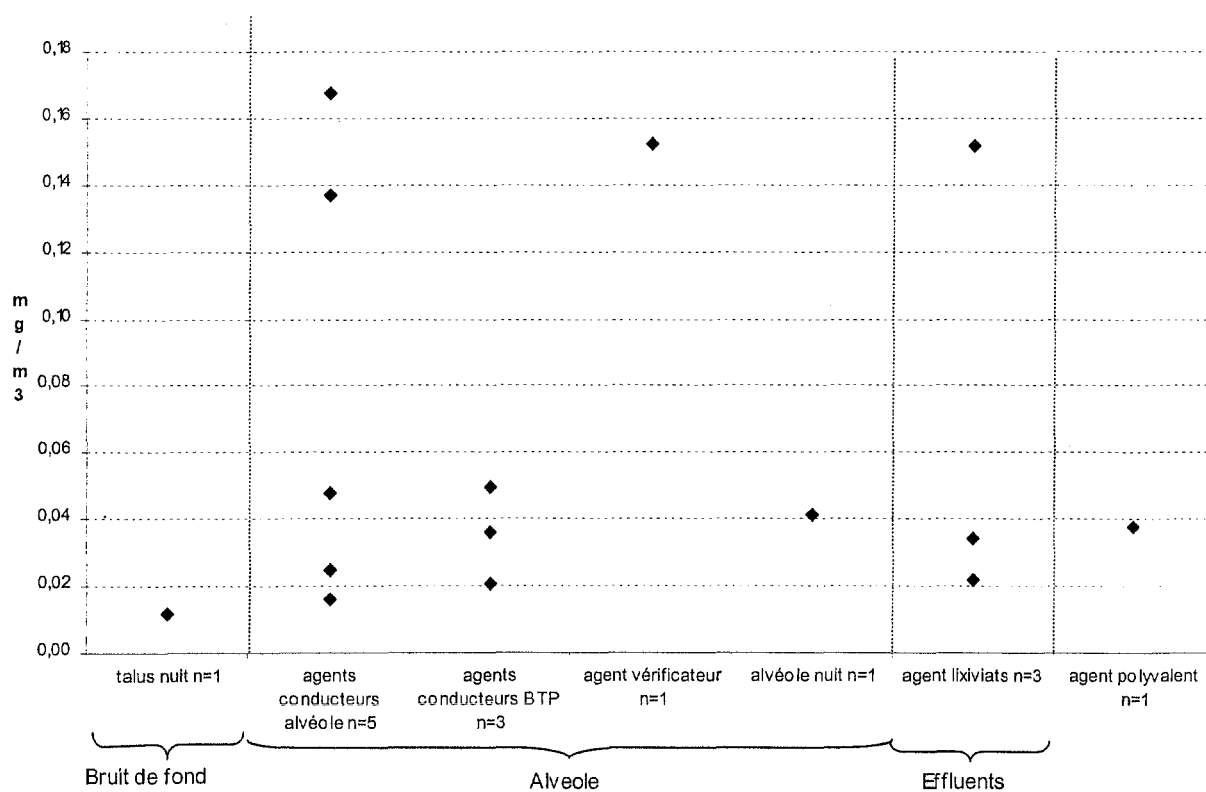
Tableau 27 : Comparaison des résultats des prélèvements atmosphériques d'aldéhydes des conducteurs des sites 1 et 2.

	p
formaldéhyde	NS
acétaldéhyde	NS
acroléine	NS
propionaldéhyde	NS
crotonaldéhyde	NS
butyraldéhyde	NS
benzaldéhyde	NS
valéraldéhyde	NS
isovaléraldéhyde	NS
o-tolualdéhyde	NS
hexaldéhyde	NS
somme des aldéhydes	NS

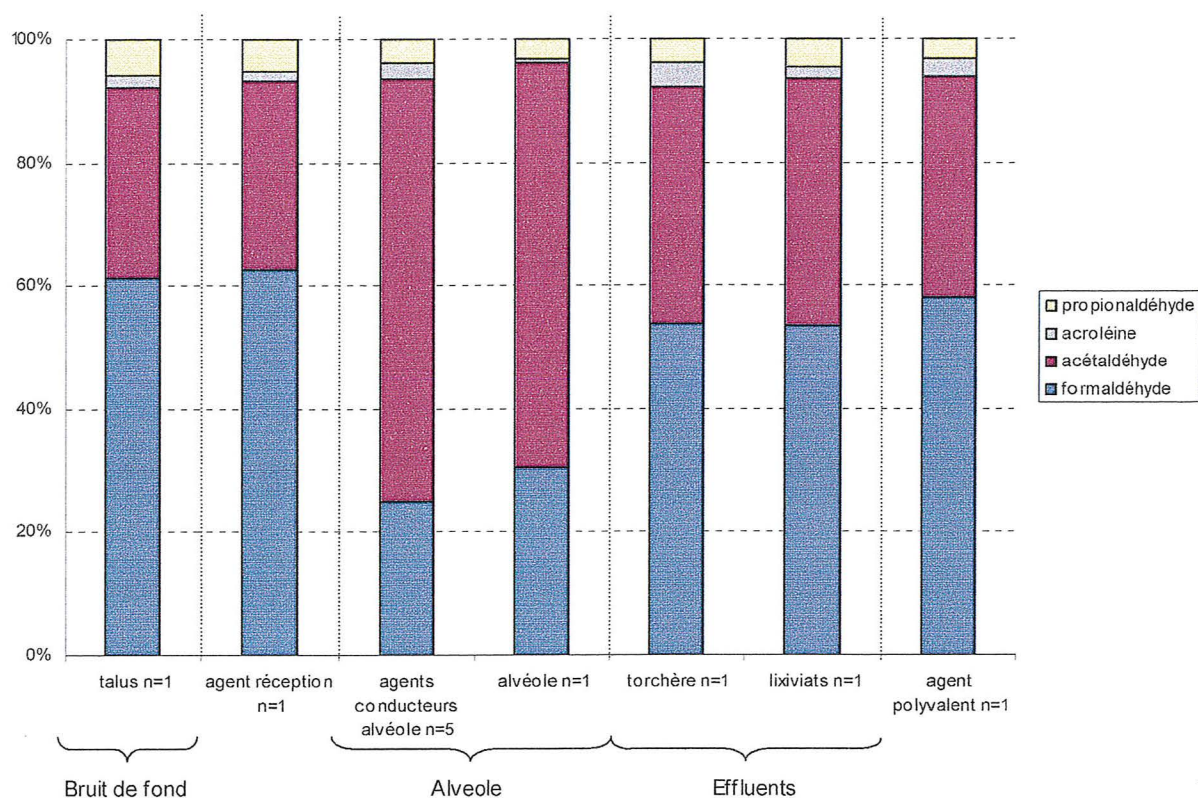
Tableau 28 : Comparaison des résultats des prélèvements atmosphériques des aldéhydes des conducteurs de l'alvéole et des conducteurs BTP du site 2.



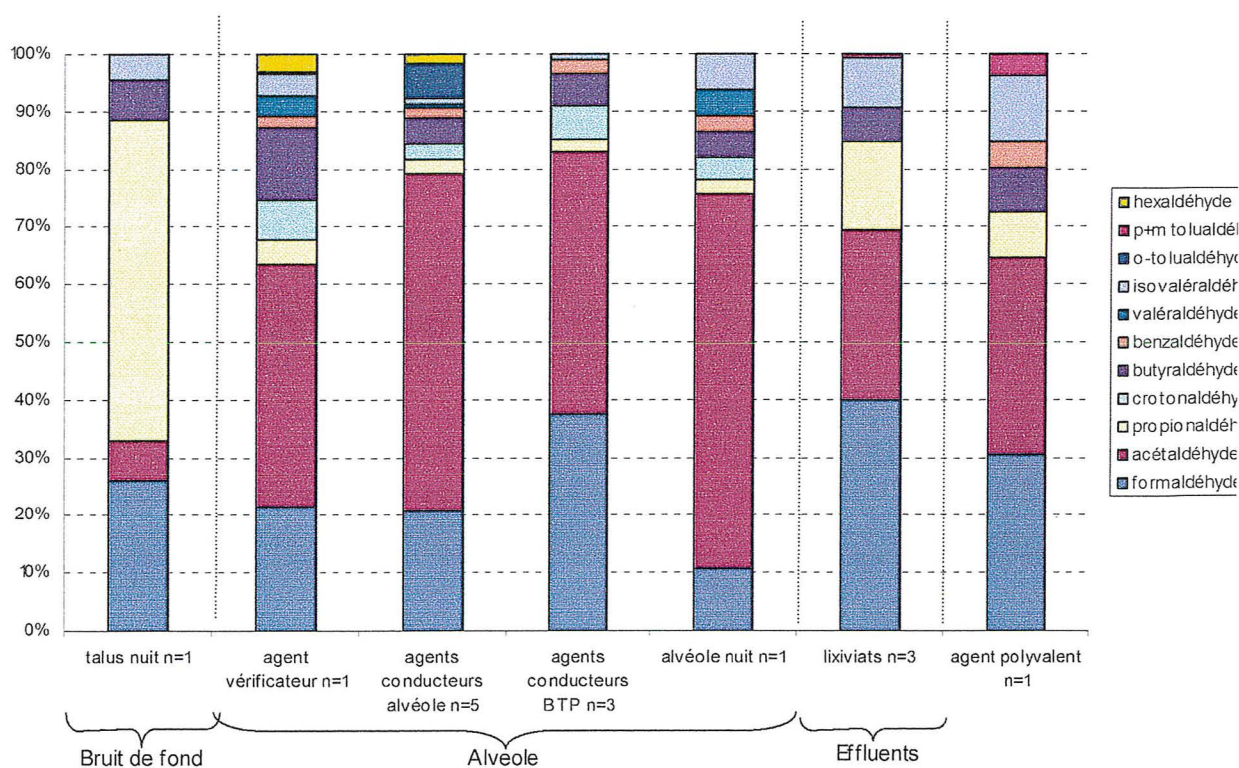
Graphique 26 : Concentrations en aldéhydes sur le site 1.



Graphique 27 : Concentrations en aldéhydes sur le site 1.



Graphique 28 : Répartition des aldéhydes sur le site 1.



Graphique 29 : Répartition des aldéhydes sur le site 2.



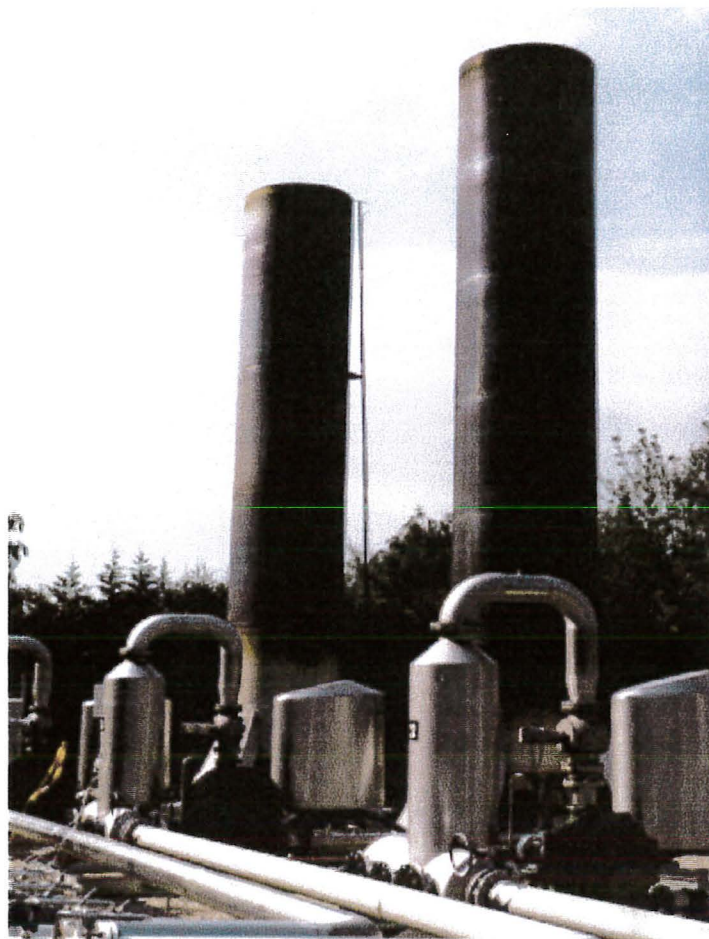
Vue d'ensemble de l'alvéole en exploitation.



Compactage des déchets sur l'alvéole.



Transfert des lixiviats par un salarié.



Torchères.

III.3. DISCUSSION.

A travers ce chapitre, nous allons répondre à l'objectif de notre travail, c'est à dire évaluer les niveaux d'exposition microbiologique et toxicologique des salariés des décharges d'ordures ménagères.

III.3.1. L'accueil qui nous a été réservé.

Sur les deux sites toutes les dispositions (salle pour entreposer le matériel notamment) ont été prises et tous les moyens techniques (fourgonnette, groupe électrogène...) nous ont été fournis par chacun des chefs d'exploitation, pour que les interventions se déroulent dans des conditions favorables.

Globalement il ressort, d'après les conversations que nous avons pu avoir avec les salariés, qu'ils ont compris l'intérêt de notre étude. Ainsi, ils ont, pour la majorité d'entre eux, coopéré et accepté que des prélèvements d'ambiance soient réalisés à proximité de leurs aires de travail et/ou de porter les pompes durant tout leur poste de travail, souvent plusieurs jours consécutifs, afin que les prélèvements individuels soient réalisés.

III.3.2. Les sites.

Le site 2 est un site plus important que le site 1 tant 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).

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.

III.3.3. Les conditions d'intervention.

Pour la phase émission, les deux sites ont été étudiés durant l'été 1998 à quelques jours d'intervalle.

Pour la phase salariée, les prélèvements ont été réalisés durant l'automne 1998 pour le site 1, alors qu'ils ont été pratiqués au début du printemps 1999 pour le site 2.

Ce décalage dans le temps était nécessaire pour permettre de modifier la stratégie des prélèvements au niveau du site 2, en fonction des résultats du site 1.

De ce fait, les conditions météorologiques lors des interventions sont différentes pour les deux sites.

Sur le site 1, durant les quatre jours d'intervention, les paramètres météorologiques ont été relativement stables : la vitesse du vent a été modérée et les températures fraîches.

Sur le site 2, le vent s'est progressivement levé au cours des trois journées d'intervention. Ainsi, le troisième jour, nous avons noté quelques rafales de vent. Mais pendant la durée des prélèvements, aucune précipitation n'a été relevée. Des différences de températures ont été mesurées.

Sur chacun des sites, les interventions ont eu lieu lors de saisons différentes, mais les paramètres météorologiques étaient relativement proches d'un site à l'autre. Globalement, le site 1 a été un peu moins venté que le site 2, limitant ainsi les envols particuliers.

III.3.4. L'exposition atmosphérique microbiologique.

III.3.4.1. La méthode.

Pour les prélèvements effectués au niveau des sources, et en dehors du biogaz et de la station d'épuration, les prélèvements ont été pratiqués sous bâche de façon à concentrer les émissions. Or le retentissement sur les niveaux réels en air ambiant est dépendant de nombreux autres facteurs (vitesse et direction du vent, humidité, température, précipitations...). Une partie des résultats est donc de type semi-quantitatif.

Du fait des techniques de mesures actuellement disponibles et validées, les échantillons sont de courte durée (de l'ordre d'une minute). Les mesures rendent donc difficilement compte de

l'exposition moyenne des salariés. En revanche, la méthode permet de détecter des pics d'exposition qui n'apparaîtraient pas lors de prélèvements de longue durée, or nous savons l'importance que peuvent avoir des pics d'exposition sur l'apparition de symptômes notamment immuno-allergiques. Pour avoir une estimation la plus juste possible de l'exposition des salariés, il est donc nécessaire de répéter les prélèvements.

Par ailleurs, du fait de l'influence déterminante des éléments extérieurs (vent, activité du site...), le choix de l'emplacement des points de mesure est primordial.

Ainsi nous avons tenté de mettre en place une stratégie d'échantillonnages dans le temps et dans l'espace qui puisse prendre en compte ces différents paramètres.

D'autre part, avec le type d'activité étudiée (l'activité des déchets), nous pouvions nous attendre à des concentrations élevées. Avec des temps de prélèvements longs, le risque était de saturer les milieux de culture par un trop grand nombre de colonies et donc de sous-évaluer les concentrations réelles. Dans le même temps, les niveaux d'exposition étaient *a priori* inconnus, d'où la nécessité de multiplier des échantillonnages de durées différentes.

III.3.4.2. L'analyse.

Les milieux gélosés utilisés sont adaptés à la culture de tels germes ou moisissures de l'environnement. Malgré tout une espèce envahissante par nature peut masquer les autres colonies et empêcher un dénombrement et une identification corrects. D'où l'utilisation de plusieurs milieux permettant de sélectionner les micro-organismes et, là encore, la répétition des prélèvements.

L'analyse des prélèvements se fait par dénombrement puis identification des espèces qui se sont multipliées sur les milieux de culture. Seuls les micro-organismes viables et cultivables ont donc été recherchés. Or, nous savons que les micro-organismes totaux (viables et non viables) sont susceptibles d'engendrer des manifestations pathologiques (notamment immunoallergiques et toxiques). Les techniques permettant de mesurer les micro-organismes totaux (telle que l'épifluorescence) sont encore à l'état de recherche et ne sont pas disponibles en routine. De plus elles ne permettent pas l'identification des espèces, ce qui est indispensable dans l'interprétation. Elles requièrent par contre des durées de prélèvements plus longues, ce qui permettrait d'obtenir des résultats intégrés dans le temps.

Dans notre étude, une approche de la biocontamination, liée aux micro-organismes autres que les micro-organismes viables, a tout de même été pratiquée avec la réalisation de mesures d'endotoxines.

III.3.4.3. Les résultats des niveaux d'exposition microbiologique.

Dans la littérature le nombre d'études concernant l'évaluation de l'exposition microbiologique des salariés des décharges d'ordures ménagères est peu important. Aussi l'exposition microbiologique des salariés des deux sites étudiés est comparée à des recommandations proposées par différents auteurs.

III.3.4.3.1. Les micro-organismes.

a- 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 micro-organismes, 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 micro-organismes 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 ($2 \text{ à } 6,3 \cdot 10^4 \text{ CFU/m}^3$).

Le **biogaz** émet à la fois des bactéries Gram positif ($>2 \cdot 10^4 \text{ CFU/m}^3$) mais également des Gram négatif ($9 \cdot 10^3 \text{ CFU/m}^3$) 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.

b- Au niveau des salariés.

Au niveau des salariés, les concentrations en micro-organismes 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 $5 \cdot 10^3 \text{ CFU/m}^3$, 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 $1 \text{ à } 2 \cdot 10^3 \text{ CFU/m}^3$. La flore fongique est quasiment normale en quantité et en qualité, mais avec tout de même la présence de pics importants ($3,5 \cdot 10^3 \text{ CFU/m}^3$) 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 micro-organismes 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 [Rahkonen et al., 1987] [Rahkonen et al., 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 7.10^2 CFU/m³ contre $2,6.10^1$ CFU/m³ ; en automne $1,4.10^2$ CFU/m³ contre $4,5.10^1$ CFU/m³) Almaguer [Almaguer et al., 1996] aboutit aux mêmes résultats, avec des concentrations en spores fongiques plus importantes (6.10^4 spores/m³ dans les cabines contre 1 à 2.10^4 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 micro-organismes à l'intérieur de la cabine sont divisés par plus de deux et demi ($1,8.10^4$ CFU/m³ pour les bactéries totales sans filtration de l'air contre $6,8.10^3$ CFU/m³ lorsque l'air est filtré et $3,34.10^4$ CFU/m³ pour les champignons totaux sans filtration de l'air contre $1,27.10^4$ 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.

III.3.4.3.2. 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.

III.3.4.4. 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 micro-organismes 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 micro-organismes 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 micro-organismes aéroportés retrouvées dans notre étude peuvent être considérées comme élevées à la fois au vu des propositions de valeurs limites données par les différents auteurs mais aussi en regard des pathologies engendrées par les micro-organismes, 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 micro-organismes des bioaérosols, d'association de ces aérosols à des composants biologiques et chimiques multiples et variés.

III.3.5. Les niveaux d'exposition atmosphérique toxicologique.

Là encore, nous soulignons le faible nombre d'études concernant l'évaluation de l'exposition toxicologique des salariés des décharges d'ordures ménagères.

Aussi, pour l'évaluation de l'exposition toxicologique, les niveaux de pollution retrouvés auprès des salariés sont comparés aux Valeurs Moyennes d'Exposition Professionnelle (VMEP, Cf. Annexe 4). Ces valeurs sont des concentrations que peut respirer un salarié au cours d'une journée de travail de huit heures, cinq jours par semaine, sans risque à priori d'altération à long terme de la santé.

Les concentrations atmosphériques retrouvées sont aussi comparées aux valeurs environnementales retrouvées en zones urbaines ou conseillées par les directives de la CEE ou de l'OMS (valeurs données en Annexe 5).

Les recommandations et valeurs guides de l'environnement s'appliquent à l'environnement et non aux ambiances de travail. Elles sont plus basses que les valeurs d'exposition professionnelle et ce pour deux raisons :

- dans la population générale, se trouvent des personnes plus sensibles (enfants, personnes âgées...) ou en moins bonne santé que dans une population au travail,
- la population générale respire l'air environnant 24 heures sur 24, alors qu'un salarié n'est, en général, présent que cinq jours sur sept et huit heures par jour sur les lieux de son travail.

III.3.5.1. La méthode.

La méthode que nous avons choisie d'appliquer dans les deux CET étudiés nous a permis de prélever et d'analyser un grand nombre de toxiques. En contre partie, cette méthode est limitée par un faible nombre d'échantillons pour un même toxique.

III.3.5.2. Les résultats des niveaux d'exposition toxicologique.

III.3.5.2.1. Les particules.

a- Les particules 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 que nous avons mises en évidence sont comparables à celles retrouvées par Rakhonen [Rakhonen et al., 1987], 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. Par contre, 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.

b- Les particules alvéolaires.

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 à l'absorption sera vu dans les chapitres suivants, en fonction des substances.

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).

De jour les concentrations mesurées en ambiance sur l'alvéole atteignent 0,134 mg/m^3 , ce sont des valeurs du même ordre que celle préconisée au niveau environnemental pour les particules de taille inférieure à 10 μm (130 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Directive européenne 80/779/CEE du 15 juillet 1980). De nuit, les concentrations sont inférieures à 0,057 mg/m^3 .

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.

III.3.5.2.2. Les métaux.

a- Le plomb.

Dans notre étude, le taux de plomb le plus élevé, et qui est 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].

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 $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

b- Le manganèse.

Les concentrations 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.

c- Le nickel.

Le nickel n'a pas été retrouvé 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.

d- 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 encore une fois plus significative que les conducteurs d'engins de l'alvéole.

Pour le site 1, les concentrations 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 sont de deux à huit fois supérieures à celles retrouvées en milieu urbain.

e- Le cadmium.

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.

Rakhonen [Rakhonen et al., 1987] dans son étude retrouve des taux de cadmium quatre fois moins élevés que dans notre étude.

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).

III.3.5.2.3. Les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques.

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 portent donc sur neuf HAP facilement détectables en HPLC couplée avec la fluorescence. En dessous de l'anthracène, les HAP sont pour une part sous forme gazeuse et ne peuvent être quantifiés par nos méthodes analytiques.

Sur ces neuf HAP, trois sont cancérogènes probables pour l'homme, le Benzo(a)Anthracène, le Benzo(a)Pyrène, et le Dibenzo(a,h)Anthracène, et deux sont cancérogènes possibles pour l'homme, le Benzo(b)Fluoranthène et le Benzo(k)Fluoranthène.

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 cancérogènes 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 Richtkonzentrarionen) 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 possède une VME qui est de 0,002 mg/m³.

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.

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.

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).

Pour les HAP cancérogènes, comme pour le benzène, la relation exposition-effets 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 $8,7 \cdot 10^5$ ng/m³ de B(a)P [Chiron et al., 1997]. Ce qui signifie que près de neuf personnes sur 100000 pourraient présenter un cancer respiratoire si elles étaient exposées, leur vie durant, à une concentration moyenne de 1 ng/m³ de B(a)P mélangé aux autres HAP.

III.3.5.2.4. Les Composés Organiques Volatils.

Sur les deux sites, les conducteurs d'engins de l'alvéole sont soumis à des concentrations de COV jusqu'à treize fois plus élevées qu'aux autres postes. 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, encore une fois, de la part importante occupée par l'activité des engins.

L'estimation de l'exposition globale 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.

a- 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, 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 mg/m³). Dans leur étude, Young et Parker relevaient des concentrations de méthanol atteignant 310 mg/m³, 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.

b- Les HAM.

Pour 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 (toluène, xylènes, éthylbenzène, triméthylbenzène) sont à des taux bas et également proches de ce qui peut être mesuré en zone urbaine.

c- Les HC chlorés.

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 sont inférieures à 0,3% de la VME. Elles sont du même ordre que les taux environnementaux.

III.3.5.2.5. Les aldéhydes.

Sur le site 1, les valeurs retrouvées 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.

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.

III.3.5.3. Synthèse des niveaux d'exposition atmosphérique toxicologique.

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 taille et l'activité des CET considérés, qui sont moins importantes sur le site 1 que sur le site 2. Ces constatations avaient déjà été faites par Rakhonen dans ses deux études [Rakhonen et al., 1987] [Rakhonen 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.

III.4. PROPOSITIONS ET PERSPECTIVES.

III.4.1. Prévention technique.

III.4.1.1. 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) et la 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].

III.4.1.2. 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.

Les mesures existantes et obligatoires doivent être poursuivies.

Elles comprennent :

- le port de vêtements de travail avec mise à disposition de vestiaires doubles (une partie affectée aux vêtements civils ; l'autre à la combinaison de travail, aux chaussures de sécurité ou aux bottes, aux 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.

Par ailleurs, compte tenu de l'évaluation de l'exposition qui a été réalisée et des risques qui ont été identifiés, 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, et notamment pour l'agent vérificateur.

Ainsi, une protection respiratoire adaptée au risque microbiologique (de type P2) doit être portée sur l'alvéole, à proximité des lixiviats ou lors d'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 régulière.

III.4.2. Propositions en matière de surveillance des niveaux d'exposition.

Tout doit être mis en œuvre pour diminuer l'exposition des salariés aux micro-organismes mais aussi au risque toxicologique. La mise en place de mesures de protection collective ou individuelle, lorsque la prévention collective ne peut pas être appliquée, est indispensable pour protéger les travailleurs.

Mais une surveillance des niveaux d'exposition est aussi nécessaire. Un contrôle régulier des taux d'exposition microbiologique et toxicologique doit être réalisé.

Ainsi, un dosage des micro-organismes aéroportés et des endotoxines peut être effectué tous les deux à trois ans au niveau des postes mis en évidence dans notre étude, comme étant les plus exposés.

Il n'existe pas toujours de normes ou de valeurs limites auxquelles il est possible de se faire référer. 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.

Pour les toxiques, certains prélèvements atmosphériques paraissent intéressants.

Les concentrations en particules totales ayant été retrouvées à des taux atteignant 53% de la VME, une surveillance de l'exposition aux aérosols générés par les camions et les compacteurs.

Ainsi la recherche des concentrations atmosphériques individuelles en HAP permettrait d'évaluer l'exposition des salariés au trafic engendré par les différents engins qu'ils côtoient. Parmi les COV, les alcools et notamment le méthanol se présente comme un traceur de l'exposition aux ordures ménagères.

Dans un premier temps, les résultats exprimés par rapport à la VME détermine la fréquence ou la périodicité des mesures à effectuer auprès des salariés. Par ailleurs, tout phénomène de survenue anormale (récurrence 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 de nos résultats, de mesurer l'impact des aménagements techniques ou des protections individuelles mises en place.

D'autre part, les conducteurs d'engins de l'alvéole constituent un groupe homogène d'exposition. A leur niveau, la répétition de ces différents prélèvements permettrait la réalisation d'une analyse statistique.

Pour compléter l'évaluation de l'exposition atmosphérique, reflet de l'exposition par voie respiratoire, la réalisation d'une surveillance biologique 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.

Il est évident que l'industrie des déchets expose à des nuisances. Reste à évaluer, au long cours, cette exposition. Par conséquent, pour les salariés des CET de classe II, comme pour toute activité à risques, des contrôles réguliers des niveaux d'expositions sont à réaliser.

III.4.3. Prévention médicale.

III.4.3.1. Objectif d'un suivi médical.

La réalisation d'un suivi médical s'intégrant dans une étude épidémiologique va permettre la mise en évidence d'indicateurs d'exposition et d'effets précoces sur la santé de la population

sentinelle que constituent les salariés des CET de classe II, considérés comme exposés en regard des populations environnementales.

III.4.3.2. Propositions.

Les risques pour la santé associés à l'activité des déchets dans les CET de classe II sont difficilement détectables, à la fois en raison d'un manque de spécificité des pathologies initiées tant par les micro-organismes que par les toxiques mais aussi, pour ces derniers, du fait de la présence de nombreux produits à l'état de traces pouvant jouer un rôle potentialisateur ou antagoniste, et dont les relations dose-effet sont pratiquement inconnues.

Cependant, après évaluation des expositions microbiologique et toxicologique, des propositions peuvent être faites concernant la mise en place d'une surveillance médicale des travailleurs, dans le cadre de la Médecine du Travail mais aussi pour réaliser un suivi longitudinal afin de constituer une surveillance épidémiologique des salariés des CET de classe II.

Cette surveillance, destinée à mettre en évidence les perturbations de la santé, serait basée sur un questionnaire et un examen clinique annuel, complétés par les examens complémentaires les plus judicieux permettant de révéler toute altération de l'organisme du fait de l'exposition aux déchets.

Compte-tenu des risques microbiologiques et des pathologies engendrées par les niveaux de concentrations mis en évidence, il est nécessaire, en plus de l'amélioration de la prévention technique, 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.

C'est aussi lors de la visite d'embauche que le statut vaccinal des salariés sera contrôlé (vaccinations anti-tuberculeuse, anti-diphtérie tétanos poliomyélite) et/ou complété (vaccinations anti-hépatites A et B et anti-leptospirose).

En plus de l'examen clinique général, une radiographie du thorax, cliché de face grand format et des explorations fonctionnelles respiratoires comportant cinq paramètres de base (CVL, CVF, VEMS/CV, DEM 25-75 en exigeant une courbe débit-volume) sont indispensables comme examens complémentaires de départ à toute exposition.

Pour le suivi médical périodique, une surveillance clinique orientée sur les appareils respiratoire, digestif et neurologique et la recherche de signes d'irritation des muqueuses, avec une surveillance particulière des agents opérant sur les alvéoles, sont indispensables.

A cet examen clinique, renouvelé tous les six mois dans le cadre de la surveillance médicale spéciale des salariés exposés aux ordures (Article R-241-50 du Code du Travail), la surveillance pourra être complétée par des spirométries tous les deux ans, dont le suivi longitudinal permet la détection précoce de troubles respiratoires. La réalisation d'une radiologie pulmonaire tous les deux ans peut être discutée pour les postes les plus exposés. Le bien-fondé du dépistage de troubles neurologiques infra-cliniques à l'aide de tests neuropsychologiques est à considérer à la lumière de travaux en cours. En dehors du suivi épidémiologique des travailleurs des décharges, il est licite de ne pas les proposer actuellement.

Sur le plan biologique, un suivi annuel de la fonction rénale peut être proposé par bandelette urinaire, de pratique simple, il s'agit d'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 et c'est notamment le but de l'étude épidémiologique.

Du fait d'une exposition toxicologique faible de cette population de travailleurs :

- la mise en évidence d'altérations cliniques ou de troubles métaboliques ou fonctionnels nécessite le suivi d'un nombre important de salariés,
- d'autre part, afin de suivre les effets à long terme, et notamment face à un possible risque cancérogène, il serait possible d'envisager un suivi prolongé, voire d'établir une surveillance post-professionnelle. Ceci doit être fait, là encore, dans le cadre d'études épidémiologiques et non dans le cadre d'un suivi individuel, compte-tenu des faibles niveaux toxiques mis en évidence.

CONCLUSION

THESE SOUTENUE PAR : Emmanuelle HUANT-GLOUX

**TITRE : Evaluation des niveaux d'exposition
atmosphérique microbiologique et
toxicologique de salariés des décharges
d'ordures ménagères**

CONCLUSION

Témoin du dynamisme économique et social de notre société, la production des déchets ne cesse de s'accroître. A l'aube du troisième millénaire, leur gestion économique, politique, sanitaire et environnementale est un défi lancé à l'humanité ... par l'humanité.

En 2002, la mise en décharge d'Ordures Ménagères (OM) devrait progressivement être remplacée par des unités d'incinération. De nombreuses questions, quant à l'impact sanitaire et environnemental de ces différentes filières, sont actuellement posées.

Notre travail s'est intéressé aux salariés des Centres d'Enfouissement Technique (CET) de classe II :

- dans une première partie, nous présentons un état des connaissances concernant les polluants microbiologiques et toxicologiques retrouvés dans les CET ainsi que les effets sanitaires décrits dans les principales études épidémiologiques,
- dans une deuxième partie, après avoir identifié les sources de polluants, nous avons évalué les niveaux d'exposition atmosphérique microbiologique et toxicologique des salariés travaillant dans deux CET.

Les expositions toxiques (particules, métaux, Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP), Composés Organiques Volatils (COV) et aldéhydes) des salariés des CET restent très en deçà des Valeurs Limites d'Exposition Professionnelle, et sont du même ordre que celles des salariés des Incinérateurs Urbains d'Ordures Ménagères (IUOM). Le méthanol, composé caractéristique du biogaz, pourrait être utilisé comme polluant traceur des émissions d'OM.

Pour les micro-organismes identifiés dans les décharges, les risques sanitaires sont peu importants, et les concentrations restent inférieures à celles mesurées dans les usines de compostage. Alors que les bactéries Gram négatif sont retrouvées à de faibles concentrations, la présence, tant du point de vue qualitatif que quantitatif, de champignons tels que *Penicillium* ou *Aspergillus* est préoccupante du fait de leur caractère allergisant.

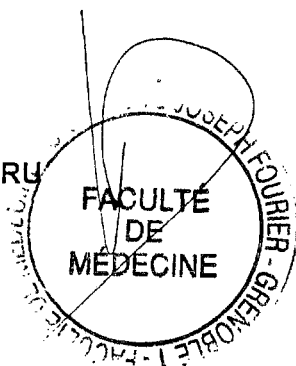
Ces travaux, actuellement poursuivis par une étude transversale clinique à la recherche de symptômes digestifs et pulmonaires, apporteront aux pouvoirs publics des éléments objectifs quant au choix des filières de traitement des OM.

VU ET PERMIS D'IMPRIMER

Grenoble, le 20 Septembre 2000

LE DOYEN

PR. J.L. DEBRU



LE PRESIDENT DE THESE

PR. J.M. MALLION

BIBLIOGRAPHIE

V. BIBLIOGRAPHIE.

Abadia G, Squinazi F. Risques infectieux analysés par secteurs professionnels. Secteurs de l'assainissement. Arch Mal Prof. **1997** ; 58 (4) : 319-22.

ADEME. Les déchets en France. **1993.**

ADEME. Sixième inventaire national des installations de traitement, de transit et de mise en décharge des déchets ménagers et assimilés. Publication interne ADEM-SORM. ITOM 6, Juillet **1995.**

ADEME. Le guide de tous les déchets. Rhône-Alpes. **1997.**

ADEME. Déchets municipaux : des chiffres clés. **1998a.**

ADEME. Atlas des déchets en France. **1998b.**

Air quality guidelines for Europe. Who Regional Publications, European series. **1987**, 23.

Almaguer D, Martinez KF. Health Hazard Evaluation Report No 96-0109. NIOSH, U.S. **1996** : 1-19.

Assmuth T, Kalevi K. Concentrations and toxicological significance of trace organic compounds in municipal waste landfill gas. Chemosphere. **1992** ; 24 (9) : 1207-16.

Bergeret A, Boffeta P, Cardis E, Friedenreich C, Hours M, Maître A, Fabry J. Les travailleurs des décharges comme sentinelles des populations. Arch Mal Prof. **1993** ; 54 (2) : 132-4.

Bismuth C, Baud F, Conso F, Dally S, Fréjaville JP, Garnier R, Jaeger A. Toxicologie Clinique, 5^{ième} édition. Médecine et Science. Flammarion, Paris. **2000.**

Blancher D. Evaluation de l'exposition atmosphérique microbiologique des salariés des décharges d'ordures ménagères. DEA « Méthodes de Recherche sur l'Environnement et la Santé ». Grenoble : Univ. Joseph Fourier. **1999.**

Brookes BI, Young PJ. The development of sampling and gas chromatography-mass spectrometry analytical procedures to identify and determine the minor organic component of landfill gas. Talanta. **1983** ; 30 (9) : 665-76.

Brosseau J, Heitz M. Trace gas compound emissions from municipal landfill sanitary sites. Atmospheric Environment. **1994** ; 28 (2) : 285-93.

Burrell R. Microbiological agents as health risks in indoor air. Environ Health Perspectives. **1991** ; 95 : 29-34.

Castellan RM, Olenchock SA, Kinsley KB, Hankinson JL. Inhaled endotoxin and decreased spirometric values. N Engl J Med. **1987** ; 317 (10) : 605-10.

Chiron M, Quénel P, Zmirou D. La pollution atmosphérique d'origine automobile et la santé publique. Pollution atmosphérique, janv-mars **1997.**

Choudat D, Fabriès JF. Evaluation des risques liés aux expositions à des agents biologiques. Arch Mal Prof. **1997** ; 58 (4) 332-4.

Clark CS, Rylander R, Larsson L. Levels of Gram-negative bacteria, *Aspergillus fumigatus*, dust, and endotoxin at compost plants. Applied and Environmental Microbiology. **1983** ; 45 (5) : 1501-5.

CNRS. Le journal du CNRS. Gérer les déchets, un enjeu pour demain. N°106, Octobre **1998**.

Collins CH, Kennedy DA. The microbiological hazards of municipal and clinical wastes. J Appl Bact. **1992** ; 73 : 1-6.

Collot-Fertey D. Evaluation des niveaux d'exposition toxique chez des salariés travaillant dans un incinérateur d'ordures ménagères. Thèse de médecine. Grenoble : Univ. Joseph Fourier. **1997**.

Couturier C, Galtier L. Etat des connaissances sur le devenir des germes pathogènes et des micropolluants au cours de la méthanisation des déchets et sous-produits organiques. Solagro, ADEME. **1998**.

Degobert P. Automobile et Pollution. Ed Technip, Paris. **1992**.

Desachy C. Les déchets. Sensibilisation à une gestion écologique. Tec et Doc, Paris. **1996**, 89 p.

Deschamps S, Momas I, Festy B. Quelques aspects du risque professionnel lié à l'inhalation d'endotoxines. Arch Mal Prof. **1994** ; 55 (5) : 327-33.

Doucet A. Risques infectieux du traitement des déchets. Concours Médical. **1998** ; 120 (26/27) : 1902-3.

Doutreleau S. Evaluation des niveaux d'exposition aux particules et aux micro-organismes aéroportés chez des salariés travaillant dans un centre de tri des ordures ménagères et approche des effets sur la santé. Diplôme Universitaire de Toxicologie Clinique. Grenoble : Univ. Joseph Fourier. **1999**.

Douwes J, Heederik D. Epidemiologic investigations of endotoxins. Int J Occup Environ Health. **1997** ; 3 (1) : S26-S31.

Drouin L, Goldberg M, Richer N. Risques associés au biogaz émis dans les sites d'enfouissement sanitaire. Travail et Santé. **1993** ; 9 (3) : 11-7.

Dutkiewicz J. Bacteria and fungi in organic dust as potential health hazard. Ann Agric Environ Med. **1997** ; 4 : 11-6.

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 V. Occurrence of volatile metal and metalloid species in landfill and sewage gases. Inter. J. Environ. Anal. Chem. **1995** ; 60: 339-59.

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. J Occup Environ Med. **1997** ; 39 (11) : 1103-10.

Goldberg MS, Goulet L, Riberdy H, Bonvalot Y. Low birth and preterm births among infants born to women living near a municipal solid waste landfill site in Montreal, Quebec. Environ Research. **1995b** ; 69 : 37-50.

Guellec A. Déchets ménagers : pour un retour à la raison. Rapport d'information n°3380. Les Documents d'Information. Commission à la production. Assemblée Nationale. **1997**.

Haguenoer JM, Furon D. Toxicologie et hygiène industrielle : Les dérivés minéraux, 1^{ère} partie – Tome I. Technique et documentation. Paris, **1981**.

Haguenoer JM, Furon D. Toxicologie et hygiène industrielle : Les dérivés minéraux, 2^{ème} partie – Tome II. Technique et documentation. Paris, **1982**.

Hansen J, Ivens UI, Breum NO, Nielsen M, Würtz H, Poulsen OM, Ebbenhøj N. Respiratory symptoms among danish waste collectors. Ann Agric Environ Med. **1997** ; 4 : 69-74.

Heederik D, Douwes J. Towards an Occupational Exposure Limit for endotoxins ? Ann Agric Environ Med. **1997** ; 4 : 17-9.

Heida H, Bartman F, Van der Zee SC. Occupational exposure and indoor air quality monitoring in a composting facility. Am Ind Hyg Assoc. **1995** ; 56 (1) :39-43.

Heldal K, Eduard W, Bergum M. Bioaerosol exposure during handling of sources separated household waste. Ann Agric Environ Med. **1997** ; 4 : 45-51.

Hertzman C, Hayes M, Singer J, Highland. Upper Ottawa Street Landfill Site health study. Environ Health Perspectives. **1987** ; 75 : 173-95.

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**.

Hours M, Asta J, Cardis E, Keck G, Perrodin Y, Terra JL, Zmirou D. Le risque sanitaire lié aux déchets : nécessité d'une approche pluridisciplinaire. Arch Mal Prof. **1993** ; 54 (2) : 135-9.

Husman T. Health Effects of indoor-air micro-organisms. Scand J Work Environ Health. **1996** ; 22 : 5-13.

INRS. Valeurs limites d'exposition professionnelle aux agents chimiques en France. Cahiers de Notes Documentaires. N°174, 1^{er} trimestre **1999a** : 59-77.

INRS. Valeurs limites d'exposition professionnelle aux substances dangereuses. Cahiers de Notes Documentaires. N°176, 3^{ème} trimestre **1999b** : 59-90.

Institut Français du Pétrole. X Montaigne, Chef Département Carburants, Lubrifiants et Emissions. Communication téléphonique. Sept. **2000**.

Ivens UI, Ebbenhøj N, Poulsen OM, Skov T. Season, equipment, and job function related to gastrointestinal problems in waste collectors. Occup Environ Med. **1997** ; 54 (12) : 861-7.

Ivens UI, Breum NO, Ebbenhøj N, Nielsen M, Poulsen OM, Würtz H. Exposure-reponse relationship between gastrointestinal problems among waste collectors and bioaerosol exposure. Scand J Work Environ Health. **1999** ; 25 (3) : 238-45.

Joly N, Garnier R, Reygagne A. Pollution par les moteurs Diesel : origine et toxicité des différents polluants. SNCF – Inf Méd n°179. oct-déc **1993**.

Kjeldsen P, Fischer EV. Landfill gas migration-field investigations at Skellingsted, Denmark. Waste Manage. Res. **1995** ; 13 : 467-84.

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.

Lacey J, Dutkiewicz J. Bioaerosols and occupational lung disease. J Aerosol Sci. **1994** ; 25 (8) : 1371-404.

Lailas N. International perspectives of landfill gas. JR Emberton et RF Emberton. Proceedings of a conference jointly sponsored by the U.K. and the U.S. Department of Energy. **1986**, 13-6.

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.

Lambert S. (Rhône-Poulenc SA). Manuel environnement à l'usage des industriels. **1994**, 397 p.

Lauwerys R. Toxicologie industrielle et intoxication professionnelle. Ed. Masson, 4^{ème} édition. **1999**.

Lembke LL, Kniseley RN. Airborne micro-organisms in a municipal solid waste recovery system. Can J Microbiol. **1985** ; 31 (3) : 198-205.

Lundholm M, Rylander R. Work related symptoms among sewage workers. Br J Ind Med. **1983** ; 40 : 325-9.

Maes M. La maîtrise des déchets industriels. Ed. Johanet et fils. **1992**, 453 p.

Mozzon D, Brown DA, Smith JW. Occupational exposure to airborne dust, respirable quartz and metals arising from refuse handling, burning and landfilling. American Industrial Hygiene Association J. **1987** ; 48 (2) : 111-6.

Michel O. Human challenge studies with endotoxins. Int J Occup Environ Health. **1997** ; 3 (1) : S18-S25.

Nielsen T, Jorgensen HE, Grundhal L. Traffic PAH and other air pollutants in the center of a large city. RISO-R-787 (EN). **1995**.

Norbäck D, Edling C, Wieslander G, Ramadhan S. Exposure to volatile organic compounds (VOC) in the general Swedish population and its relation to perceived air quality and sick building syndrome (SBS). Indoor Air. **1993** ; 1 : 573-8.

Norbäck D, Wieslander G, Edling C. Occupational exposure to volatile organic compounds (VOCs), and other air pollutants from the indoor application of water-based paints. Ann Occup Hyg. **1995a** ; 39 (6) : 783-94.

Norbäck D, Wieslander G, Ström G, Edling C. Exposure to Volatile Organic Compounds of Microbial origin (MCOV) during indoor application of water-based paints. Indoor Air. **1995b** ; 5 : 166-70.

Pahren HR. Micro-organisms in municipal solid waste and public health implications. *CRC Crit Rev Environ Cont.* **1987** ; 17 (3) : 187-228.

Parat S, Perdrix A. Climatisation et santé. *Encycl Méd Chir, Toxicologie-Pathologie professionnelle.* **1999** ; 16-778-A-10, 6p.

Pelchat M. Rapport sur les problèmes posés par les déchets ménagers. Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques. n°3246, Assemblée Nationale. n°200, Sénat. **1993**.

Pépin C, Lavoie J, Marchand G. Evaluation des bioaérosols dans un centre de récupération et de mise en ballots de déchets. *Travail et Santé.* **1996** ; 12 (2) : 22-4.

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 p.

Perdrix A, Legrand C, Thouvenin MA, Prat S, Maître A, De Gaudemaris R. Risques biologiques et alvéolites allergiques extrinsèques (A.A.E.). *Arch Mal Prof.* **1997c** ; 58 : 359-62.

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.

Pinel C, Parat S, Grillot R, Perdrix A. Mycotoxines. *Encycl Méd Chir, Toxicologie-Pathologie professionnelle.* **1998** ; 16-070-A-10, 5p.

Poulsen OM, Breum NO, Ebbehøj N, Hansen AM, Ivens UI, Van Lelieveld D, Malmros P, Matthiasen L, Nielsen BH, Nielsen EM, Schibye B, Skov T, Stenbaek EI, Wilkins KC. Sorting and recycling of domestic waste. Review of occupational health problems and their possible causes. *Sci Total Environ.* **1995a** ; 168 (1) : 33-56.

Poulsen OM, Breum NO, Ebbehøj N, Hansen AM, Ivens UI, Van Lelieveld D, Malmros P, Matthiasen L, Nielsen BH, Nielsen EM, Schibye B, Skov T, Stenbaek EI, Wilkins KC. Collection of domestic waste. Review of occupational health problems and their possible causes. *Sci Total Environ.* **1995b** ; 170 (1/2) : 1-19.

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.

Rahkonen P. Airborne contaminants at waste treatment plants. *Waste Manage Res.* **1992** ; 10 :411-21.

Reinhart DR. A review of recent studies on the sources of hazardous compounds emitted from solid waste landfills : a U.S. Experience. *Waste Manage. Res.* **1993** ; 11 : 257-68.

Rylander R, Morey P. Airborne endotoxin in industries processing vegetables fibers. *Am Ind Hyg Assoc J.* **1982** ; 43 (11) : 811-2.

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, Donham KJ.** Prologue. Am J Ind Med. **1986** ; 10 : 199-200.
- Rylander R.** The role of endotoxin for reactions after exposure to cotton dust. Am J Ind Med. **1987** ; 12 : 687-97.
- Rylander R, Bake B, Fischer JJ, Helander IM.** Pulmonary function and symptoms after inhalation of endotoxin. Am Review Resp Disease. **1989** ; 140 : 981-6.
- Rylander R.** Organic dusts – from knowledge to prevention. Scand J Work Environ Health. **1994** ; 20 special issue : 116-22.
- Rylander R.** Evaluation of the risks of endotoxin exposure. Int J Occup Environ Health. **1997** ; 3 (1) : S32-S36.
- Schlosser O.** Exposition aux eaux usées et Risques Microbiologiques. Service Médical – CGEaux, Paris. **1994**.
- Sigsgaard T, Bach B, Malmros P.** Respiratory impairment among workers in a garbage-handling plant. Am J Ind Med. **1990** ; 17 : 92-3.
- Sigsgaard T, Malmros Per, Nersting L, Petersen C.** Respiratory disorders and atopy in danish refuse workers. Am J Respir Crit Care Med. **1994a** ; 149 : 1407-12.
- Société Française de Santé Publique.** Faut-il encore avoir peur de nos déchets ménagers ? Collection Santé et Société n°5. **1997**, 115 p.
- Stoklov M, Fertey D, Bergeret A, Hours M, Richioud M, Robinet J, Maître A.** Evaluation de l'exposition toxique des salariés d'usines d'incinération d'ordures ménagères. Arch Mal Prof. **1997**; 58 (supp 1): 480-82.
- Testud F.** Pathologie toxique en milieu du travail. Ed. Lacassagne, 2^{ème} édition. **1998**.
- Tuomi K, Ilmarinen J, Eskelinen L, Jarvinen E, Toikkanen J, Klockars M.** Prevalence and incidence rates of diseases and work ability in different work categories of municipal occupations. Scand J Work Environ Health. **1991** ; 17 (suppl 1) 67-74.
- Van Tengeren M, Van Amelsvoort L, Heederik D.** Exposure to organic dusts, endotoxins, and micro-organisms in the municipal waste industry. Int J Occup Environ Health. **1997** ; 3 (1) : 30-6.
- Viala A.** Eléments de Toxicologie. Ed. Lavoisier Tec et Doc. **1998**.
- Young PJ, Heasman LA.** An assessment of the odor and toxicity of the trace components of landfill gas. **1985** ; Proc. G.R.C.D.A. 8TH Int. Landfill gas symp. San Antonio. Texas. 93-114.
- 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.
- Weber S, Kullman G, Petsonk E, Jones WG, Olenchock S, Sorenson W, Parker J, Marcelo-Baciu R, Frazer D, Castranova.** Organic dust exposures from compost handling : Case presentation and respiratory exposure assessment. Am J Ind Med. **1993** ; 24 : 365-74.
- White A.** Risques toxiques professionnels liés à l'application des peintures à l'eau. Thèse de médecine. Grenoble : Univ. Joseph Fourier. **2000**.

WHO working group. Acroleine. *Envir Health Criteria*. **1992** ; 127 : 111.

Wilkins K. Volatile organic compounds from household waste. *Chemosphere*. **1994** ; 29 (1) : 47-53.

Wilkins K, Larsen K. Volatile organic compounds from garden waste. *Chemosphere*. **1996** ; 32 (10) : 2049-55.

Wood JA, Porter ML. Hazardous pollutants in class II landfills. *J. Air Poll. Control Assoc.* **1987** ; 37 (5) : 609-15.

Zuskin E, Mustajbegovic J, Kern J, Pavicic D, Budak A. Airway function and respiratory symptoms in sanitation workers. *J Occup Environ Med*. **1996** ; 38 (5) : 522-7.

ANNEXES

VI. ANNEXES.

ANNEXE 1

Méthodes de prélèvements et d'analyses atmosphériques de microbiologie.

1. Les Micro-organismes.

1.1. Les Prélèvements.

Les prélèvements d'air sont effectués par impacteurs Andersen un étage permettant le recueil des micro-organismes viables et cultivables directement sur des milieux de culture gélosés. (Cf. Annexe 2).

L'impacteur est relié à une pompe aspirante de débit connu (débit de 28,3 litres/mn). L'air est aspiré à travers un tamis comportant 400 orifices calibrés permettant, grâce à une accélération de l'air, l'impaction des micro-organismes sur le milieu de culture.

1.2. Les Analyses.

Toutes les boîtes de culture sont mises à l'étuve pour incubation (à 30, 42 ou 52°C selon les micro-organismes à identifier), pendant 5 à 8 jours (jusqu'à 3 semaines si la culture est négative). Après incubation, les colonies sont dénombrées et identifiées.

Pour obtenir les concentrations des espèces microbiologiques, le nombre de colonies est rapporté au volume prélevé et les résultats sont exprimés en CFU/m³ (Colony Forming Unit ou Unités Formant Colonie par m³).

L'identification est réalisée par étude macroscopique et microscopique par une technicienne du laboratoire de Médecine du Travail de Grenoble (IUMTE) pour les champignons et par le laboratoire de bactériologie du CHU de Grenoble (Dr. J. Croizé) pour les bactéries.

2. Les Endotoxines.

2.1. Les Prélèvements.

Pour la réalisation des prélèvements, l'air est aspiré au moyen de pompes de débit 1 litre/mn, reliées à une cassette préalablement stérilisée, contenant un filtre en fibres de verres également stérilisé.

2.2. Les Analyses.

Les filtres sont adressés pour analyse selon la méthode LAL (*Limulus Amebocyte Lysate*) au laboratoire de Microbiologie clinique de l'hôpital universitaire d'Uppsala en Suède (Dr. M. Lundholm).

ANNEXE 2

Milieux de culture gélosés destinés à recueillir les micro-organismes.

Milieu Tryptocase-Soja 30°C
Flore bactérienne totale

Milieu Chapman 30°C
Staphylocoques

Milieu Drigalski 30°C
Bactéries Gram-négatif

Milieu Malt-Agar 30°C
Flore fongique

Milieu Rose-Bengal 30°C
Flore fongique

Milieu Malt-Agar 42°C
Aspergillus

Milieu Tryptocase-Soja 52°C
Actinomycètes thermophiles

Méthodes de prélèvements et analyses atmosphériques des toxiques.

1. Phase particulière.

1.1. Les particules inertes (poussières).

Poussières Totales.

- Norme AFNOR NFX 43-261.
- Prélèvement : * support : filtre en fibres de quartz, taré ($\varnothing$ 37 mm),
placé dans un porte-filtre en polystyrène.
* durée et débit : 8 heures, 2000 ml/mn.
- Analyse : * technique : détermination gravimétrique de la pollution
particulaire effectuée par pesée des filtres avant et
après intervention (comparaison à des filtres témoins)
et évaluation en mg/m^3 .

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.
* durée et débit : 8 heures, 1700 ml/mn.
- Analyse : * technique : détermination gravimétrique de la pollution
particulaire effectuée par pesée des filtres avant et
après intervention (comparaison à des filtres témoins)
et évaluation en mg/m^3 . Il s'agit de particules de diamètre $< 5 \mu\text{m}$.

1.2. Les particules métalliques.

- Prélèvement : * support : filtre en fibre de quartz posé dans un porte-
filtre en polystyrène, cassette fermée.
* durée et débit : 8 heures, 1000 ml/mn.
- Analyse : * désorption : acide nitrique / acide fluorhydrique (2/3).
* technique : spectrométrie d'Absorption Atomique.

1.3. Les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP).

- Norme AFNOR NFX 43-294.
- Prélèvement : * support : filtre en PTFE non taré ($\varnothing$ 25 mm),
placé dans un porte-filtre en polypropylène.
* durée et débit : 8 heures, 1000 ml/mn.
- Analyse : * désorption : dichlorométhane aux ultrasons (60 mn).
* technique : Chromatographie Liquide Haute Performance (HPLC)
– détection par fluorescence.

2. Phase gazeuse.

Les Composés Organiques Volatils (COV).

2.1. Quantification des solvants apolaires.

- norme AFNOR NFX 43-252.
- Prélèvement : * support : tube en verre contenant du charbon actif,
deux plages de 100 et 50 mg de charbon actif.
* durée et débit : 8 heures, 250 ml/mn.
- Analyse : * désorption : 1 ml de sulfure de carbone.
* technique : Chromatographie en Phase Gazeuse (CPG)
avec détecteur à ionisation de flamme.

2.2. Alcools-Phénol.

- Norme AFNOR NFX 43-258.
- Prélèvement : * support : tube en verre avec deux plages de silicagel
* durée et débit : 8 heures, 100 ml/mn
- Analyse : * désorption : eau / méthanol
* technique : CPG avec détecteur à ionisation de flamme.

2.3. Aldéhydes.

- norme AFNOR NFX 43-264.
- Prélèvement : * support : tube en verre ($\varnothing$ 8 mm, L 150 mm) rempli
de silicagel (plage de 500 mg) imprégné de 2,4-
dinitrophénylhydrazine (à conserver au froid, validité 3 semaines).
* durée et débit : 8 heures, 100 ml/mn
- Analyse : * désorption : 5 ml d'acétonitrile
* technique : HPLC, détection UV.

ANNEXE 4

Valeurs Moyennes d'Exposition des toxiques et classification CIRC.

1. Polluants en phase particulaire.

1.1. Les Particules.

Particules totales : VME = 10 mg/m³
Particules < 5µm VME = 5 mg/m³

1.2. Les métaux.

mg/m ³	VME	Classement CIRC
Plomb	0,15	2B
Cadmium et ses composés	0,05	1
Chrome (métal)	0,5	3
Composés Chrome VI	0,05	1
Arsenic	0,2	3
Manganèse	1	-
Nickel	1	1

1.3. Les HAP.

Il n'existe pas de VME pour les HAP totaux.

Pour le benzo(a)pyrène, VME recommandée par la CNAM :
150ng/m³

ng/m ³ (%)	Classement CIRC
Fluoranthène	3
Pyrène	3
Benzo(a)anthracène	2A
Chrysène	3
Benzo(b)fluoranthène	2B
Benzo(k)fluoranthène	2B
Benzo(a)pyrène	2A
Dibenzo(a,h)anthracène	2A
Benzo(g,h,i)pérylène	3

2. VLE et VME des polluants en phase gazeuse pouvant être rencontrés en milieu industriel.

2.1. Les Composés Organiques Volatils.

mg/m ³	Valeurs de référence (VME)	Classement CIRC
HAM		
Benzène	3	1
Toluène	375	3
Xylènes	435	3
Ethyl benzènes	435	-
Triméthyl benzènes	125	-
Alcools		
Méthanol	260	-
Ethanol	1900	-
Hydrocarbures oxygénés		
Acétone	1800	-
Oxyde de diéthyle (éther)	1200	-
HC chlorés		
Trichloroéthylène	405	2A
Tétrachloroéthylène	335	2A

2.2. Les Aldéhydes.

mg/m³	Valeurs de référence (VME)	Classement CIRC
Formaldéhyde	0,6	2A
Acétaldéhyde	180	2B
Acroléine	-	3

ANNEXE 5

Valeurs environnementales recommandées ou retrouvées en zone urbaine.

1. Polluants en phase particulaire.

1.1. Les Particules.

Directive CEE (1980) : $130 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur 24 heures.

Directive de l'OMS : $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur 24 heures.

1.2. Les Métaux.

	Valeurs retrouvées en zone urbaine (WHO)	Valeurs recommandées par l'OMS (AQG)
Unités	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{an}$
Plomb	0,5-3	0,5-1
Cadmium	0,01-0,06	0,02
Chrome	0,004-0,07	-
Arsenic	0,01-0,75	-
Manganèse	0,01-0,07	1
Nickel	0,003-0,25	-

1.3. Les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques.

ng/m^3 (%)	Valeurs retrouvées en zone urbaine
Fluoranthène	2,8 à 18,3 (20 à 24%)
Pyrène	2,1 à 25,9 (31 à 36%)
Benzo(a)anthracène	0,02 à 4,13
Chrysène	0,2 à 7,04
Benzo(b)fluoranthène	0,03 à 6,88
Benzo(k)fluoranthène	0,06 à 2,66
Benzo(a)pyrène	0,28 à 4,71
Dibenzo(a,h)anthracène	-
Benzo(g,h,i)pérylène	0,14 à 6,86

2. Les polluants en phase gazeuse.

2.1. Les Composés Organiques Volatils.

$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Valeurs retrouvées en zone urbaine
Alcanes totaux	
Hexane	0-54
Heptane	0,13-11
Octane	0,15-2,2
Nonane	0

$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Valeurs recommandées par l'OMS (AQG)	Valeurs retrouvées en zone urbaine
HAM totaux		220 à 550
Benzène	-	5-38
Toluène	7500 sur 24 heures	14-92
Xylènes	-	14-129
Ethylbenzène	-	3-25
HC chlorés totaux		
Dichlorométhane	3000	0,4-1
111 Trichloroéthane	-	2-13
Trichloroéthylène	1000	-
Tétrachloroéthylène	5000	-

2.2. Les aldéhydes, l'Acétone et les Alcools.

$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Valeurs recommandées en zone urbaine
Formaldéhyde	4-17
Acétaldéhyde	3-24
Acroléine	0,2
Acétone	4-20
Ethanol	10-200

Seule une VLE existe pour le formaldéhyde de $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur 30 mn.

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES

I. INTRODUCTION.....	1
II. ETAT DES CONNAISSANCES.....	3
II.1. LES DECHETS.	3
II.1.1. Qu'est-ce qu'un déchet ?	3
<i>II.1.1.1. Définition.....</i>	<i>3</i>
<i>II.1.1.2. Les différents types de déchets.....</i>	<i>3</i>
II.1.2. La législation française concernant les déchets.....	6
II.1.3. Les ordures ménagères.	7
<i>II.1.3.1. Définition.....</i>	<i>7</i>
<i>II.1.3.2. La composition.....</i>	<i>8</i>
<i>II.1.3.3. La production.</i>	<i>10</i>
II.2. LES PRINCIPALES FILIÈRES DE TRAITEMENT DES DÉCHETS.....	12
II.2.1. Présentation générale.....	12
<i>II.2.1.1. La collecte séparative, le tri, le recyclage, la valorisation.</i>	<i>12</i>
<i>II.2.1.2. La mise en décharge.</i>	<i>13</i>
<i>II.2.1.3. Les traitements par voie thermique.</i>	<i>13</i>
<i>II.2.1.4. Les traitements par voie physico-chimique.....</i>	<i>14</i>
<i>II.2.1.5. Le compostage-épandage.</i>	<i>15</i>
<i>II.2.1.6. La méthanisation.....</i>	<i>15</i>
<i>II.2.1.7. La stabilisation.</i>	<i>15</i>
II.2.2. Les filières de traitement des déchets ménagers et assimilés.	17
<i>II.2.2.1. La caractérisation et la distribution des différents modes de traitement des DMA.</i>	<i>17</i>
<i>II.2.2.2. Les coûts de stockage et de traitement des DMA.</i>	<i>21</i>
<i>II.2.2.3. L'emploi généré par les DMA.....</i>	<i>22</i>
II.3. LES CENTRES D'ENFOUISSEMENT TECHNIQUE.	23
II.3.1. La réglementation du stockage des déchets ménagers.....	23
II.3.2. Les différents types de centres d'enfouissement technique.....	25
II.3.3. Le fonctionnement d'un centre d'enfouissement technique de classe 2.....	28
<i>II.3.3.1. Les aménagements préalables à la mise en centre de stockage.</i>	<i>28</i>
<i>II.3.3.2. Le parcours des déchets dans un centre d'enfouissement technique.....</i>	<i>32</i>

II.4. LES POLLUANTS RETROUVES DANS LES CENTRES D'ENFOUISSEMENT TECHNIQUE. 34

II.4.1. Les micro-organismes. 34

II.4.1.1. Présentation générale. 34

II.4.1.2. Les micro-organismes dans les centres d'enfouissement technique. 39

II.4.1.3. La comparaison à d'autres environnements contaminants. 41

II.4.2. Les toxiques. 47

II.4.2.1. Les polluants en phase particulaire. 47

II.4.2.2. Les polluants en phase gazeuse. 53

II.5. LES CENTRES D'ENFOUISSEMENT TECHNIQUE ET LES RISQUES POUR LA SANTE..... 62

II.5.1. La méthodologie des différentes études..... 63

II.5.2. Les pathologies. 66

II.5.2.1. Les pathologies respiratoires. 66

II.5.2.2. Les pathologies oculaires et ORL. 68

II.5.2.3. Les pathologies cutanées. 69

II.5.2.4. Les pathologies digestives. 69

II.5.2.5. Les pathologies neurologiques et de l'humeur. 70

II.5.2.6. Les cancers. 70

II.5.2.7. Les faibles poids de naissance, les malformations congénitales. 71

II.5.2.8. Autres pathologies. 71

II.6. CONCLUSION. 73

III. EVALUATION DE L'EXPOSITION MICROBIOLOGIQUE ET TOXICOLOGIQUE DE SALARIES DE DEUX CENTRES D'ENFOUISSEMENT TECHNIQUE. 74

III.1. MATERIEL ET METHODE..... 74

III.1.1. Les sites..... 74

III.1.2. Les émissions..... 75

III.1.2.1. Les micro-organismes..... 75

III.1.2.2. Les toxiques..... 77

III.1.3. L'exposition des salariés. 77

III.1.3.1. Les micro-organismes..... 77

III.1.3.2. Les toxiques..... 79

III.1.4. Les conditions d'intervention. 82

III.1.4.1. L'activité des sites..... 82

III.1.4.2. Les conditions météorologiques..... 82

III.2. LES RESULTATS.	83
III.2.1. La présentation des sites.	83
III.2.2. Les conditions d'intervention.	84
<i>III.2.2.1. Le déroulement de l'étude.</i>	<i>84</i>
<i>III.2.2.2. L'activité des sites.</i>	<i>84</i>
<i>III.2.2.3. Les conditions météorologiques.</i>	<i>85</i>
III.2.3. L'exposition atmosphérique microbiologique.	86
<i>III.2.3.1. A l'émission.</i>	<i>86</i>
<i>III.2.3.2. Au niveau des salariés.</i>	<i>92</i>
III.2.4. L'exposition atmosphérique toxicologique.	101
<i>III.2.4.1. La description des postes de travail.</i>	<i>101</i>
<i>III.2.4.2. Les polluants sélectionnés.</i>	<i>104</i>
<i>III.2.4.3. Les polluants retrouvés.</i>	<i>106</i>
III.3. DISCUSSION.	126
III.3.1. L'accueil qui nous a été réservé.	126
III.3.2. Les sites.	126
III.3.3. Les conditions d'intervention.	127
III.3.4. L'exposition atmosphérique microbiologique.	127
<i>III.3.4.1. La méthode.</i>	<i>127</i>
<i>III.3.4.2. L'analyse.</i>	<i>128</i>
<i>III.3.4.3. Les résultats des niveaux d'exposition microbiologique.</i>	<i>129</i>
<i>III.3.4.4. Synthèse des niveaux d'exposition atmosphérique microbiologique.</i>	<i>132</i>
III.3.5. Les niveaux d'exposition atmosphérique toxicologique.	133
<i>III.3.5.1. La méthode.</i>	<i>134</i>
<i>III.3.5.2. Les résultats des niveaux d'exposition toxicologique.</i>	<i>134</i>
<i>III.3.5.3. Synthèse des niveaux d'exposition atmosphérique toxicologique.</i>	<i>141</i>
III.4. PROPOSITIONS ET PERSPECTIVES.	142
III.4.1. Prévention technique.	142
<i>III.4.1.1. Prévention collective.</i>	<i>142</i>
<i>III.4.1.2. Prévention individuelle.</i>	<i>142</i>
III.4.2. Propositions en matière de surveillance des niveaux d'exposition.	143
III.4.3. Prévention médicale.	144
<i>III.4.3.1. Objectif d'un suivi médical.</i>	<i>144</i>
<i>III.4.3.2. Propositions.</i>	<i>145</i>

IV. CONCLUSION.....	147
V. BIBLIOGRAPHIE.	149
VI. ANNEXES.	156
ANNEXE 1	156
ANNEXE 2	157
ANNEXE 3	158
ANNEXE 4	160
ANNEXE 5	163



SERMENT D'HIPPOCRATE

En présence des Maîtres de cette Faculté, de mes chers condisciples, devant l'effigie d'HIPPOCRATE.

Je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité dans l'exercice de la médecine.

Je donnerai mes soins à l'indigent et n'exigerai jamais un salaire au dessus de mon travail, je ne participerai à aucun partage clandestin d'honoraires.

Admis dans l'intérieur des maisons, mes yeux n'y verront pas ce qui s'y passe, ma langue taira les secrets qui me seront confiés et mon état ne servira pas à corrompre les mœurs, ni à favoriser le crime.

Je ne permettrai pas que des considérations de religion, de nation, de race, de parti ou de classe sociale viennent s'interposer entre mon devoir et mon patient.

Je garderai le respect absolu de la vie humaine.

Même sous la menace, je n'admettrai pas de faire usage de mes connaissances médicales contre les lois de l'humanité.

Respectueux et reconnaissant envers mes Maîtres, je rendrai à leurs enfants l'instruction que j'ai reçue de leur père.

Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses.

Que je sois couvert d'opprobre et méprisé de mes confrères si j'y manque.

