



ETUDE N° 99-0654/3A

SYNTHESE DE L'ETUDE

FRANÇAIS / ANGLAIS

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

septembre 2001

M. HOURS - Réseau Santé Déchets

Ph. BERNY - Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon

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

Caractérisation et mesure des niveaux d'exposition ;

Mise au point d'outils de suivi en vue de l'évaluation des risques sanitaires

Hours Martine^{ab}, Anzivino Lucie^a, Asta Juliette^{ac}, Billeret Mikaéline^d, Berny Philippe^d, Keck Gérard^{ad}, Maitre Anne^e, Parat Sylvie^e, Stoklov Muriel^e, Sarrasin Bernard^f, Perrodin Yves^{af}

a : Réseau Santé –Déchets¹, Lyon

b : Unité Mixte de Recherche Epidémiologique Transport Travail Environnement UCBL-INRETS, Lyon

c : Laboratoire de Biologie Alpine, Université J. Fourier Grenoble

d : Laboratoire de Toxicologie, Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon,

e : Institut Universitaire de Médecine du Travail et d'Environnement, Université J. Fourier Grenoble

f : INSA de Lyon, Division POLDEN

SYNTHESE du RAPPORT FINAL,

1- Introduction

Les impacts potentiels sur la santé associés à l'activité de gestion ou de traitement des déchets sont peu connus, en particulier dans le cadre des centres de stockage d'ordures ménagères. Plusieurs facteurs rendent difficiles leur identification au sein des populations riveraines : concentrations en polluants chimiques dans les milieux environnants (air, eau, sols) très variables ; mélange complexe de produits dont de nombreux sont à l'état de traces ; symptômes, susceptibles d'être générés, banals et très peu spécifiques. La composition des émissions gazeuses des décharges municipales varie notamment selon la nature et le volume des déchets stockés, l'âge de la décharge et son mode d'exploitation. Les émissions gazeuses provenant du massif de déchets ont une composition variable d'un site à l'autre mais elles contiennent principalement du méthane, du dioxyde de carbone et de l'azote. Ceux-ci sont accompagnés par de nombreux composés volatils à l'état de traces dont certains sont toxiques à de faibles concentrations. Le risque microbien est également à envisager, particulièrement pour les personnes exposées professionnellement. En effet, de nombreux micro-organismes sont potentiellement présents dans les déchets ménagers, qui sont des milieux de culture favorables.

Devant les données très parcellaires disponibles sur l'activité de stockage des ordures ménagères, une **approche pluridisciplinaire** a été conçue par le RSD dont les objectifs étaient :

¹ Le Réseau Santé-Déchets (RSD) est constitué d'équipes de chercheurs appartenant à diverses institutions de recherche et d'enseignement, qui se sont regroupées dans le but de mettre leurs compétences en commun pour réaliser des recherches permettant d'acquérir des données fiables sur les filières de traitement des déchets, en particulier dans le domaine des impacts potentiels sur la santé.

1- d'acquérir des données quantifiées de métrologie atmosphérique sur le site (émissions gazeuses et ambiance du site) et dans son environnement proche, ainsi que des données sur les éventuels impacts sanitaires de ces émissions sur les salariés des sites ;

2- de proposer une méthodologie de suivi permettant de cibler au mieux les paramètres les plus pertinents à recueillir sur les sites de stockage pour une caractérisation ultérieure du risque sanitaire associé à cette filière.

Ce programme a reçu le soutien financier et logistique de l'Agence de l'Environnement et pour la Maîtrise de l'énergie (Ademe), de l'Association RE.CO.R.D. (Réseau Coopératif de Recherche sur les Déchets), et de deux partenaires industriels (SITA et le CREED). Chacun de ces deux derniers partenaires nous a favorisé l'entrée sur un site pour la réalisation de l'étude.

Souhaitant travailler pour l'avenir, le choix d'étudier deux sites gérés dans le respect des dernières réglementations en vigueur a été fait. Les sites choisis reçoivent tous les deux majoritairement des ordures ménagères (plus de 60 %) ainsi que des boues de station d'épuration et des déchets industriels banals. Tous deux sont équipés de réseaux permettant le recueil des lixiviats et du biogaz, ce dernier étant brûlé au niveau des sites à l'aide de torchères. L'un des sites possède une station de traitement des lixiviats, alors que l'autre site les évacue vers la station d'épuration locale.

Plusieurs éléments ont prévalu lors de la définition du programme d'étude :

- Etant donné la pauvreté des données de métrologie disponibles pour les décharges d'ordures ménagères, les ordres de grandeur des niveaux de polluants à mesurer sur les sites n'étaient pas connus. Avant d'engager des études au niveau des populations riveraines, il a donc été décidé de caractériser de manière approfondie les émissions et les ambiances des sites et d'étudier les populations les plus exposées que sont les salariés ; des investigations plus directement au sein des populations ne se réalisant que dans un second temps (si des niveaux conséquents et des troubles perçus chez les salariés, considérés comme population « sentinelle » le justifient).
- L'aspect « odeurs » n'a été abordé que par la mesure de certains polluants, le but étant la mesure d'éléments toxiques et non une expertise des nuisances environnementales.
- Il ne s'agissait pas de faire une analyse de « perception » des sites par les populations riveraines.

2- Méthodologie

Pour répondre aux objectifs de l'étude, nous avons mis en place une approche méthodologique en plusieurs étapes :

1) **métrologie chimique et micro-biologique**

a) **Au niveau des sources d'émission** : le but de cette étape était de caractériser le plus largement possible et de quantifier les polluants présents dans les émissions aériennes d'une décharge et dans les sols superficiels prélevés en différents points des deux sites sélectionnés. A la suite de cette étape, une sélection des polluants présents dans les sources a été réalisée par le groupe pluridisciplinaire sur la base de leur importance en terme quantitatif et/ou de leur intérêt du point de vue toxicologique.

b) métrologie des polluants et des micro-organismes sélectionnés **aux postes de travail, en ambiance générale du site, et à proximité de celui-ci** (notamment aux moments d'émissions du panache), de manière à caractériser les polluants présents dans l'air respiré par les salariés et les populations situées **au niveau des premières habitations**. Cette étape est complétée par la surveillance biologique d'indicateurs d'exposition aux mêmes polluants chez les salariés exposés.

2) **Recherche de bioindicateurs**

a) **d'exposition par la mesure des polluants dans les lichens** présents ou mis en place sur (et à proximité) des sites.

b) d'exposition et d'effet par une **étude expérimentale au laboratoire sur des rats** vivant sur des sols prélevés à la superficie du site afin de caractériser les impacts toxiques éventuels des polluants volatils qualitativement proches de ceux que l'on mesure sur le site .

3) **Recherche d'un éventuel impact sur la santé humaine**

par une étude épidémiologique transversale **des salariés** de ces sites par comparaison à une population salariée témoin non exposée (recueil des plaintes subjectives et des habitudes de vie personnelle, examen clinique, examen biologique, exploration fonctionnelle respiratoire et tests psychomoteurs). Cette dernière étude n'avait pas l'ambition de révéler des impacts très discrets sur la santé des salariés, compte-tenu d'un effectif faible, mais visait à tester une méthodologie de surveillance épidémiologique des salariés de l'activité.

3- **Résultats**

3.1- **Résultats de métrologie**

Les concentrations mesurées dans l'air des sites et près des habitations les plus proches sont dans l'ensemble faibles, à l'exception des poussières, du manganèse et des micro-organismes. Elles sont assez variables d'un site à l'autre et semblent dépendre du tonnage annuel d'ordures ménagères et de boues reçues, ainsi que de l'environnement extérieur des sites (Tableau I) .

1) Les composés organiques volatils (COV) :

Ils représentent une des familles les plus présentes dans l'atmosphère des centres d'enfouissement technique, notamment au niveau de l'alvéole de travail. Les COV majoritaires sont représentés par les cétones, les aldéhydes et les alcools. Certains de ces composés participent aux émissions d'odeurs. Les cétones et les aldéhydes sont des composés ayant une action essentiellement irritative, notamment respiratoire. Seul le formaldéhyde est classé comme cancérigène probable mais les niveaux observés sont faibles, très inférieurs à ceux observés en atmosphère urbaine.

- En ce qui concerne les alcools, on note la présence significative de méthanol, en certains points des sites, qui paraît être un composé produit lors de la dégradation des déchets. Le niveau observé reste cependant très faible au regard des impacts potentiels sur la santé,
- Les niveaux globaux observés dans les sources en mercaptans (légers) sont très faibles en regard des niveaux représentant des risques toxicologiques ; cependant, à ces concentrations, ils sont responsables de production d'odeurs,
- Le benzène est un composé retrouvé dans les émissions aériennes au même niveau, voire inférieur de ce qui est mesuré en atmosphère urbaine,
- Les composés organochlorés, décrits dans la littérature comme étant régulièrement retrouvés en quantité non négligeable dans les ambiances de décharges, sont effectivement présents dans les émissions et sont considérés comme de bons indicateurs de l'activité de la décharge. Nous n'observons, en revanche, pas de niveau significatif en terme de santé pour le trichloréthylène ou le tétrachloréthylène.

2) Les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques particuliers (HAPp) :

Les niveaux en HAPp sur l'alvéole exploitée sont nettement plus importants lors des journées de travail que la nuit, et la répartition des divers HAP est caractéristique des émissions diesel. Les analyses réalisées conduisent à mettre l'accent sur l'impact des mouvements de véhicules sur ces sites. Cependant, les niveaux observés sont de l'ordre des niveaux observés en milieu urbain.

3) Les poussières :

Les poussières fines ($<5\mu\text{m}$) sont observées à des niveaux variables dans les ambiances des deux sites. Des niveaux *ponctuels* très élevés ont été mesurés sur chacun des deux sites. Sur des prélèvements de longue durée, certains prélèvements de poussières totales dépassent les valeurs guides de l'OMS (sur 24 heures : $0,12 \text{ mg/m}^3$ sur 24 h).

4) Les métaux particuliers :

Le manganèse est le métal le plus représenté. Il paraît être un élément traceur du traitement des déchets. Il est retrouvé dans les ambiances respirées par les travailleurs à des niveaux nettement supérieurs sur le site 2 à ce qui est mesuré habituellement dans les atmosphères urbaines. Les niveaux observés ne présentent a priori pas de risque pour la santé.

5) Les micro-organismes viables et cultivables :

Ils sont mesurés sur les deux sites à des niveaux élevés dépassant les valeurs de référence généralement proposées par la communauté scientifique spécialisée dans ce domaine et concernent des bactéries et des champignons susceptibles d'avoir des répercussions sur la santé. Dans l'environnement hors des sites, les niveaux observés sont faibles, mais il peut y avoir de façon ponctuelle des pics élevés. Ce point reste à approfondir.

6) Les indicateurs biologiques d'exposition des salariés :

Le chrome est le seul élément qui augmente chez les salariés des CET entre début et fin de poste et qui soit plus élevé chez les salariés des CET. La cinétique rapide du chrome urinaire indique qu'il s'agit d'une forme de chrome soluble, facilement absorbée. La signification de ce résultat est dès lors difficile à cerner au vu des faibles niveaux observés dans l'ambiance de travail.

3.2- Résultats de l'étude sur les lichens

L'étude a nécessité la mise en œuvre d'une technique de transplantation originale et efficace. Les lichens se sont avérés dotés d'un potentiel de bioaccumulation intéressant pour gagner en sensibilité et en précision dans la détection des polluants. Leur performance a été parfaitement établie dans le cas des métaux. Ils ont bien mis en évidence la présence de manganèse et, à un degré moindre, d'autres éléments (As, Cd, Cr total, Cu, Ni, Pb et Zn) qui nécessitent qu'on s'interroge sur leur origine. Les résultats obtenus sur les lichens ont bien montré qu'il existait effectivement une pollution atmosphérique spécifique des décharges qui venait s'ajouter au bruit de fond de la pollution ambiante locale.

3.3- Résultats de l'étude de l'impact sur la santé (à travers l'étude des salariés et des bioindicateurs animaux)

Les seuls résultats notables de l'étude " santé des salariés " montrent l'existence de symptomatologie des voies respiratoires, sans retentissement clinique évident. En particulier, il n'existe pas de perturbation de l'exploration fonctionnelle respiratoire. Une fois prises en compte les caractéristiques individuels, les tests neuropsychomoteurs ne montrent pas de différence entre le groupe des salariés des centres et ceux non exposés. Certains troubles ponctuels (céphalées et vertiges)

sont retrouvés chez les salariés des centres lors de la réalisation de certaines tâches particulières (travail à la STEP ou sur les réseaux de drainage).

Ces résultats sont conformes à ce qui est décrit dans les quelques publications disponibles concernant les salariés de la filière d'élimination des ordures ménagères.

Il est intéressant de rapprocher les résultats montrant une perturbation respiratoire chez les salariés de ceux des analyses de tissu pulmonaire des rats et des résultats de métrologie (poussières et surtout microorganismes ; en effet, les *Aspergillus* et les *Penicillium* retrouvés spécifiquement lors de notre étude font partie des genres de champignons les plus allergisants).

Les points suivants peuvent être relevés :

- Les rats autopsiés après avoir vécu au contact de litières, constituées par des sols de décharge, montrent l'existence de foyers inflammatoires au niveau des tissus pulmonaires, ces foyers inflammatoires pouvant être une réaction à une agression microbiologique et/ou chimique (COV).
- Les poussières peuvent par elles-mêmes entraîner une irritation et une inflammation des voies respiratoires, tant chez l'homme que chez l'animal. Il est à ce niveau nécessaire de préciser que la composition de ces poussières n'est, exception faite de la part liée à la pollution autoroutière, probablement pas la même que celle des poussières urbaines et donc que les risques associés diffèrent probablement. Les relations "doses/effets" qui existent pour les poussières fines urbaines ne pourront donc pas être utilisées ultérieurement pour caractériser les risques associés à ces sites sans une analyse chimique préalable de leurs différentes fractions granulométriques.

Cette question est importante à clarifier dans la mesure :

- où l'atteinte pathologique peut survenir lors d'expositions ponctuelles à des microorganismes très importantes;
- où l'étude a montré qu'il pouvait y avoir des "bouffées" de particules et de microorganismes dans l'environnement des décharges. Mais ces données, très insuffisantes aujourd'hui, méritent également d'être précisées à l'avenir, en particulier, en terme de niveaux, de leur fréquence et de leur type.

Enfin, il est intéressant de noter l'existence d'une réponse des rats en terme d'induction enzymatique (essentiellement CYP1A et CYP2B) respiratoire et à un degré moindre hépatique. Cette réponse confirme l'exposition des animaux à des composés de type COV (induction CYP2B) et, dans une moindre mesure, à des composés coplanaires comme les HAP. Seule l'utilisation conjointe des dosages et des activités enzymatiques a permis d'aboutir à ces conclusions. Une possible agression de type génotoxique (test des

« comètes ») des rats exposés aux sols des centres d'enfouissement technique est mise en évidence aussi bien après contact direct qu'après exposition par inhalation. La cinétique de formation et de disparition des comètes indique une atteinte transitoire et réversible compatible avec l'inhalation de composés volatils (type COV).

4- Conclusions de l'étude et Perspectives

Au total, cette étude apporte les premiers éléments de connaissance sur les effluents aériens des Centres d'Enfouissement Technique ainsi que leurs possibles effets sur la santé des salariés, ceci **dans des conditions de fonctionnement courant**.

Avant de proposer des compléments pour un suivi des CET, il faut se rappeler qu'elle ne présente **qu'un instantané de la situation dans deux centres d'enfouissement technique**. En effet, cette étude a été limitée dans le temps (une seule campagne de métrologie, une étude épidémiologique transversale...) et dans la puissance d'étude (faibles effectifs). Elle ne saurait donc représenter de façon complètement fidèle ce qui se passe sur un centre d'enfouissement technique tout au long d'une année.

Les résultats nécessiteraient d'être validés par de nouvelles campagnes de mesure sur les sites et dans leur environnement au niveau des populations avoisinantes, réalisées à des périodes différentes et lors de la réalisation de travaux exceptionnels (reprise de couverture, pose de drain, apport exceptionnel de boues ...). On pourrait poursuivre les réflexions engagées concernant la méthodologie de prélèvements dans l'environnement des populations avoisinantes (positionnement des points en fonction des données météorologiques et de mesures préliminaires par chromatographe portable, automatisation...) et la compléter par le dosage spécifique des composés odorants très légers (méthylmercaptans...).

Les salariés des Centres d'enfouissement technique sont à considérer comme exposés à la pollution provenant des véhicules diesel à des niveaux identiques à ceux des agents de la circulation ou des taxis.

Cette étude révèle l'importance peu décrite dans la bibliographie de la pollution microbiologique et par les poussières ; les poussières sont irritatives pour les muqueuses oculaires et des voies respiratoires ; elles peuvent être un mode de véhicule des micro-organismes.

Une investigation plus approfondie doit maintenant être réalisée :

- **en réalisant une analyse chimique des différentes fractions granulométriques** des poussières afin de les comparer à celle des poussières urbaines

- **en complétant l'étude métrologique des micro-organismes** : par une campagne de mesure sur une journée complète de fonctionnement avec déclenchements de prélèvements brefs à intervalles réguliers et relevé des travaux réalisés lors de chacun de ces prélèvements (déchargement de camions d'ordures ménagères, de boues, travaux à la station d'épuration ou pompage de lixiviats, etc...)

- **en étudiant les taux de glucanes aériens et la réponse immunitaire** des salariés par une recherche et un dosage des anticorps précipitines sériques spécifiques (anti- *Aspergillus...*), tests de sensibilisation cutanée ou même culture de prélèvements ORL et de lavage bronchique etc....
- **en caractérisant la réaction inflammatoire chez les animaux**, avec culture des prélèvements de tissus à la recherche d'une contamination respiratoire des rats.

Ces questions méritent d'être approfondies avant de pouvoir extrapoler les résultats d'une surveillance de santé des salariés aux populations riveraines de ce type d'installation.

5- Propositions pour la mise en place future d'une méthodologie de suivi des sites

S'il est dorénavant et déjà possible de proposer quelques améliorations techniques ou organisationnelles ainsi que des mesures de protection adaptées pour les salariés pour l'aspect « poussières », nous ne proposons pas à ce stade de méthodologie de surveillance des sites de stockage de déchets ménagers, pour plusieurs raisons :

1- Cette étude a été réalisée sur deux sites de stockage de déchets ménagers, considérés comme étant exploités selon les meilleurs principes de gestion du moment. Les résultats que nous avons obtenus ne peuvent donc, en aucune façon, être généralisés à l'ensemble du parc français des centres de stockage de déchet ménagers.

2- Pour mettre en place une surveillance, il est nécessaire d'avoir mis en évidence l'existence d'un risque, et défini des critères de sécurité à respecter qui permettent la mise en place d'un processus de contrôle et des actions de correction adaptée en cas de dépassement des objectifs de salubrité.

Or, cette étude n'a pas révélé la présence de composés à des niveaux effectifs de toxicité : dans la plupart des cas, les composés volatils retrouvés dans l'ambiance des sites et à l'extérieur sont à des niveaux proches de ce qui peut être observé dans de nombreux environnements. Les principales exceptions concernent les micro-organismes et les poussières pour lesquels, cependant, nous ne disposons pas encore de données en nombre suffisant sur leur dissémination hors des sites.

De ce fait, il est trop tôt pour proposer ou non de mettre en place une surveillance des émissions atmosphériques sur toutes les décharges d'ordures ménagères, et pour en déterminer les modalités. Des informations complémentaires doivent en effet être acquises.

De même, ces premiers résultats pourraient être utilisés dans une approche d'évaluation de risque sanitaire, à condition de prendre en compte les éléments cités ci-dessus (facteurs

d'incertitude importants). Un complément d'expertise permettrait d'affiner ce type d'approche.

La démarche que nous proposons n'est donc pas une démarche de surveillance mais bien une généralisation de la démarche initiale entreprise afin d'acquérir des données plus représentatives de l'activité de stockage des ordures ménagères dans son ensemble. Elle reprend globalement les différents types d'investigations réalisées sur ces deux sites, tout en affinant la méthodologie de façon à n'en garder que les aspects les plus informatifs pour un suivi systématique ultérieur. Au fur et à mesure de la réalisation de telles expertises, il est vraisemblable que les paramètres de suivi se simplifieront pour aboutir à une proposition assez simple et relativement standardisée pour être utilisée partout si besoin est.

Enfin, il est bon de rappeler que cette étude n'a porté que sur les émissions gazeuses des décharges d'ordures ménagères et qu'il serait maintenant nécessaire d'effectuer des travaux du même ordre sur les émissions liquides (lixiviats), dans le but de rechercher l'existence d'un éventuel impact sanitaire par ce mode d'exposition.

Tableau 1 : résultats de métrologie d'une sélection de polluants mesurés aux sources, à certains postes de travail, à certains points d'ambiance sur le site et dans l'environnement proche ²

(valeur minimum – valeur maximum observées sur l'un ou l'autre site)³

Polluants	ALVÉOLE EN EXPLOITATION				AUTRES PARTIES DU SITE						MESURES ENVIRONNEMENT			REFERENCES	
	Source alvéole (gaz interstitiels)	Conduc-teurs engins	Ambiance alvéole	20 m au-dessus de l'alvéole (site 1)	Sources		Ambiance générale	POSTES DE TRAVAIL			Amont site	Aval ⁴ (100m à 200 m)	Aval ⁴ (500m à 1000 m)	Valeur OMS ou du CSHPF	Référénc urbaine (min-max)
					Fissures Alvéoles fermées	Sortie torchère		Poste de réception	Agent polyvalent	Agent chargé Lixiviats					
Benzène (mg/m ³)	95. 10 ⁻³ - 112.10 ⁻³	5.10 ⁻³ - 63.10 ⁻³	13.10 ⁻³ - 45.10 ⁻³	1.35.10 ⁻³	0,93-1.8	0,7. 10 ⁻³ - 17.10 ⁻³	0,142 - 4. 10 ⁻³	<2,3 .10 ⁻³	<2,3.10 ⁻³	<2,5.10 ⁻³	2,2-2,9.10 ⁻³	0,063. 10 ⁻³ - 1,6.10 ⁻³	0,6. 10 ⁻³ - 1,6.10 ⁻³	2 (en moy par an)	5.10 ⁻³ - 5
Ethanol (mg/m ³)	0,61. 10 ⁻³ - 31.10 ⁻³	392. 10 ⁻³ - 3007.10 ⁻³	479. 10 ⁻³	1,08.10 ⁻³	1,3-1,5	2,56.10 ⁻³	< 0,03-0,22- .10 ⁻³	0,6. 10 ⁻³ - 664.10 ⁻³	68. 10 ⁻³ - 289.10 ⁻³	444.10 ⁻³	<0,03-0,37.10 ⁻³	<0,03-0,89.10 ⁻³	0,15.10 ⁻³ - 9,13.10 ⁻³		
Cétones lourdes (mg/m ³)	7,6 - 12,1	ND		66,7.10 ⁻³	105-129	84. 10 ⁻³ - 584.10 ⁻³	0,048.10 ⁻³ - 11,1.10 ⁻³	ND	ND		13,4.10 ⁻³	10,6.10 ⁻³	9,13.10 ⁻³		
Trichlorethylène (mg/m ³)	18.10 ⁻³ - 12,5	234.10 ⁻³	<40.10 ⁻³ - 152. 10 ⁻³	0,053. 10 ⁻³	52.10 ⁻³ - 2,09	0,45. 10 ⁻³ - 84.10 ⁻³	0,08. 10 ⁻³ - 1,28 .10 ⁻³	<128.10 ⁻³	<86.10 ⁻³	<132.10 ⁻³	0,3-0,57.10 ⁻³	0,104-0,69 .10 ⁻³	0,32.10 ⁻³ - 1,28.10 ⁻³		1- 10
Formaldéhyde (mg/m ³)	56,7. 10 ⁻³ - 98.10 ⁻³	7,02. 10 ⁻³ - 16.10 ⁻³	1,37.10 ⁻³ - 13. 10 ⁻³		33-42.10 ⁻³		1,69.10 ⁻³ - 7,64.10 ⁻³	2,01.10 ⁻³	1,03.10 ⁻³	1,66.10 ⁻³	1,22-8,93.10 ⁻³	3,14-7,15.10 ⁻³	7,74.10 ⁻³	0,1	1- 20
Benzo(a)pyrène (mg/m ³)		0,61. 10 ⁻³ - 4,08.10 ⁻⁶	0,35. 10 ⁻⁶ - 0,82.10 ⁻⁶				<0,2.10 ⁻⁶ - 1,81.10 ⁻⁶	0,66-0,84.10 ⁻⁶	1,06. 10 ⁻³ - 4,36.10 ⁻⁶	0,18. 10 ⁻³ - 1,89.10 ⁻⁶	0,24-1,65.10 ⁻⁶	<0,22-1,43. 10 ⁻⁶	1,94.10 ⁻⁶	0,7. 10 ⁻⁶	
Manganèse particulaire (mg/m ³)		0,32.10 ⁻³	0,3. 10 ⁻³ - 2,05.10 ⁻³	1,8.10 ⁻³			0,12. 10 ⁻³ - 19.10 ⁻³	<0,091.10 ⁻³	< 0,145. 10 ⁻³ - 1,94.10 ⁻³	0,063.10 ⁻³	<0,002- <80.10 ⁻³	0,17-183.10 ⁻³	<0,002.10 ⁻³ - 205.10 ⁻³	0,15.10 ⁻³	0,01- 0,07 .10 ⁻³
Poussières totales (mg/m ³)		0,358-1,060	0,13-1,961				0,07.10 ⁻³ - <30.10 ⁻³	0,27	0,12 - 0,423		0,13-0,56	0,02-0,33	0,05-0,923	0,05- 0,27	0,12
Bactéries (ctu/m ³)	1,5.10 ³ - 1,7.10 ⁵		2.10 ⁴ - 1,8.10 ⁵	1,3-1,8.10 ⁵ (step)					2,2.10 ³ - 3-7.10 ⁵			< 200	< 200		< 500
Champignons (ctu/m ³)	0,2-4.10 ⁴		0,4-2,0.10 ⁴	<500 (step)					0,15-3,5.10 ³		0,04-0,11	0,5-1.10 ⁻³	0,5-1,3.10 ⁻³		
Endotoxine (EU/m ³)			1,3-12	1,5-1,7 (step)											

² La totalité des mesures seront consultables dans le rapport principal et son annexe

³ la valeur minimum est la valeur la plus basse observée sur l'un ou l'autre site ; il en est de même pour la valeur maximum : elles ne représentent donc pas un site particulier mais l'intervalle maximal observé. Dans certains cas, il y a eu plusieurs mesures, il s'agit alors de valeurs moyennes minimales ou maximales. Dans d'autres cas, il n'y a qu'une valeur lorsque l'on ne dispose que d'une seule mesure.

⁴ En différents points dont certains au niveau d'habitations proches du site

Atmospheric pollutants from two municipal waste landfill sites :

Characterization and exposure levels ;

Development of tools for sanitary follow-up in the aim of risks analysis

Hours Martine^{ab}, Anzivino Lucie^a, Asta Juliette^{ac}, Billeret Mikaéline^d, Berny Philippe^d, Keck Gérard^{ad}, Maitre Anne^e, Parat Sylvie^e, Stoklov Muriel^e, Sarrasin Bernard^f, Perrodin Yves^{af}

a : Réseau Santé –Déchets¹, Lyon

b : Unité Mixte de Recherche Epidémiologique Transport Travail Environnement UCBL-INRETS, Lyon

c : Laboratoire de Biologie Alpine, Université J. Fourier Grenoble

d : Laboratoire de Toxicologie, Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon,

e : Institut Universitaire de Médecine du Travail et d'Environnement, Université J. Fourier Grenoble

f : INSA de Lyon, Division POLDEN

SUMMARY OF FINAL REPORT

1- Introduction

The potential impact on health associated to waste management and treatment is not well defined, particularly in the case of household waste landfill sites. The identification of such an impact on the surrounding local population is difficult, due to several factors : the extremely variable concentrations of chemical pollutants in the different environments (air, water, soil) ; the complex mixtures of products, many of which exist only as traces ; the ordinary and non specific nature of symptoms which may be generated. The composition of gases from municipal sites varies notably according to the nature and volume of waste stored, the age of the site and the type of management. Gases from waste masses are of variable composition from one site to another but mainly contain methane, carbon dioxide and nitrogen. These are accompanied by numerous volatile compounds as traces, some of which are toxic at low concentrations. The microbial hazard must also be considered, particularly for on-site personnel. Numerous microorganisms are potentially present in household waste, a favorable culture medium.

Due to the lack of relevant data available concerning household waste storage, an innovative **pluridisciplinary approach** was developed by the RSD with the aim :

1- **to acquire quantified data** of atmospheric metrology on the site (gas emission and site atmosphere) and also in the surrounding environment, as well as data concerning a possible health impact of such emissions on site personnel.

2- **to develop a monitoring methodology** in order to target the most relevant parameters to be measured on storage sites for subsequent characterization of associated health hazards.

¹ The health waste network (RSD) consists of research teams from different research and teaching, grouped together to pool their knowledge and resources in order to carry out research to obtain reliable data about waste treatment techniques, in particular concerning the potential health hazards

This program has received financial and logistic support from the Environment Agency for Energy Management (Ademe), Association RE.CO.R.D. (Cooperative research network on waste management) and two industrial partners (SITA and CREED). Each industrial partner kindly permitted access to a site in order to carry out the study

With an eye to the future, it was decided to choose two landfill sites, which were managed in compliance to the latest regulatory standards. The selected sites both stored a majority of household waste (over 60%) as well as waste water sludge and non-hazardous industrial waste. Both sites were equipped with installations for the collection of leachates and biogas, the latter being burnt on site by torches. One of the sites had a leachate treatment facility, whereas the other evacuated the leachates to the local waterworks.

Several elements prevailed when the program was first defined :

- Due to the lack of metrology data available concerning household waste landfill sites, the orders of magnitude of pollutant levels to be measured on site were not known. Before beginning the study on the surrounding population it was therefore decided to carry out an in-depth study to characterize on site gas emissions and atmospheres and to study the most highly exposed population i.e. site personnel ; more direct investigations in surrounding populations would be carried out subsequently (if justified by high pollution levels and associated health problems observed among site personnel, considered as the "sentinel" population)
- The aspect « odors » was only approached through the measurement of certain pollutants, as the aim was to measure toxic elements and not to study environmental hazards.
- A "perception of the sites" analysis by the local populations was not the aim of the study.

2- Methodology

We have developed a methodological approach in several stages to fulfill the aims of the study :

1) chemical and micro-biological metrology

a) **Emission sources** : the aim of this stage was to characterize, as widely as possible, and to quantify the pollutants present in atmospheric emissions on a landfill site and in superficial soil samples from different points in the two selected sites. Following this stage, a selection of pollutants present was carried out by the pluridisciplinary group according to their quantity and/or their topological importance.

b) metrology of pollutants and selected microorganisms **at workstations, the general site atmosphere, and close to the site** (particularly when smoke is emitted), in order to characterize the pollutants present in the air breathed by the site personnel and surrounding population in **the houses nearest the site**. This stage is completed by monitoring biological indicators of exposure to the same pollutants as for site personnel.

2) Search for bioindicators

- a) **of exposure by measurement of pollutants in lichens** present or cultivated on and near the sites.
- b) of exposure and effect by **an experimental laboratory study on rats** living on the soils sampled on the sites in order to characterize the possible toxic impacts of volatile pollutants qualitatively close to those measured on the sites.

3) Research of a possible impact on human health

by a transversal epidemiological study of site personnel by comparison with a control population of non-exposed personnel (recording of subjective complaints and life styles of personnel, clinical examination, biological tests, respiratory examination and psychomotricity tests). The latter study did not have the ambition to reveal very discrete health impacts on personnel, due to the low number of people involved, but aimed to test a methodology for epidemiological scanning of personnel.

3- Results

3.1- Metrology results

The concentrations measured in the air on site and in the nearest houses are generally low, except for dusts, manganese and microorganisms. They are quite variable from one site to another and seem to depend on the annual tonnage of household waste and sludge received, as well as the environment surrounding the sites (table 1).

1) The volatile organic compounds (VOC):

They represent a family of compounds very present in the atmosphere of landfill sites, especially around the cell in use. Ketones, aldehydes and alcohols represent the main VOC. Certain of these compounds give off odors. Ketones and aldehydes are compounds, which mainly cause irritations, especially respiratory. Only formaldehyde is classified as probably carcinogenic but the observed levels are very low, much lower than levels observed in urban atmospheres.

- For alcohols, a significant presence of methanol can be noted which appears to be produced during waste degradation. The observed level is very low however when considering the potential health impacts.

- The global levels of mercaptans (light) observed in the sources are very low when considering the levels which represent a toxicological hazard ; however, at these concentrations, they are responsible for the production of odors.
 - Benzene is found in emissions at the same level or lower than in urban atmospheres.
 - Halocarbons, described in the literature as being observed in non-negligible quantities in site atmospheres, are in fact present in emissions and are considered as good indicators of site activity. However, we have not observed significant levels from a health point of view of trichlorethylene or tetrachlorethylene.
- 2) **Particulate Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHp) :**
the levels of PAHp in the cell in use are much higher during daytime activity than at night, and the distribution of the various PAH is characteristic of diesel emissions. The analyses carried out point to the impact of transport vehicles on these sites. However, the levels observed are similar to those observed in urban atmospheres.
- 3) **Dusts :**
Fine dusts (<5µm) are observed at variable levels in both site atmospheres. Very high *peak* levels have been measured periodically on both sites. In the long term, certain dust samples are higher than WHO standard guidelines (over 24 hours : 0.12 mg/m³ over 24 h).
- 4) **Metals :**
Manganese is the metal, most obviously present. It appears to be a tracer metal for waste treatment. It is found in the atmospheres breathed by workers on site 2 at much higher levels than are generally measured in urban atmospheres. The levels, however, do not represent a health hazard.
- 5) **Viable and cultivated microorganisms :**
They are measured on both sites at high levels greater than reference values generally recognized by the scientific community specialized in this field and concerning bacteria and fungi liable to have a health impact. In the surrounding environment, the levels are low but there may be high peak levels periodically. This point remains to be investigated.
- 6) **Biological indicators of exposure for personnel :**
Chrome is the only element that increases in site personnel between the beginning and the end of the day and which is highest among site personnel. The rapid kinetics of chrome present in urine indicates that a soluble, easily absorbed form of chrome is involved. The significance of this result is difficult to understand and define due to the low levels observed in the site atmosphere itself.

3.2- Results of the study on lichens

The study required the use of an original and efficient transplantation technique. Lichens have an interesting bioaccumulation potential for increasing their sensitivity and precision in pollutant detection. This capacity has been perfectly established in the case of metals. The lichen indicated the presence of manganese and other elements to a lesser degree (As, Cd, total Cr, Cu, Ni, Pb and Zn) and it remains for us to discover their origin. The results on lichens have shown that there is a specific atmospheric pollution on sites in addition to the local ambient pollution.

3.3- Results of health impact study (on site personnel and animal bioindicators)

The only notable results of the study "health of personnel" show the existence of symptoms concerning the respiratory system, without particular clinical repercussions. In particular, the functional respiratory examination is quite normal. The neuropsychomotricity tests show no difference between site personnel and non-exposed personnel, once individual characteristics have been taken into account. Certain sporadic symptoms (headaches and dizziness) are found among site personnel when carrying out specific jobs (at the waterworks or on the drain network). These results are in agreement with descriptions in the few publications available concerning personnel employed in household waste treatment.

It is interesting to compare the results indicating respiratory problems among personnel and the analyses of pulmonary tissue of rats and metrology results (dusts and especially microorganisms ; in fact *Aspergillus* and *Penicillium* found specifically in our study are the fungi most reputed to cause allergies.

The following points can be noted :

- The rats autopsied after having lived in contact with site soils show inflammatory zones in pulmonary tissue. These zones may be a reaction to microbial and/or chemical aggression (VOC).
- The dusts may themselves cause irritation and inflammation of the respiratory tract, in man as well as in animals. At this stage it is necessary to add that the composition of these dusts, except the fraction related to highway pollution, is probably not the same as the composition of urban dusts and therefore the associated hazards probably differ. The "dose/effect" relationships, which exist for fine urban dust, will not be able to be used to characterize site-associated hazards without prior chemical analysis of their different particle size fractions.

It is important to clarify this question for two reasons :

- the pathology may arise during periodic exposure to a great number of microorganisms;

- the study has shown that clouds of particles and microorganisms could arise in the site environment. The present data available is quite insufficient and further studies must be carried out to define, levels, frequency and type in particular

Finally, it is interesting to note the response of rats in terms of respiratory enzymatic induction (mainly CYP1A and CYP2B) and hepatic induction to a lesser degree. This response confirms exposure to VOC-type compounds (induction CYP2B) and, to a lesser extent, to coplanar compounds such as PAH. Only the joint use of dosage and enzymatic activities has led us to these conclusions. A possible genotoxic aggression ("comets" test) of rats exposed to site soils has been demonstrated after direct contact as well as after exposure by inhalation. The kinetics of formation and disappearance of the comets indicates a transitory and reversible effect compatible with inhalation of volatile compounds (VOC).

4- Conclusions and Perspectives

On the whole, this study supplies the first elements concerning atmospheric pollution from landfill sites and their possible effects on site personnel, **under normal operating conditions**. Before suggesting further studies for site monitoring, it must be noted that this study only represents a view of two sites at a moment in time. In fact this study was limited in time (a single metrology campaign, a single transversal epidemiological study...) and coverage (low number of site personnel). It can therefore not reflect objectively what takes place on site over a whole year.

The results need to be validated by new campaigns of measurement on the site and in the surrounding populations, carried out at different periods or during exceptional maneuvers (renewal of the cover, drain installation, unusual supply of sludge...). Further discussions concerning the sampling methodology in the surrounding populations could be undertaken (sample point location according to meteorological data and preliminary measurements with a portable chromatograph. automation...) and specific dosage of very light odorous compounds (methylmercaptans...).

The site personnel can be considered as being exposed to pollution from diesel vehicles at the same level as traffic police and taxi drivers.

This study reveals the importance, little described in the literature, of microbiological and dust pollution ; dusts are irritating for ocular mucus and the respiratory tract ; they may also be a means of transport for microorganisms.

Further investigations must now be carried out :

- **chemical analysis of the different grain size fractions** of the dusts in order to compare them with urban dusts.

- **metrology of microorganisms** : by a measurement campaign over a complete day with brief sampling at regular intervals and recording of the activity in progress at the time of

sampling (unloading of waste, sludges, work in progress at the waterworks or leachate pumping facility, etc...)

- **Study of atmospheric glucanes and the immune response** of site personnel through research and a dosage of specific serum antibodies (anti-Aspergillus...), skin sensitivity tests or even culture of samples from the respiratory tract etc...
- **Characterization of the inflammatory reaction in animals**, with culture of tissue samples to demonstrate respiratory contamination.

These questions need to be investigated before being able to extrapolate results of a health survey on site personnel to the surrounding populations.

5- Proposals for future application of a methodology for site monitoring

Although it is immediately possible to propose certain technical or organizational improvements as well as protective measures adapted to site personnel concerning the hazard from dusts, we do not, at this stage, propose a methodology for the survey of household waste landfill sites for several reasons :

1- This study was carried out on landfill sites for household waste, using the latest, up to date management techniques. The results we obtained can in no way be generalized to apply to all the household waste landfill sites in France.

2- To justify site monitoring, it is necessary to have demonstrated a hazard, and to have defined security criteria to be respected in order to set up a site control system and determine actions to be taken in the case of substandard conditions.

In fact, this study has not revealed the presence of compounds at toxic levels : in most cases, the volatile compounds found in the site atmosphere and outside are close to levels observed in many environments. The main exceptions concern microorganisms and dusts for which we do not have sufficient data concerning dissemination outside the sites. For these reasons, it is too early to propose application of atmospheric emission monitoring to all landfill sites and to determine modalities. Further information must be collected.

These first results could be used in an evaluation approach of the health hazard, by taking into account the above mentioned factors (important uncertainty factors). Further expertise would be necessary to better define this type of approach.

We therefore propose a generalization of the first approach in order to acquire more representative data concerning storage activities of household waste as a whole. Globally the approach is to repeat the different types of investigations carried out on both sites, while

streamlining the methodology, to retain only the most information rich aspects for subsequent systematic monitoring. It is likely that the follow up parameters will be simplified to develop a final, relatively standardized, simple proposal, to be used everywhere if required.

Finally, it must be noted that this study only concerns gas emissions from household waste sites and it would now be of interest to carry out the same sort of study on liquid waste streams (leachates), in order to determine the presence of a potential health hazard by this means of exposure.

Table 1 : metrology results of a selection of pollutants measured at sources, at certain workstations, at certain points on the site and in the close environment ²

(minimum value- maximum value observed on one or other of the sites)³

Pollutants	CELL IN PRESENT USE				OTHER PARTS OF THE SITE						ENVIRONMENT MEASUREMENTS			REFERENCES	
					Sources		General atmosphere	WORK STATIONS							
	Cell source (interstitial gas)	Vehicle drivers	Cell atmosphere	20 m above the cell (site 1)	Fissures in closed cells	Exit to torch		Reception personnel	Polyvalent personnel	Personnel in charge of leachates	Upwind of site	Downwind ⁴ (100m à 200 m)	Downwind ³ (500m à 1000 m)	WHO value or of CSHPF	Urban ref. value (min-max)
Benzene (mg/m ³)	95. 10 ⁻³ - 112.10 ⁻³	5.10 ⁻³ -63.10 ⁻³	13.10 ⁻³ - 45.10 ⁻³	1.35.10 ⁻³	0,93-1.8	0,7. 10 ⁻³ - 17.10 ⁻³	0,142 - 4. 10 ⁻³	<2,3 .10 ⁻³	<2,3.10 ⁻³	<2,5.10 ⁻³	2,2-2,9.10 ⁻³	0,063. 10 ⁻³ - 1,6.10 ⁻³	0,6. 10 ⁻³ - 1,6.10 ⁻³	² (average per year)	5.10 ⁻³ - 5
ethanol (mg/m ³)	0,61. 10 ⁻³ - 31.10 ⁻³	392. 10 ⁻³ - 3007.10 ⁻³	479. 10 ⁻³	1,08.10 ⁻³	1,3-1,5	2,56.10 ⁻³	< 0,03-0,22. 10 ⁻³	0,6. 10 ⁻³ - 664.10 ⁻³	68. 10 ⁻³ - 289.10 ⁻³	444.10 ⁻³	<0,03-0,37.10 ⁻³	<0,03-0,89.10 ⁻³	0,15.10 ⁻³ - 9,13.10 ⁻³		
Heavy ketones (mg/m ³)	7,6 - 12,1	ND		66,7.10 ⁻³	105-129	84. 10 ⁻³ - 584.10 ⁻³	0,048.10 ⁻³ - 11,1.10 ⁻³	ND	ND		13,4.10 ⁻³	10,6.10 ⁻³	9,13.10 ⁻³		
Trichlorethylene (mg/m ³)	18.10 ⁻³ - 12,5	234.10 ⁻³	<40.10 ⁻³ - 152. 10 ⁻³	0,053. 10 ⁻³	52.10 ⁻³ - 2,09	0,45. 10 ⁻³ - 84.10 ⁻³	0,08. 10 ⁻³ - 1,28 .10 ⁻³	<128.10 ⁻³	<86.10 ⁻³	<132.10 ⁻³	0,3-0,57.10 ⁻³	0,104-0,69 .10 ⁻³	0,32.10 ⁻³ - 1,28.10 ⁻³		1- 10
Formaldehyde (mg/m ³)	56,7. 10 ⁻³ - 98.10 ⁻³	7,02. 10 ⁻³ -16.10 ⁻³	1,37.10 ⁻³ -13. 10 ⁻³		33-42.10 ⁻³		1,69.10 ⁻³ - 7,64.10 ⁻³	2,01.10 ⁻³	1,03.10 ⁻³	1,66.10 ⁻³	1,22-8,93.10 ⁻³	3,14-7,15.10 ⁻³	7,74.10 ⁻³	0,1	1- 20
Benzo(a)pyrene (mg/m ³)		0,61. 10 ⁻³ - 4,08.10 ⁻⁶	0,35. 10 ⁻⁶ - 0,82.10 ⁻⁶				<0,2.10 ⁻⁶ - 1,81.10 ⁻⁶	0,66-0,84.10 ⁻⁶	1,06. 10 ⁻³ - 4,36.10 ⁻⁶	0,18. 10 ⁻³ - 1,89.10 ⁻⁶	0,24-1,65.10 ⁻⁶	<0,22-1,43. 10 ⁻⁶	1,94.10 ⁻⁶	0,7. 10 ⁻⁶	
Manganese particulate (mg/m ³)		0,32.10 ⁻³	0,3. 10 ⁻³ - 2,05.10 ⁻³	1,8.10 ⁻³			0,12. 10 ⁻³ - 19.10 ⁻³	<0,091.10 ⁻³	< 0,145. 10 ⁻³ -1,94.10 ⁻³	0,063.10 ⁻³	<0,002- <80.10 ⁻³	0,17-183.10 ⁻³	<0,002.10 ⁻³ - 205.10 ⁻³	0,15.10 ⁻³	0,01- 0,07 .10 ⁻³
Total dusts (mg/m ³)		0,358-1,060	0,13-1,961			2.10 ⁻³ - 0,5	0,07.10 ⁻³ - <30.10 ⁻³	0,27	0,12 - 0,423		0,13-0,56	0,02-0,33	0,05-0,923	0,05- 0,27	0,12
Bacteria (cfu/m ³)	1,5.10 ³ - 1,7.10 ⁵		2.10 ⁴ - 1,8.10 ⁵	1,3-1,8.10 ⁵ (ww)				2,2.10 ³ - 3-7.10 ⁵		0,1-3.10 ⁴		< 200	< 200		< 500
Fungi (cfu/m ³)	0,2-4.10 ⁴		0,4-2.0.10 ⁴	<500 (ww)				0,15-3,5.10 ³		0,4-4.10 ³	0,04-0,11	0,5-1.10 ³	0,5-1,3.10 ³		
Endotoxin (EU/m ³)			1,3-12	1,5-1,7 (ww)											

² All the measurements can be found in the main report and annex

³ the minimum value is the lowest value observed on one or other of the sites ; the same for the maximum value : therefore they do not represent a particular site but the maximum interval observed. In certain cases, there were several measurements, therefore the values are average minimum and maximum values ; in other cases there is only one value as only one measurement is available.

⁴ At different points some of which are near houses close to the site