

# ÉTUDE DES POLLUANTS ATMOSPHÉRIQUES ÉMIS DANS DEUX CENTRES DE STOCKAGE DES ORDURE MÉNAGÈRES

Martine Hours<sup>ab</sup>, Lucie Anzivino<sup>a</sup>, Juliette Asta<sup>ac</sup>, Philippe Berny<sup>d</sup>, Mikaéline Billeret<sup>d</sup>, Anne Maitre<sup>e</sup>, Sylvie Parat<sup>e</sup>, Murielle Stoklov<sup>ea</sup>, Bernard Sarrasin<sup>f</sup>, Gérard Keck<sup>ad</sup>, Yves Perrodin<sup>af</sup>

<sup>a</sup>Réseau Santé - Déchets (Lyon), <sup>b</sup>Umerette (Lyon), <sup>c</sup>Laboratoire de Biologie alpine (Grenoble), <sup>d</sup>Laboratoire de toxicologie (Lyon),

<sup>e</sup>Institut universitaire de médecine du travail et d'environnement (Grenoble), <sup>f</sup>INSA (Lyon)

L'existence de risques pour la santé associés à l'élimination des ordures ménagères en décharge contrôlée est encore mal évaluée. Devant les données très parcellaires dont on dispose, une approche pluridisciplinaire établie en plusieurs étapes a été conçue par le Réseau Santé Déchets (RSD) et appliquée à deux sites :

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

Les concentrations mesurées dans les ambiances aériennes des sites et à proximité sont dans l'ensemble faibles.

Les composés organiques volatils (COV) sont présents, à des niveaux faibles, sur l'alvéole en exploitation, liés en particulier au trafic des engins diesel. Les niveaux de HAP particuliers sont de l'ordre de ceux qui sont observés en milieu urbain. Des niveaux très élevés en poussières totales (mais faibles pour les poussières alvéolaires) ont été mesurés. Le manganèse est le métal le plus représenté, il est retrouvé également dans les lichens. Les concentrations en micro-organisme sont élevées soit 100 à 1000 fois ce que l'on retrouve en environnement classique. La flore est caractéristique des milieux de traitement du déchet avec un aspect monomorphe (champignons de type *Aspergillus* ou *Penicillium*).

Une symptomatologie fonctionnelle témoignant d'une atteinte irritative ou immunoallergique des voies respiratoires et du revêtement cutanéomuqueux est observée chez les salariés des sites étudiés, sans qu'il n'y ait perturbation de la fonction respiratoire. Aucun trouble clinique n'est mis en évidence. Les études menées sur les rats de laboratoire ont montré l'existence de foyers inflammatoires des tissus pulmonaires

(chez les bêtes autopsiées) et d'une réponse en terme d'induction enzymatique (CYPIA et CYP2B) surtout respiratoire. Le test génotoxique des comètes indique une atteinte transitoire et compatible avec l'inhalation de COV.

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

We have a lack of knowledge about the existence of risks for the health related with domestic garbage elimination in municipal solid waste landfills. In the aim of obtaining more data, a multidisciplinary approach has been developed and applied to two sites :

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

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

Respiratory symptoms and cutaneous irritation are

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

**This study brings several elements of knowledge on the ambient air pollution in municipal solid waste landfill, and their possible effects on health. It would be necessary to continue the investigations particularly on the sanitary effect of the microbiological pollution.**

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 :

a) **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 ;

b) **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 Record (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 :

- Étant 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.

## MÉTHODOLOGIE

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

### 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.

### 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.

### 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 sala-

riés, compte-tenu d'un effectif faible, mais visait à tester une méthodologie de surveillance épidémiologique des salariés de l'activité.

## RÉSULTATS

### Résultats de métrologie

Les concentrations mesurées dans l'air des sites et près des habitations les plus proches sont dans l'ensemble faibles. 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).

### 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

**Tableau I : 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<sup>1</sup>. (valeur minimum – valeur maximum observées sur l'un ou l'autre site)<sup>2</sup>**

Polluants	Alvéole en exploitation				Autres parties du site						Mesures environnement			Références	
	Sources alvéole (gaz interstitiels)		Ambiance alvéole	20 m au-dessus de l'alvéole (site I)	Sources		Ambiances générale	Postes de travail			Amont site	Aval <sup>3</sup> (100 m à 200 m)	Aval <sup>3</sup> (500 m à 1 000 m)	Valeur OMS ou du CSHPF	Référence urbaine (min-max)
	Conducteurs engins				Fissures Alvéoles fermées	Sortie torchère		Poste de réception	Agent polyvalent	Agent chargé Lixiviats					
Benzène (mg/m <sup>3</sup> )	95.10 <sup>3</sup> - 112.110 <sup>3</sup>	5.10 <sup>3</sup> - 63.10 <sup>3</sup>	13.10 <sup>3</sup> - 45.10 <sup>3</sup>	1.35.10 <sup>3</sup>	0,93 - 1,8	0,7.10 <sup>3</sup> - 17.10 <sup>3</sup>	0,142 - 4.10 <sup>3</sup>	<2,3.10 <sup>3</sup>	<2,3.10 <sup>3</sup>	<2,5.10 <sup>3</sup>	2,2 - 2,9.10 <sup>3</sup>	0,063.10 <sup>3</sup> - 1,6.10 <sup>3</sup>	0,6.10 <sup>3</sup> - 1,6.10 <sup>3</sup>	2 (en moy. par an)	5.10 <sup>3</sup> - 5
Ethanol (mg/m <sup>3</sup> )	0,61.10 <sup>3</sup> - 31.10 <sup>3</sup>	392.10 <sup>3</sup> - 3007.10 <sup>3</sup>	479.10 <sup>3</sup>	1,08.10 <sup>3</sup>	1,3 - 1,5	2,56.10 <sup>3</sup>	<0,03 - 0,22.10 <sup>3</sup>	0,6.10 <sup>3</sup> - 664.10 <sup>3</sup>	68.10 <sup>3</sup> - 289.10 <sup>3</sup>	444.10 <sup>3</sup>	<0,03 - 0,37.10 <sup>3</sup>	<0,03 - 0,89.10 <sup>3</sup>	0,15.10 <sup>3</sup> - 9,13.10 <sup>3</sup>		
Cétones lourdes (mg/m <sup>3</sup> )	7,6 - 12,1	ND		66,7.10 <sup>3</sup>	105 - 129	84.10 <sup>3</sup> - 584.10 <sup>3</sup>	0,048.10 <sup>3</sup> - 11,1.10 <sup>3</sup>	ND	ND		13,4.10 <sup>3</sup>	10,6.10 <sup>3</sup>	9,13.10 <sup>3</sup>		
Trichloréthylène (mg/m <sup>3</sup> )	18.10 <sup>3</sup> - 12,5	234.10 <sup>3</sup>	<40.10 <sup>3</sup> - 152.10 <sup>3</sup>	0,053.10 <sup>3</sup>	52.10 <sup>3</sup> - 2,09	0,45.10 <sup>3</sup> - 84.10 <sup>3</sup>	0,08.10 <sup>3</sup> - 1,28.10 <sup>3</sup>	<128.10 <sup>3</sup>	<86.10 <sup>3</sup>	<132.10 <sup>3</sup>	0,3 - 0,57.10 <sup>3</sup>	0,104 - 0,69.10 <sup>3</sup>	0,32.10 <sup>3</sup> - 1,28.10 <sup>3</sup>		1 - 10
Formaldéhyde (mg/m <sup>3</sup> )	56,7.10 <sup>3</sup> - 98.10 <sup>3</sup>	7,02.10 <sup>3</sup> - 16.10 <sup>3</sup>	1,37.10 <sup>3</sup> - 13.10 <sup>3</sup>		33 - 42.10 <sup>3</sup>		1,69.10 <sup>3</sup> - 7,64.10 <sup>3</sup>	2,01.10 <sup>3</sup>	1,03.10 <sup>3</sup>	1,66.10 <sup>3</sup>	1,22 - 8,93.10 <sup>3</sup>	3,14 - 7,15.10 <sup>3</sup>	7,74.10 <sup>3</sup>	0,1	1 - 20
Benzo(a)pyrène (mg/m <sup>3</sup> )		0,61.10 <sup>6</sup> - 4,08.10 <sup>6</sup>	0,35.10 <sup>6</sup> - 0,82.10 <sup>6</sup>				<0,2.10 <sup>6</sup> - 1,81.10 <sup>6</sup>	0,66 - 0,84.10 <sup>6</sup>	1,06.10 <sup>6</sup> - 4,36.10 <sup>6</sup>	0,18.10 <sup>6</sup> - 1,89.10 <sup>6</sup>	0,24 - 1,65.10 <sup>6</sup>	<0,22 - 1,43.10 <sup>6</sup>	1,94.10 <sup>6</sup>	0,7.10 <sup>6</sup>	
Manganèse particulaire (mg/m <sup>3</sup> )		0,32.10 <sup>3</sup>	0,3.10 <sup>3</sup> - 2,05.10 <sup>3</sup>	1,8.10 <sup>3</sup>			0,12.10 <sup>3</sup> - 19.10 <sup>3</sup>	<0,091.10 <sup>3</sup>	<0,145.10 <sup>3</sup> - 1,94.10 <sup>3</sup>	0,063.10 <sup>3</sup>	<0,002 - <80.10 <sup>3</sup>	0,17 - 183.10 <sup>3</sup>	<0,002.10 <sup>3</sup> - 205.10 <sup>3</sup>	0,15.10 <sup>3</sup>	0,01 - 0,07.10 <sup>3</sup>
Poussière totales (mg/m <sup>3</sup> )		0,358 - 1,060	0,13 - 1,961			2.10 <sup>3</sup> - 0,5	0,07.10 <sup>3</sup> - <30.10 <sup>3</sup>	0,27	0,12 - 0,423		0,13 - 0,56	0,02 - 0,33	0,05 - 0,923	0,05 - 0,27	
Bactéries (cfu/m <sup>3</sup> )	1,5.10 <sup>5</sup> - 1,7.10 <sup>5</sup>		2.10 <sup>4</sup> - 1,8.10 <sup>5</sup>	1,3 - 1,8.10 <sup>5</sup> (step)				2,2.10 <sup>3</sup> - 3 - 7.10 <sup>5</sup>		0,1 - 3.10 <sup>3</sup>	<200	<200		<500	
Champignons (cfu/m <sup>3</sup> )	0,2 - 4.10 <sup>4</sup>		0,4 - 2.0.10 <sup>4</sup>	<500 (step)				0,15 - 3,5.10 <sup>3</sup>		0,4 - 4.10 <sup>3</sup>	0,04 - 0,11	0,5 - 0,1.10 <sup>3</sup>	0,5 - 0,1.10 <sup>3</sup>		
Endotoxine (EU/m <sup>3</sup> )			1,3 - 12	1,5 - 1,7 (step)											

<sup>1</sup> La totalité des mesures seront consultables dans le rapport principal et son annexe

<sup>2</sup> 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 qu'une valeur lorsque l'on ne dispose que d'une seule mesure.

<sup>3</sup> En différents points dont certains au niveau d'habitations proche du site

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.

#### **Les Hydrocarbures aromatiques polycycliques particulaires (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.

#### **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).

#### **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, mais faibles par rapport aux valeurs réglementaires en milieu de travail. Les niveaux observés ne présentent a priori pas de risque pour la santé.

#### **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 concernant 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.

#### **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.

#### **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.

#### **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 individuelles, 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 symptomatologie 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 spécifique-

ment 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 très importantes à des micro-organismes ;

- où l'étude a montré qu'il pouvait y avoir des « bouffées » de particules et de micro-organismes dans l'environnement des décharges. Mais ces données, très insuffisantes aujourd'hui, méritent également d'être précisées à l'avenir, en particulier, en terme de niveaux, de leur fréquence et de leur type.

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 qu'il s'agit d'une atteinte transitoire et réversible compatible avec l'inhalation de composés volatils (type COV).

## 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 les 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 des déclenchements de prélèvements brefs à intervalles réguliers et un 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.

## 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 ména-

gères 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

### <sup>ab</sup>**Martine Hours,**

a - Réseau Santé - Déchets, Lyon - Umrette, Faculté de médecine - 8 avenue Rockefeller - 69373 Lyon Cedex 08

b - Unité mixte de recherche épidémiologique transport travail environnement UCBL-Inrets (Umrette) Lyon

### <sup>a</sup>**Lucie Anzivino,**

a - Réseau Santé - Déchets, Lyon - Umrette, Faculté de médecine - 8 avenue Rockefeller - 69373 Lyon Cedex 08

### <sup>ac</sup>**Juliette Asta,**

a - Réseau Santé - Déchets, Lyon - Umrette, Faculté de médecine - 8 avenue Rockefeller ; 69373 Lyon Cedex 08

c - Laboratoire de biologie alpine, Université J. Fourier - Grenoble

### <sup>d</sup>**Philippe Berny,**

d - Laboratoire de toxicologie - École nationale vétérinaire de Lyon

### <sup>d</sup>**Mikaéline Billeret,**

d - Laboratoire de toxicologie - École nationale vétérinaire de Lyon

### <sup>e</sup>**Anne Maitre,**

e - Institut universitaire de médecine du travail et d'environnement - Université J. Fourier - Grenoble

### <sup>e</sup>**Sylvie Parat,**

e - Institut universitaire de médecine du travail et d'environnement - Université J. Fourier - Grenoble

### <sup>ea</sup>**Muriele Stoklov,**

a - Réseau Santé - Déchets, Lyon - Umrette, Faculté de médecine - 8 avenue Rockefeller - 69373 Lyon cedex 08

e - Institut universitaire de médecine du travail et d'environnement - Université J. Fourier - Grenoble

### <sup>f</sup>**Bernard Sarrasin,**

f - INSA de Lyon, Division Polden

### <sup>ad</sup>**Gérard Keck,**

a - Réseau Santé - Déchets, Lyon - Umrette, Faculté de médecine - 8 avenue Rockefeller - 69373 Lyon cedex 08

d - Laboratoire de toxicologie, École nationale vétérinaire de Lyon

### <sup>af</sup>**Yves Perrodin**

a - Réseau Santé - Déchets, Lyon - Umrette, Faculté de médecine - 8 avenue Rockefeller - 69373 Lyon cedex 08

f - INSA de Lyon - Division Polden

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.