



Collecte 2

- OM, déchets verts, papiers, verre, bactéries, champignons, *Aspergillus fumigatus*, actinomycètes, ergonomie
- OM, bactéries, champignons, endotoxines, troubles respiratoires, troubles gastro-intestinaux, irritation yeux, peau, déchets organiques, fatigue, céphalées
- OM compostables, (1-3)- β -D glucane, endotoxines, diarrhée, fatigue, inflammation respiratoire, perméabilité pulmonaire

Tri et recyclage 2

- OM, bactéries, champignons, asthme, bronchite, irritation yeux, voies aériennes, cytokines inflammatoires

Compostage 3

- OM, déchets organiques, déchets verts, bactéries, champignons, *Aspergillus*, actinomycètes, endotoxines, polysaccharides extracellulaires
- OM, asthme, aspergillose, trachéobronchite, sinusites, choc toxique, anticorps anti *Aspergillus*, endotoxines, (1-3)- β -D glucane, lavage nasal, marqueurs d'inflammation

Stockage 3

- OM, bactéries, champignons, symptômes respiratoires, travailleurs, inflammation pulmonaire, rats

Incinération 4

- OM, bactéries, champignons, mortalité

Traitement de déchets infectieux ... 6

- Incinération, bactéries aéroportées
- Compactage, bactéries

Combustible dérivé de déchets ... 7

- Déchets papiers, aliments, plastiques, déchets verts, microorganismes, endotoxines

Glossaire 8

La présente publication constitue une présentation des articles et des travaux scientifiques publiés en la matière. Elle n'exprime pas nécessairement l'opinion des chercheurs du Réseau Santé-Déchets. Le lecteur est invité à se reporter au texte intégral des articles présentés qui sont analysés par un réseau d'experts et ont été retenus, parmi les articles répertoriés, en fonction de leur qualité scientifique. Les revues de synthèse jugées intéressantes sont plutôt référencées dans les rubriques « à lire également ».

Les textes commentés dans le bulletin Info Santé-Déchets sont également accessibles sur le site :

www.pro-environnement.com

Secrétariat de Rédaction et abonnements :
RSD, CEI - 66, boulevard Niels Bohr - BP 2132

69603 Villeurbanne Cedex

Tél. : + 33 (0)4 72 43 64 53

Fax : + 33 (0)4 72 43 98 66

E-mail : r.s.d@voila.fr

Éditorial

Exposition des travailleurs du traitement des déchets aux bioaérosols.

Nous avons rassemblé dans ce numéro récapitulatif d'Info Santé-Déchets (ISD) des articles déjà commentés dans les précédents bulletins ISD qui présentent des études de l'exposition des travailleurs du traitement des déchets à des bioaérosols*.

Les études recensées dans la base bibliographique du RSD (3 000 références) concernent toutes les filières de traitement pour lesquelles ISD exerce une veille bibliographique : collecte, tri et recyclage, compostage, stockage et incinération des déchets ménagers, des déchets verts et accessoirement des déchets infectieux.

La répartition des études traitant d'exposition professionnelle à des agents biologiques est très inégale selon les filières. Parmi les études figurant dans ce numéro, très peu concernent l'exposition aux bioaérosols des travailleurs de l'incinération appliquée aux déchets ménagers (2 articles) et aux déchets infectieux (2 articles), très peu également vis-à-vis du stockage des déchets (1 article). La majorité des études concernent les filières de traitement des déchets où la manipulation, manuelle et/ou mécanique, des déchets ménagers (collecte et tri) et des déchets verts (collecte et compostage), expose les travailleurs à des agents biologiques dispersés dans l'air (collecte : 10 articles, tri : 4 articles, compostage : 11 articles). Les études les plus récentes traitent de l'exposition des travailleurs aux bioaérosols dans les sites de compostage.

Les bactéries et les champignons ont été très souvent mesurés à des niveaux élevés dans les diverses ambiances de travail. La présence de certains composés issus des microorganismes, endotoxines* et (1-3)- β -D glucanes* notamment, qui sont des facteurs d'inflammation des voies respiratoires chez les sujets exposés, est recherchée dans les ambiances de travail où ils sont parfois mesurés à des niveaux très élevés lors de la manipulation de déchets compostables.

Les effets sur la santé des travailleurs exposés aux bioaérosols produits par les déchets sont peu spécifiques (troubles respiratoires et digestifs, irritation oculaire, respiratoire ou cutanée), mais leur fréquence (prévalence* ou incidence*) atteint parfois des valeurs très élevées par rapport à des sujets non exposés.

Au plan international, les recherches utilisant des marqueurs biologiques pour mettre en évidence les effets inflammatoires des bioaérosols sur les voies respiratoires des travailleurs du traitement des déchets mériteraient d'être poursuivies afin de mieux caractériser leur responsabilité dans les atteintes respiratoires chez les sujets exposés. En France, des études épidémiologiques de même nature que celles qui ont été menées dans différents pays d'Europe permettraient de confirmer auprès des industriels du traitement des déchets l'importance des troubles attribuables aux bioaérosols et la nécessité de leur prévention.

Le comité de rédaction d'Info Santé-Déchets

* Les mots suivis d'un astérisque sont expliqués dans le glossaire figurant en fin de bulletin

Contact : Info Santé-Déchets, Philippe Thoumelin, Les Massards,

38660 Saint-Hilaire-du-Touvet - Tél. : 04 76 08 68 33 - E-mail : thoumelin.philippe@wanadoo.fr

Conseil scientifique : Bajeat P., Cambou J., Couffignal B., De Taisne P., Deloraine A., Hours M., Keck G., Naquin P., Paul C., Perrodin Y., Rivière A., Rivière J.L., Thoumelin P., Vanlaer H.

Conception et réalisation : Editions DPE, LYON 7^{ème}, 04 72 98 26 60



COLLECTE

Variations de la concentration en micro-organismes respirée par les travailleurs chargés de la collecte des déchets selon le type de collecte, le type de déchets ou les saisons et amélioration ergonomique (1, 2, 3)

Les données présentées concernent l'exposition aux bioaérosols* et proviennent de 8 études où les travailleurs de la collecte des déchets étaient équipés de pompes pour prélèvements individuels. Les concentrations moyennes en micro-organismes totaux étaient de 10³ à 10⁶ cellules/m³. Pour les champignons cultivables, elles étaient de 10⁴ à 10⁵ ufc/m³ et de 10³ à 10⁴ ufc/m³ pour les bactéries (ufc = unités microbiologiques formant colonies). Les concentrations en *Aspergillus fumigatus* et en actinomycètes* étaient plus élevées pour les déchets verts que pour les autres types de déchets. Le type de collecte n'avait qu'une influence mineure sur les concentrations en micro-organismes. Les concentrations mesurées dans le milieu extérieur étaient toujours plus basses que celles retrouvées dans les prélèvements des salariés. Les médianes de concentrations de l'air en micro-organismes ne présentent que peu de différences selon le type de déchets collectés et ne permettent pas de différencier les types de déchets. Par contre, la proportion d'échantillons comportant un grand nombre de hautes concentrations en bactéries (> 10⁴ ufc/m³), plutôt élevée pour tous les types de déchets, permet de différencier les déchets verts (45% des échantillons), les déchets de papier et de verre (43%) et les déchets mixtes (38%). Pour les déchets verts, 76% des échantillons comportaient des concentrations élevées en champignons (> 10⁵ ufc/m³) et 41% des concentrations élevées en *Aspergillus fumigatus* (> 10⁴ ufc/m³). Aucun de ces échantillons ne présentait de concentration faible en micro-organismes totaux (< 1,6*10² cellules/m³). La médiane des concentrations en actinomycètes thermophiles des échantillons de déchets verts était de 150 ufc/m³. Les déchets compostables, les déchets mixtes ou les ordures ménagères triées présentent moins d'échantillons à haute concentration que les déchets verts. La fraction recyclable présente une proportion élevée d'échantillons à haut niveau de concentration en bactéries. Les concentrations en endotoxines varient de 0 à 100 EU/m³ pour tous les types de déchets, ce qui est inférieur au niveau de 10 ng/m³ (soit 120 à 150 EU/m³) considéré comme sans effet (UE = unité d'endotoxine). Les concentrations en poussières étaient généralement basses inférieures à la valeur limite d'exposition pour le milieu professionnel du Danemark (3 mg/m³) (1).

Afin d'examiner les variations saisonnières de l'exposition des agents de la collecte des déchets aux bioaérosols, une étude concernant la collecte de la fraction fermentescible des déchets ménagers a été réalisée dans les environs de Copenhague dans une zone de maisons individuelles. Les déchets sont triés à la source par chaque foyer, gardés dans les cuisines 1 à 2 jours avant d'être mis dans des conteneurs ou des sacs papiers à l'extérieur. Des prélèvements d'air par échantillonneurs individuels sont effectués au niveau des voies aériennes des salariés (pompes portables + filtres polycarbonate) dans le but d'analyser les micro-organismes et les poussières (sur filtres nitrate cellulose pour les endotoxines). Un échantillon de référence est pris dans les locaux administratifs de la société. Des échantillons de jus sont également prélevés au fond des camions ou des bennes. Une variation saisonnière est observée pour les micro-organismes totaux, les moisissures, *Aspergillus fumigatus*, les actinomycètes et les endotoxines. Les niveaux les plus élevés sont observés en été (Tableau 1) et lors de l'utilisation des conteneurs plastiques et des bennes. A plusieurs reprises des niveaux dépassant 10⁴ cellules/m³ ont été mesurés, au printemps ou en été, notamment en *A. fumigatus*. De fortes teneurs en micro-organismes et en endotoxines sont observées dans les jus, particulièrement en été, sans qu'il y ait de différence entre les jus recueillis lorsque la collecte se fait en conteneur ou en sacs papier. Il s'agit d'un article publié par une des rares équipes qui s'intéressent à la question. Les résultats viennent confirmer des notions déjà connues, notamment l'importance de la saison et de l'impact des contenants (le plastique joue un rôle très favorisant pour la culture des micro-organismes). En dépit de taux le plus souvent modérés, des pics très importants peuvent être observés. Les niveaux considérés comme étant très certainement associés à des troubles de la santé sont à plusieurs reprises largement dépassés (2).

Tableau 1 : Concentrations maximales en bioaérosols relevées en été au niveau des voies aériennes supérieures de travailleurs de la collecte des déchets au Danemark [Nielsen, 2000]

Bioaérosols	Concentrations
Micro-organismes totaux	9,2 x 10 ⁵
Champignons viables	7,8 x 10 ⁴ *
<i>Aspergillus fumigatus</i>	2,9 x 10 ⁵
Actinomycètes mésophiles	9,0 x 10 ⁴ *
Bactéries	1,0 x 10 ⁴ *
Endotoxines	16

* : cellules/m³, ** : ufc/m³, *** : UE/m³

Les auteurs canadiens exposent les principaux résultats de leur étude des améliorations apportées aux conditions de travail des collecteurs d'OM (exposition aux bioaérosols* et ergonomie) par l'utilisation d'un camion muni d'un bras mécanique à commande assistée. Les concentrations moyennes de bactéries totales mesurées sur les travailleurs sont, comme dans l'étude de la collecte conventionnelle, de l'ordre de 10³-10⁴ ufc/m³ d'air (Tableau 2) (ufc = unités formant colonies). L'exposition des travailleurs est supérieure,

de façon statistiquement significative (p>0,05) aux niveaux de base. Toutefois, contrairement à la collecte conventionnelle où la valeur guide de 10⁴ ufc/m³ d'air était atteinte dans 86% des cas, l'utilisation de camions avec bras assisté fait descendre ce pourcentage à 20%. Les mesures faites sur les travailleurs indiquent que les concentrations d'endotoxines sont toutes inférieures à la valeur guide proposée par l'ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) (1999) soit 30 fois le niveau de base exprimée en UE/m³ d'air (UE = unité d'endotoxine). Elles sont aussi toutes inférieures au niveau d'intervention de 50% de la norme habituellement utilisée en hygiène du travail ce qui devrait limiter le risque de survenue de symptômes respiratoires. Dans tous les scénarios de collecte, les concentrations moyennes de moisissures dépassent cependant d'une façon statistiquement significative (p>0,05) leurs niveaux moyens de base qui sont de l'ordre de 10³ ufc/m³ d'air. Elles sont similaires à celles rapportées dans l'étude de la collecte conventionnelle (de l'ordre de 10⁴ ufc/m³ d'air soit un ordre de grandeur supérieur aux concentrations de base). Selon les auteurs, ces résultats incitent à recommander que la manipulation des ordures à mains nues soit évitée, même dans la collecte avec des camions munis du bras assisté. Cet intéressant travail complète les études des mêmes auteurs sur les risques liés aux différentes techniques de traitement des déchets pour les travailleurs (centre de tri et sites de compostage notamment). Il confirme l'intérêt en terme de prévention de la technique du bras articulé pour la collecte des déchets mais en montre aussi les limites au plan ergonomique en lien avec l'organisation du ramassage des déchets sur la voie publique et l'attitude des résidents (3).

Tableau 2 : Concentrations moyennes de bactéries, endotoxines et moisissures chez les travailleurs de la collecte de déchets ménagers utilisant un camion équipé d'un bras articulé (moyennes et écart-types géométriques) [Lavoie, 2004]

Type de collecte	Bactéries totales*		Endotoxines**		Moisissures***							
	Niveaux de base	Travailleurs	Niveaux de base	Travailleurs	Niveaux de base	Travailleurs						
	n	ufc/m ³	n	UE/m ³	n	ufc/m ³						
Ville, en vrac	2	3 600 (±1,8)	6	18 090 (±1,5) [†]	3	2,9 (±1,4)	3	39,1 (±1,9)	3	3 350 (±1,8)	6	75 510 (±1,9) [†]
Ville, recyclables	3	400 (±4,4)	6	1 510 (±2,4) [†]	3	2,9 (±1,4)	3	3,5 (±1,2)	3	4 010 (±2,4)	5	36 500 (±1,4) [†]
Ville, compost	3	210 (±1,2)	5	5 960 (±1,9) [†]	3	2,9 (±1,4)	4	7,5 (±2,0)	3	4 735 (±2,0)	6	46 800 (±2,5) [†]
Campagne, en vrac	3	600 (±4,0)	5	5 710 (±1,5) [†]	3	2,9 (±1,4)	4	6,8 (±1,7)	3	1 130 (±2,0)	5	13 250 (±1,8) [†]
Campagne, recyclables	3	460 (±3,5)	6	4 500 (±2,3) [†]	3	2,9 (±1,4)	4	3,9 (±1,2)	3	8 720 (±1,3)	6	27 320 (±1,8) [†]

† Valeur guide : 10 000 ufc/m³ d'air pour huit heures ; ** Valeur guide : 30 fois supérieure au niveau de base ; *** Valeur guide : équivalente au niveau de base
 † = significativement plus élevé (p<0,05) que le niveau de base
 n = nombre de prélèvements

BIBLIOGRAPHIE

- 1) NIELSEN EM, BREUM NO, NIELSEN BH, WURTZ H, POULSEN OM, MIDTGAARD U. Bioaerosol exposure in waste collection: a comparative study on the significance of collection equipment, type of waste and seasonal variation. *Appl. occup. Hyg.*, 1997, 41, 325-344 (36 références), LO : 1517, RUB=1999-27-PROC-IMP
- 2) NIELSEN BH, NIELSEN EM, BREUM NO. Seasonal variation in bioaerosol exposure during biowaste collection and measurements of leaked percolate. *Waste Manage Res.*, 2000, 18, 64-72 (25 références), LO : 2385, RUB=2002-36-IMP-COM
- 3) LAVOIE J, BOURDOUXHE M, GUERTIN S. Étude des agents biologiques et des contraintes ergonomiques lors de l'utilisation de camions avec bras assisté pour la collecte des ordures domestiques. *Pistes*, 2004, 6, (1), 23 pages (31 références), LO : 2898, RUB=2006-53-PROC-COM

Troubles de santé en relation avec l'exposition à des bioaérosols chez les travailleurs chargés de la collecte des déchets (4, 5, 6)

Au Danemark, chez les travailleurs chargés de la collecte des déchets, des troubles respiratoires, des troubles gastro-intestinaux, des irritations des yeux et de la peau, et chez les ouvriers chargés des déchets biodégradables, des symptômes en rapport avec l'exposition à des poussières organiques ont été relevés (Tableau 3). Il existe peu de données sur l'exposition à des bioaérosols* et à des composés volatils. Les éboueurs pourraient être exposés simultanément à de multiples agents biologiques, bactéries, endotoxines*, moisissures, ainsi qu'à des COV et des particules diesels (4).

Tableau 3 : Problèmes de santé des travailleurs de la collecte des déchets durant la période 1984-1992 (ROAD* données non publiées) [Poulsen, 1995]

Diagnostic	Incidence ^a (tous travailleurs)	Incidence ^b (travailleurs des déchets)	Risque relatif IC à 95%
Tous troubles rapportés	5,5	8,3	1,5 (1,4-1,7)
Allergies respiratoires	0,22	0,58	2,6 (1,8-3,9)
Autres troubles respiratoires	0,38	0,53	1,4 (0,9-3,9)
Pertes auditives	0,95	0,51	0,5 (0,1-0,8)
Troubles musculosquelettiques	1,9	3,5	1,9 (1,6-2,2)
Troubles cutanés	0,84	1,3	1,6 (1,2-2,0)
Infections	0,06	0,36	6,0 (3,6-10,0)
Troubles nerveux, sensoriels	0,05	0,10	2,0 (0,8-5,3)
Troubles cérébraux	0,39	0,31	0,8 (0,5-1,4)
Troubles circulatoires	0,08	0,05	0,6 (0,2-2,5)
Troubles gastro-intestinaux	0,05	0,14	2,8 (1,3-6,3)

^a Danish Registry of Occupational Accidents and Diseases.

^b L'incidence est le nombre de troubles rapportés par 1000 employés et par an. Le risque relatif est le rapport de l'incidence chez les travailleurs des déchets à l'incidence pour l'ensemble des travailleurs durant la période 1984-1992.

Un total de 2 303 hommes chargés de la collecte des OM au Danemark et 1 430 employés municipaux considérés comme témoins ont répondu à un questionnaire sur les conditions de travail. Les réponses ont permis de constituer une intéressante matrice tâches/exposition prenant en compte le type d'ordures

collectées, la tâche ou le poste de travail, le type de contenants, la fréquence de la collecte. Les micro-organismes totaux (champignons + bactéries), les champignons et les endotoxines ont été quantifiés dans l'air des postes de travail. Des odds-ratios* de prévalence (ORP) élevés (> 3 significatifs) sont calculés pour l'existence de diarrhées en relation avec une pollution élevée aux postes de travail tant en micro-organismes totaux qu'en champignons ou endotoxines. Les nausées sont en relation avec des niveaux élevés d'endotoxines (ORP = 1,6). Dans tous les cas, la fréquence des troubles gastro-intestinaux décroît avec la baisse des niveaux de pollution aux micro-organismes. Dans cette étude, la collecte de vieux papiers (en sacs, en poubelles ou en containers) est génératrice de niveaux d'endotoxines aussi élevés que la collecte des OM. La collecte des OM en sacs est responsable d'un niveau d'endotoxines plus faible que les collectes en containers ou poubelles. La tâche de chargement des ordures dans les camions est toujours la plus exposée (5).

L'association entre les symptômes professionnels et l'exposition aux bioaérosols est étudiée dans de petits groupes de travailleurs chargés de la collecte (sélective ou non) des ordures ménagères. Vingt-deux travailleurs chargés de la collecte des déchets ont participé à l'étude : 11 ne collectaient que des déchets organiques et les 11 autres des déchets en mélange. Des mesures individuelles de l'exposition ont été réalisées sur la durée du poste de travail de 1 à 14 fois pour chaque travailleur en été et en hiver. Les concentrations en poussières et en endotoxines relevées étaient faibles avec des valeurs médianes respectivement de 0,17 mg/m³ et 1,8 EU/m³ (UE = unité d'endotoxine). Les concentrations en bactéries et spores de champignons variaient de l'ordre de 0 à 6.106 par m³. La prévalence des symptômes rapportés chez les travailleurs exposés uniquement aux déchets organiques était systématiquement supérieure à celle des travailleurs exposés aux déchets en mélange. Des différences significatives étaient observées pour l'ensemble des symptômes respiratoires et l'existence d'une fatigue inhabituelle ou de céphalées. Des différences significatives étaient observées pour les concentrations mesurées en endotoxines et bactéries entre les sujets présentant ou non une irritation nasale. Les concentrations de spores fongiques étaient significativement plus élevées chez ceux qui déclaraient une toux, une sensation de fatigue ou des céphalées. Des phénomènes de confusion liés à l'âge ou au tabagisme étaient toutefois relevés. Il faut noter que 18 des 22 sujets étudiés étaient fumeurs. Une sur-déclaration de symptômes ne peut être exclue si par exemple les OM les plus odorantes sont aussi celles qui sont associées aux concentrations en agents biologiques les plus élevées. Les concentrations mesurées dans l'air sont très faibles et proches du bruit de fond habituel en air extérieur, notamment en ce qui concerne les endotoxines. Elles varient par ailleurs de manière importante. Cette étude par questionnaire menée sur un petit nombre de sujets n'apporte que des informations assez limitées sur les risques liés à l'exposition aux bioaérosols. Les concentrations mesurées dans l'air à l'occasion de la collecte des déchets apportent des informations intéressantes (6).

BIBLIOGRAPHIE

- 4) POULSEN OM, BREUM NO, EBHEHOJ N, HANSEN AM, IVENS UI, VAN LELIEVELD D, MALMROS P, MATTHIASSEN L, NIELSEN BH, NIELSEN EM, SCHIBYE B, SKOV T, STENBAEK EI, WILKINS CK. *Collection of domestic waste. Review of occupational health problems and their possible causes. Sci. total Environ., 1995, 170, (1-2), 1-19 (80 références), LO : 1087, RUB=1997-16-IMP-COM*
- 5) IVENS UI, BREUM NO, EBHEHOJ N, NIELSEN BH, POULSEN OM, WURTZ H. *Exposure-response relationship between gastrointestinal problems among waste collectors and bioaerosol exposure. Scand. J. Work Environ. Health, 1999, 25, (3), 238-245 (40 références), LO : 1964, RUB=2000-31-IMP-COM*
- 6) HELDAL KK, EDUARD W. *Associations between acute symptoms and bioaerosol exposure during the collection of household waste. Am. J. Ind. Med., 2004, 46, 253-260 (23 références), LO : 2742, RUB=2005-50-IMP-COM*

Exposition des travailleurs de la collecte des déchets aux (1-3)-β-D glucanes* et aux endotoxines* et effets sur les voies respiratoires (7, 8, 9)

La manipulation des déchets génère des poussières organiques qui contiennent des composants de la membrane des cellules tels que les (1-3)-β-D glucanes et les endotoxines. Afin d'apprécier l'exposition aux (1-3)-β-D glucane et aux endotoxines à différentes saisons et à différentes températures, des prélèvements individuels par filtration (2 litres par minute) sont réalisés, une journée par semaine pendant plusieurs mois (17 pour les (1-3)-β-D glucanes, 11 pour les endotoxines), chez deux travailleurs chargés de la collecte de déchets ménagers compostables. Les concentrations en endotoxines sont basses tout au long des essais (< 10 ng/m³) et ne sont pas corrélées à la température ambiante. Les concentrations en (1-3)-β-D glucane sont plus élevées durant la saison chaude. Il existe cependant des différences entre les deux sujets et d'une année à l'autre. La corrélation entre ces concentrations et la température ambiante est significative ($r = 0,61$; $p < 0,001$). Les auteurs concluent à une exposition plus importante des travailleurs durant l'été, période pendant laquelle ils présentent plus de symptômes. L'étude est effectuée sur deux sujets seulement, ce qui limite considérablement l'intérêt, même si la période de suivi est longue. Les différences observées entre les sujets et d'une année à l'autre fragilisent les conclusions. Le lien entre les concentrations relevées et les déchets n'est pas certain car aucun prélèvement de référence n'a été effectué pour vérifier une éventuelle surexposition. Par ailleurs, les (1-3)-β-D glucanes peuvent être issus de la paroi de moisissures de l'ambiance ou des pollens, facteurs qui sont connus pour être plus abondants en été. Il est dommage que les auteurs n'aient pas réalisé de prélèvements pour étudier la composition de l'air en bactéries, pollens et moisissures pour étudier cette hypothèse (7).

Afin d'analyser la relation entre les niveaux d'endotoxines et de (1-3)-β-D glucane (un constituant de la paroi des bactéries ou des champignons), dans l'air respiré par les salariés de la collecte d'ordures ménagères (éboueurs) et l'inflammation des voies aériennes, 25 éboueurs et 24 témoins (travaillant dans l'administration locale) ont été étudiés. Les éboueurs travaillaient pour 8 d'entre eux dans la collecte de la

part compostable des déchets triés à domicile, les autres récoltant des déchets non triés. L'exposition des éboueurs de déchets compostables au (1-3)-β-D glucane est significativement plus importante (10,8-36,4 ng/m³) que celle des éboueurs de déchets bruts (2,0-13,7 ng/m³), et que celle des témoins (0-5,9 ng/m³) alors que l'exposition aux endotoxines est similaire, et dans tous les cas inférieure à ce qui est suggéré comme valeur guide de sécurité (déchets triés : 0,1-1,2 ng/m³; déchets bruts : 0,3-1,2 ng/m³). Une proportion plus importante d'éboueurs rapporte des symptômes de diarrhées, de congestion nasale et de fatigue. Le nombre de lymphocytes sanguins était plus élevé chez les éboueurs (corrélation avec les niveaux de (1-3)-β-D glucanes). Les éboueurs ont toutefois de meilleurs résultats aux tests respiratoires que les témoins (les auteurs suggèrent l'existence d'un 'effet travailler sain'). Certains marqueurs d'inflammation respiratoire étaient diminués chez les éboueurs (baisse des macrophages* dans le liquide de lavage bronchique, et des PCE* (protéine cationique à éosinophiles) dans le sérum, ce que les auteurs interprètent comme suggérant une situation très dégradée. Les autres indicateurs sont proches dans les 2 groupes. Il s'agit d'une étude bien menée, de bonne qualité scientifique, même si les résultats sont discutables, d'autres groupes professionnels ayant montré des résultats totalement opposés (8).

Vingt-cinq travailleurs chargés de la collecte des déchets et 6 travailleurs du compostage ont participé à l'étude pour estimer l'inflammation des voies aériennes et rechercher une association avec l'exposition aux bioaérosols. Des mesures individuelles de l'exposition ont été réalisées sur la durée du poste de travail durant trois jours consécutifs. Les prélèvements étaient effectués pour la recherche de bactéries ou moisissures viables, d'endotoxines*, de (1-3)-β-D glucane* et le dosage pondéral des poussières. L'état d'inflammation des voies respiratoires était apprécié par une rhinométrie acoustique*, qui estime les dimensions des cavités nasales, et un lavage nasal avant la prise du poste de travail le premier jour et à l'issue des trois jours de travail. Un questionnaire de symptômes rempli par le salarié complétait ce recueil. Les auteurs constatent une augmentation significative de certains marqueurs d'inflammation mesurés dans le lavage nasal (pourcentage de polynucléaires neutrophiles*, PCE), non significative pour d'autre (myéloperoxydase (MPO), IL8). Un des indicateurs du volume des cavités nasales mesuré diminue au cours de la semaine de manière significative. Aucune association entre les symptômes rapportés et les paramètres sanitaires mesurés n'est constatée. Des corrélations sont observées entre les teneurs en endotoxines, en spores de champignons dans l'air le jour précédent et certains marqueurs d'inflammation (MPO, polynucléaires neutrophiles) ainsi qu'entre spores de champignons, (1-3)-β-D glucane et l'existence d'une congestion nasale. Cette étude menée sur un nombre limité de sujets (les associations présentées sont peu robustes) présente des arguments en faveur d'un effet inflammatoire des bioaérosols sur les voies aériennes supérieures des personnels exposés aux déchets. Il faut noter toutefois que 27 des 31 sujets participants étaient fumeurs. L'étude mériterait d'être complétée par des travaux permettant d'explorer ces mêmes effets indépendamment de l'exposition au tabac (9).

Une étude de cohorte prospective a été réalisée dans le Canton de Zurich entre 2000 et 2002 pour vérifier l'hypothèse d'une augmentation de la perméabilité de la barrière épithéliale du poumon chez des travailleurs manipulant des déchets. L'objectif initial était de recruter 150 salariés collectant des ordures ménagères, 300 travailleurs du secteur du traitement des eaux usées et 150 témoins. Au total, 778 sujets ont été inclus dans l'étude, soit un taux de participation de 61%. Parmi eux, 369 n'avaient jamais été exposés aux bioaérosols, 325 avaient été exposés par le biais des eaux usées sans aucune exposition aux émissions des déchets ménagers, 84 avaient été exposés aux déchets ménagers et 16 aux deux types d'exposition. Des mesures d'endotoxines ont été préalablement réalisées dans le secteur du traitement des eaux usées, mais pas chez les collecteurs d'OM. Dans cette étude, il n'existait pas de lien entre l'exposition aux bioaérosols et les signes d'asthme. Enfin, 3 cas de pneumopathies d'hypersensibilité ont été identifiés sans lien avec l'exposition étudiée. Après prise en compte des autres facteurs de risque (âge, tabagisme, indice de masse corporelle), une diminution significative du rapport de Tiffeneau (volume expiratoire maximum en une seconde/capacité vitale forcée ou VEMS/CVF) a été identifiée chez les sujets ayant travaillé dans le secteur du traitement des eaux usées, mais pas chez les collecteurs d'OM. Le tabagisme est associé à une diminution dans le sang des cellules de Clara (CC16), protéines qui pourraient être des témoins de la perméabilité de la barrière épithéliale, le travail dans le secteur des eaux usées à une augmentation (résultats statistiquement significatifs). Les relations sont inversées pour la protéine B du surfactant (PB-S), autre protéine témoin de la perméabilité de la barrière épithéliale, avec une augmentation significative liée au tabagisme et une diminution significative chez les sujets exposés aux eaux usées. Aucune variation significative n'est observée chez les sujets exposés aux émissions des déchets ménagers. L'absence de cohérence des résultats observés pour les deux indicateurs étudiés fait discuter le lien de causalité entre l'exposition et les variations de taux de CC16 et PB-S mesurées. L'augmentation des taux de CC16 pourrait être un signe d'altération de la perméabilité pulmonaire chez les travailleurs du traitement des eaux usées. Cette observation est cohérente avec l'altération de la fonction respiratoire dans cette catégorie. L'utilisation de ces marqueurs est récente et nécessite encore d'être validée. Ainsi, dans une autre publication des variations diurnes des niveaux de CC16 ont été montrées. L'existence de ces variations n'a pas été prise en compte dans la présente étude. Si les sujets exposés ont été vus préférentiellement en début de journée et les témoins en fin de journée, cette variation diurne pourrait expliquer les différences observées. Malgré les aléas méthodologiques, cette étude apporte de nouvelles informations sur les effets pulmonaires des expositions aux bioaérosols (10).

BIBLIOGRAPHIE

- 7) THORN J. *Seasonal variations in exposure to microbial cell wall components among household waste collectors. Appl. occup. Hyg., 2001, 45, 153-156 (18 références), LO : 2077, RUB=2001-34-PROD-COM et 2005-49-PROC-COM*
- 8) THORN J, BEIJER L, RYLANDER R. *Airways inflammation and glucan exposure among household waste collectors. Am. J. Ind. Med., 1998, 33, 463-470 (27 références), LO : 1700, RUB=1999-28-IMP-COM*

9) HELDAL KK, HALSTENSEN AS, THORN J, DJUPESLAND P, WOUTERS I, EDUARD W, HALSTENSEN TS. Upper airway inflammation in waste handlers exposed to bioaerosols. *Occup. Environ. Med.*, 2003, 60, 444-450 (29 références), LO : 2462, RUB=2005-50-IMP-COM

10) STEINER D, JEGGLI S, TSCHOPP A, BERNARD O, OPLIGER A, HILFIKER S, HOTZ P. Clara cell protein and surfactant protein B in garbage collectors and in wastewater workers exposed to bioaerosols. *Int. Arch. occup. environ. Health*, 2005, 78, 189-197 (42 références), LO : 2873, RUB=2007-55-IMP-COM



TRI et RECYCLAGE

Contamination de l'ambiance de travail dans les usines de tri des déchets et effets sur la santé (1, 2, 3, 4)

En Finlande, 5% seulement des déchets urbains étaient traités en 1992. Les auteurs ont déterminé les niveaux de contamination de l'atmosphère de travail en micro-organismes, en poussières et en métaux lourds dans 2 stations de tri et une usine d'incinération. Tous les postes de travail ont été contrôlés. Des échantillons d'air ont été prélevés pendant 7 mois, au niveau de la zone respiratoire des sujets. Des échantillons témoins ont été prélevés dans des locaux où il n'y avait pas de manipulation de déchets. Les bactéries mésophiles sont plus abondantes dans les usines de tri, particulièrement au niveau du tapis de tri ou à l'emballage (5 500 et 4 900 ufc/m³ contre 1 800 en zone témoin). Les bactéries thermotolérantes* et les champignons sont plus abondants au sein de l'usine d'incinération (600 à 22 000 ufc/m³ contre 30 à 3 600 ufc/m³ en zone témoin) qu'à l'usine de tri. Pour les poussières, les niveaux dépassent la valeur admissible pour 15 minutes (10 mg/m³) lors d'opérations de tri de papiers. Il semblerait que les niveaux de contamination aérienne soient moindres dans les centres de tri (sauf en ce qui concerne les poussières) que dans l'ambiance de décharges, d'usines de compostage ou de traitement des eaux usées (7 références citées). Il s'agit d'un article de bonne qualité pour les techniques de prélèvement et d'analyse. Mais la méthodologie statistique est indigente et il manque une évaluation sérieuse des résultats par rapport aux normes admises en milieu professionnel (1).

Pour minimiser les nuisances occasionnées aux riverains, les centres de tri et de traitement des ordures ménagères sont construits dans des locaux fermés. Parmi les 15 employés d'une usine danoise exposés au tri de déchets ménagers et industriels, 8 diagnostics d'asthme et un de bronchite chronique ont été portés depuis la mise en service en 1986. L'inspection des locaux montre l'accumulation de déchets humides parmi les matériaux recyclables. L'utilisation de convoyeurs ouverts et le nettoyage à l'air comprimé entraîne la formation importante d'aérosols. Le capotage des bandes de convoyeurs et un système centralisé d'aspiration ont réduit la pollution en champignons, bactéries et toxines. Les auteurs insistent sur la nécessité d'intégrer les opérations de nettoyage évitant la formation des aérosols dès la conception de ce type d'usine. Le médecin regrettera la description trop sommaire des pathologies respiratoires qui semblent s'apparenter autant à une alvéolite qu'à un asthme (2).

Dans une large revue de la littérature, les auteurs se sont attachés à décrire la technologie des installations puis à recenser les études, principalement transversales, publiées entre 1981 et 1995 sur les pathologies des travailleurs des usines de tri, de recyclage ou de compostage des déchets ménagers. Dans les usines de tri, dans les usines de recyclage et de tri des cartons et papiers, une irritation des yeux et des voies aériennes supérieures s'ajoute aux troubles pulmonaires et gastro-intestinaux observés chez les travailleurs des usines d'enfouissement ou d'incinération des déchets. Les auteurs recommandent d'effectuer des recherches complémentaires afin de mettre en évidence les facteurs de risque spécifiques à ces activités et d'établir les liens de causalité entre les expositions et les pathologies observées (3).

Afin d'estimer la libération de cytokines inflammatoires* lors d'une exposition nasale à des poussières organiques, 5 travailleurs d'usine de recyclage d'ordures ménagères ne présentant pas de symptômes respiratoires sont comparés à 5 travailleurs du même secteur d'activité qui présentaient des symptômes ou des signes fonctionnels d'asthme lorsqu'ils étaient exposés aux déchets. L'exposition expérimentale est réalisée par instillation nasale de 5 ml d'une solution préparée à partir de compost ou contenant des lipopolysaccharides* (LPS) ou des (1-3)-β-D glucanes et comparée à l'instillation de sérum physiologique. Les tests cutanés ou "prick tests" pratiqués pour évaluer l'allergie cutanée immédiate chez les sujets étaient normaux, de même que les explorations fonctionnelles respiratoires. Les sujets exposés aux LPS présentaient plus fréquemment des symptômes au niveau des sinus et une augmentation des concentrations en albumine et en cytokines dans le liquide de lavage nasal 3 heures (interleukines 6 et 8) et 6 heures (interleukine 1b, TNFα, albumine) après l'exposition aux LPS. Certaines de ces concentrations (interleukines 6 et 1b) sont encore augmentées 11 heures après l'exposition. Les dénombrements de lymphocytes et de polynucléaires sont aussi accrus après exposition aux LPS ou à la solution préparée à partir de compost. L'accroissement des cytokines et des polynucléaires neutrophiles dans le liquide de lavage nasal est plus important dans le groupe des salariés asthmatiques, mais de manière non significative pour les cytokines. Les concentrations sanguines en cytokines sont significativement augmentées après exposition aux LPS et (1-3)-β-D glucanes. Dans cette étude, l'effet pro-inflammatoire des LPS est mis en évidence, ce qui confirme d'autres observations expérimentales. L'importance du tabagisme chez les sujets étudiés (8/10) a pu atténuer les différences de réponse entre les deux groupes. Les faibles effectifs observés

(5 par groupe) limitent aussi la puissance statistique de ce travail. Les LPS sembleraient être de meilleurs inducteurs d'inflammation dans l'exposition nasale. Les (1-3)-β-D glucanes ont aussi un effet mais qui ne conduit pas à des symptômes. La réponse des sujets qui présentaient des symptômes lors d'expositions professionnelles à des ordures ménagères ne montre pas de différence significative avec celle de sujets asymptomatiques. Cette observation va à l'encontre d'une plus grande sensibilité des sujets asthmatiques aux endotoxines bactériennes. Sa portée est toutefois limitée par des conditions expérimentales particulières, une exposition strictement nasale et le faible effectif étudié (4).

BIBLIOGRAPHIE

1) RAHKONEN P. Airborne contaminants at waste treatment plants. *Waste Manage. Res.*, 1992, 10, 411-421 (19 références), LO : 007, RUB=1993-00-PROC-COM

2) MALMROS P, SIGSGAARD T, BACH B. Occupational health problems due to garbage sorting. *Waste Manage. Res.*, 1992, 10, 227-234 (10 références), LO : 273, RUB=1994-04-IMP-COM

3) POULSEN OM, BREUM NO, EBBEHOJ N, HANSEN AM, IVENS UI, VAN LELIEVELD D, MALMROS P, MATTHIASSEN L, NIELSEN BH, MOLLER NIELSEN E, 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.*, 1995, 168, (1), 33-56 (88 références), LO : 957, RUB=1997-18-IMP-COM et 2005-49-IMP-COM

4) SIGSGAARD T, BONFELD-JORGENSEN EC, KJAERGAARD SK, MAMAS S, PEDERSEN OF. Cytokine release from the nasal mucosa and whole blood after experimental exposures to organic dusts. *Eur. Respir. J.*, 2000, 16, 140-145 (28 références), LO : 2297, RUB=2003-38-IMP-COM



COMPOSTAGE

Production de bioaérosols par les usines de compostage de déchets (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7)

Dans une usine de compostage d'OM, la bio-aérocontamination est mesurée par des échantillonneurs Andersen. Les analyses microbiologiques trouvent jusqu'à 28 000 ufc/m³ de bactéries dont 9 000 ufc/m³ de bactéries Gram négatif (*Pseudomonas*, *Acinetobacter*, *Shigella* et *Yersinia*). Les populations fongiques s'élèvent à 9 000 ufc/m³, principalement *Aspergillus* puis *Penicillium*, *Mucor* et *Rhizopus*. Les concentrations maximales recommandées sont de 10 000 ufc/m³ pour les bactéries et les champignons et de 500 ufc/m³ pour chacun des groupes de micro-organismes pathogènes. Pour les bactéries Gram négatif un seuil de 1 000 ufc/m³ est proposé. L'article ne tient pas compte des risques liés aux actinomycètes pourtant responsables de pathologies pulmonaires dans ces ambiances de travail. La mesure des bactéries Gram négatif sans la mesure des endotoxines dans l'atmosphère est un peu réductrice car il est difficile d'avoir une correspondance entre les deux (1).

La mise en place de nouvelles technologies (réacteurs rotatifs en aérobiose, tunnel de compostage et maturation en casiers) sur un site de compostage des déchets en Finlande fait l'objet d'une campagne de mesures afin d'en apprécier l'impact sur les conditions de travail des salariés. Les concentrations en micro-organismes observées dans l'air ambiant aux postes de travail sont très élevées et supérieures aux préconisations du ministère finlandais de la santé (Tableau 4). Les espèces isolées sont parmi les plus allergisantes (*Aspergillus*, *Penicillium* et actinomycètes). Les niveaux en poussières totales sont bas (< 5 mg/m³), mais les niveaux en poussières respirables sont élevés (jusqu'à 80% des particules mesurées) dans le tunnel de compostage et la cabine des pelles. Les niveaux en endotoxines sont inférieurs à 35 ng/m³ à tous les points de mesures (de 21 à 266 EU/m³ soit un dépassement du niveau sans effet) (UE = unité d'endotoxine). Les résultats confirment l'importance du risque microbiologique pour les travailleurs du compostage des déchets (2).

Tableau 4 : Concentrations microbiennes dans l'air ambiant du site de compostage de Hyvinkaa (Finlande) (en ufc/m³) [Tolvanen, 1999]

Température d'incubation	Champignons ¹		Bactéries ²		Actinomycètes ³	
	20-25°	40°	20-25°	40-55°	20-25°	40-55°
Hall						
- méthode CAMNEA ⁴	2.10 ³	750	9.5.10 ³	2.8.10 ³	880	780
- impacteur à 6 étages	8.10 ³	11.10 ³	13.2.10 ³	35.3.10³	2.2.10³	1.3.10 ³
Salle de contrôle						
- méthode CAMNEA ⁴	1.8.10 ³	600	320	1.2.10 ³	250	510
- impacteur à 6 étages	32.10³	1.8.10 ³	2.2.10 ³	13.4.10 ³	390	460
Tunnel de compostage						
- méthode CAMNEA ⁴	8.3.10 ³	11.6.10³	15.4.10³	11.6.10 ³	410	19.8.10³
- impacteur à 6 étages	3.4.10 ³	6.3.10 ³	10.7.10 ³	1.9.10 ³	350	14.10 ³
Cabine de la pelle						
- méthode à CAMNEA ⁴	36.8.10³	330	4.5.10 ³	190	95	300

¹ recommandations : < 500 ufc/m³ en hiver et < 2 500 ufc/m³ en été (par la méthode d'impacteur à 6 étages)

² recommandations : < 4 500 ufc/m³

³ recommandations : < 10 ufc/m³ en hiver

⁴ méthode qui associe culture et comptage microscopique à partir des microorganismes concentrés sur un filtre

Dans un site de compostage de Finlande, les déchets organiques des ménages, ceux de la restauration collective et de magasins d'alimentation sont mélangés à de la tourbe et mis en compostage en réacteurs pendant une semaine. Le reste du compostage est réalisé en andains. Dans les échantillons d'air prélevés, les champignons présentent des concentrations comparables entre le hall de réception et le hall du réacteur

(fourchette de l'ordre 10² à 10⁶ ufc/m³, moyenne géométrique de l'ordre 10⁵ ufc/m³ – 10 échantillons par localisation) (Tableau 5). Les souches les plus représentées appartiennent aux genres *Penicillium* (50-60%) et *Aspergillus* (20-28%). La salle de contrôle est moins exposée. Les concentrations en actinomycètes mésophiles sont plus importantes dans le hall de réception (moyenne géométrique 10⁷/m³) que dans le hall du bioréacteur (moyenne géométrique 650 ufc/m³) ou dans la salle de contrôle (moyenne géométrique 60 ufc/m³). Le comptage des particules totales (viables + mortes) montre des concentrations de l'ordre de 10⁷ particules/m³ dans le hall de réception et du réacteur (moyenne géométrique) et de 10⁶ ufc/m³ dans la salle de contrôle (moyenne géométrique). Les concentrations en poussières sont en dessous des valeurs limites citées par les auteurs (poussières : 5 mg/m³ - valeur seuil finlandaise) et quelle que soit la localisation, les concentrations en poussières ont une moyenne comparable (0,62 à 0,69 mg/m³). Les teneurs en endotoxines sont très élevées dans les deux hall du process (1 900 EU/m³ et 2 340 EU/m³) et beaucoup plus basses dans la salle de contrôle (100 EU/m³) cette dernière moyenne étant la seule en deçà de la valeur seuil citées par les auteurs (200 EU/m³ – valeur seuil néerlandaise) (UE = unité d'endotoxine). A la suite de leurs observations, les auteurs concluent que la salle de contrôle est propre et ne représente pas un lieu d'exposition préoccupant. Par contre, les concentrations rencontrées notamment dans le hall de réception des biodéchets et dans le hall du réacteur sont à des niveaux jugés comme pouvant être dangereux pour la santé (exposition aux micro-organismes et aux endotoxines). Enfin compte tenu des effets synergiques des COV encore méconnus et des effets secondaires des odeurs (nausées...), les auteurs préconisent que les salariés du site ne passent pas trop de temps dans les zones de fortes expositions et proposent le port de masque (classe P3). C'est un travail avec beaucoup de résultats et relativement précis sur le process de compostage (nature des déchets, procédés). Il fournit en ce sens des données intéressantes sur les émissions du compostage. L'approche des risques encourus par les salariés est essentiellement menée par des comparaisons à des seuils. Aucune mesure de l'impact des postes de travail sur la santé des salariés n'a été menée (3).

Tableau 5 : Concentrations en micro-organismes viables dans l'air du centre de compostage d'Oulu (Finlande) (ufc/m³), (moyenne, min et max, n = 10) [Tolvanen, 2005a]

	Champignons mésophiles	Bactéries mésophiles	Actinomycètes mésophiles
Hall de réception	23 710 (1 100 – 356 800)	9 910 (586 – 56 478)	1 100 (35 – 20 950)
Hall du réacteur	10 460 (130 – 112 760)	2 900 (100 – 11 860)	650 (0 – 10 300)
Salle de contrôle	2 770 (1 050 – 5 920)	920 (380 – 1 970)	60 (7 – 420)

Dans une usine de Finlande effectuant le compostage des biodéchets et le traitement mécanique des déchets secs en milieu fermé, les concentrations en bactéries, champignons et actinomycètes, les endotoxines, les poussières et le bruit ont été mesurés dans le local de pré-traitement, la salle de broyage, le bioréacteur et la salle de séchage. Les taux moyens de champignons et de bactéries mésophiles mesurés par les 2 méthodes de prélèvement sont élevés pendant les phases de pré traitement et de broyage (Tableau 6). Dans la salle du bioréacteur, en fonctionnement normal, la concentration des champignons mésophiles est de 440 ufc/m³, celles des bactéries mésophiles et des bactéries thermophiles sont respectivement de 2 620 ufc/m³ et 80 ufc/m³ (chiffres comparables en milieu ouvert). La concentration en champignons mésophiles est plus élevée pendant les opérations de maintenance que pendant le fonctionnement normal du bioréacteur en milieu fermé (type de champignon : *Penicillium*). Les concentrations en champignons y sont plus élevées que dans la salle de séchage (en période de maintenance comme de travail normal). Dans les opérations de broyage, les concentrations moyennes en champignons mésophiles et thermophiles mesurées par les 2 méthodes de prélèvement sont plus élevées que dans les autres locaux (types de champignon : *Penicillium* et *Aspergillus*). Les bactéries et les actinomycètes* sont en concentrations décroissantes dans le local de broyage, dans le bioréacteur et dans la salle de séchage. Des levures sont présentes dans la salle de séchage. Les particules de taille inférieure à 5 µm (les plus à risque au plan respiratoire) représentent 84% en phase de broyage et de pré traitement, 57,9% dans la salle du bioréacteur pour la maintenance, 66,5% dans la salle du bioréacteur pendant le procédé normal et 57,5% dans la salle de séchage. La concentration la plus élevée dans l'enquête menée en 1998 pendant la phase de broyage est de 56,7.10⁶ particules/m³. La concentration en endotoxines* la plus élevée est mesurée pendant la maintenance dans le bioréacteur avec une valeur de 10 650 UE/m³ (valeur limite de 200 UE/m³ aux Pays-Bas) (UE = unité d'endotoxine). Pendant le fonctionnement normal et en milieu fermé, la concentration est de 194,3 UE/m³. Elle est de 210 UE/m³ pendant le pré traitement et le broyage et de 16,2 UE/m³ dans la salle de séchage. Dans toutes les phases, les concentrations en poussières restent très inférieures à la valeur limite de 5 mg/m³ établie en Finlande (moins de 0,01 à 0,4 mg/m³). Les températures mesurées sont entre 15 et 20° pour une humidité comprise entre 23% et 66%. Les auteurs conseillent le port d'un masque de type P3 pendant le nettoyage. Cette étude contribue à la connaissance de l'exposition au procédé de tri en milieu fermé peu étudié. Cependant, la transposition des résultats à des pays plus tempérés devra se faire avec prudence compte tenu des conditions de température et d'humidité plutôt basses de l'étude menée en Finlande (4).

Tableau 6 : Concentrations moyennes en agents biologiques pendant les phases de pré traitement et de broyage dans une usine de compostage de Finlande (en ufc/m³) [Tolvanen, 2005b]

Agents biologiques mesurés	Locaux ouverts	Locaux fermés
Champignons mésophiles	92 000	96 620
Champignons thermophiles		3 070
Bactéries mésophiles	128 000	55 290
Bactéries thermophiles		12 450

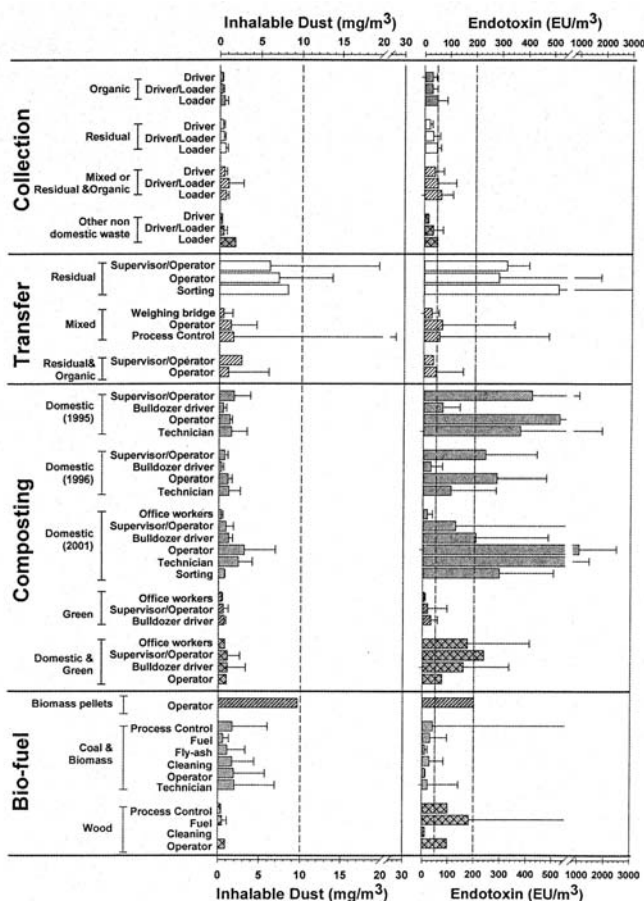
Au Royaume-Uni, un protocole de surveillance des bioaérosols émis par les sites de compostage a été proposé. Il s'agit de suivre *Aspergillus fumigatus* et les populations de bactéries mésophiles. Le site étudié traite annuellement 10 000 tonnes de déchets verts de plusieurs municipalités. Les prélèvements d'air ont eu lieu sur une période de 12 mois à diverses distances des tas (25 à 300 m) en amont (3 points) et en aval (6 points) des vents. Aucun prélèvement n'a été réalisé en hiver. Le bruit de fond mesuré aux points en amont des vents dominants est peu variable et se situe entre 10² et 10³ ufc/m³ (ufc = unités formant colonies) pour les deux indicateurs. En dehors des périodes de forte manipulation des tas, les concentrations mesurées sous les vents dominants sont comparables à celles du bruit de fond. Lors de la manipulation des produits (broyage, retournement des tas et criblage) les concentrations mesurées sous les vents pour les distances 25-40 m augmentent et présentent des concentrations pour les deux indicateurs comprises entre 10³ et 10⁶ ufc/m³. Les points situés à 200 m et 300 m restent généralement comparables au bruit de fond (ce qui est cohérent avec la majorité des études qui montrent qu'au-delà de 200 ou 250 m les bioaérosols émis par les sites ne sont plus perceptibles). Les auteurs n'ont pas noté de variation saisonnière dans les mesures, mais des variations liées à la direction et la vitesse du vent. Les opérations de retournement des tas et de broyage provoquent les plus grandes augmentations de concentration au point sous le vent et distant de 40 m. Le criblage du compost mature et son déplacement provoquent moins d'émissions, mais montrent un effet plus significatif pour les bactéries mésophiles que pour *A. fumigatus*. Au vu des résultats obtenus sur le point le plus exposé (40 m sous le vent), les auteurs concluent que des équipements de protection pourraient être proposés aux travailleurs du site notamment lors des opérations de manipulation des produits. Même en l'absence de données en conditions hivernales, cette étude apporte des éléments de connaissance quant aux concentrations attendues dans l'environnement des sites de compostage de déchets verts et sur les déterminants des émissions et de la dispersion. On peut cependant s'interroger sur la réelle pertinence des recommandations faites pour la protection des travailleurs puisqu'elle est faite à partir de mesures d'ambiance à 40 m des sources et non pas sur des mesures d'exposition individuelles (5).

L'objectif de ce travail est de proposer une méthode d'évaluation du débit d'émission des bioaérosols d'un site de compostage de déchets verts en fonction de différentes étapes du procédé de compostage (manipulation du compost et hors manipulation des tas) et de la quantité de déchets traités. Les débits obtenus sont ensuite utilisés pour une modélisation de la dispersion des bioaérosols sous le vent dominant du site. Les flux émis par un andain* sans retournement ont été estimés par la méthode des chambres à flux (publication 2005 de la même équipe). Les mesures lors des manipulations des tas (tamisage, retournement et chargement pour évacuation) ont été faites par recueil sur filtres. Au laboratoire, les quantifications ont porté sur *Aspergillus fumigatus* et les populations d'actinomycètes*. Dans la mesure où les bioaérosols sont recueillis lors de la manipulation des tas à 10 m de celui-ci, les auteurs ont recours à un calcul à rebours pour estimer le flux d'émission au niveau de la zone de manipulation. La modélisation de la dispersion des aérosols a été faite en prenant en compte : pour les sources hors manipulation, la taille du tas et la quantité de matériaux le constituant ; pour les retournements, les émissions sont considérées comme ponctuelles. Le modèle de dispersion utilisé est le modèle gaussien simple SCREEN 3 développé par l'US-EPA. Les auteurs estiment que les concentrations observées à la source sont 1 000 fois supérieures lors des retournements. Par ailleurs, les calculs de dispersion montrent que les sites recevant de grandes quantités de déchets génèrent une exposition sur une plus longue distance en dehors du site (cas des émissions des andains statiques). Sur le site étudié, la modélisation montre un retour des concentrations au niveau du bruit de fond pour une distance inférieure à 250 m (définie comme une distance de sécurité en Grande-Bretagne). Les résultats ne présentent pas les effets cumulés des retournements et des émissions hors retournement, mais ce travail est en cours. Cette étude n'apporte pas réellement de données novatrices sur les concentrations en bioaérosols retrouvées sur les sites de compostage. Par contre, il propose une approche méthodologique novatrice en donnant des débits d'émissions des sites de compostage pour plusieurs situations retrouvées lors de l'exploitation. De nombreux travaux sont encore nécessaires pour que des jeux de données complets soient disponibles : connaissance des débits d'émissions en fonction du type de déchets traités, d'une plus large gamme de tonnage ou de procédés, amélioration/ standardisation des protocoles de mesurage, etc. Il ouvre cependant des perspectives importantes pour l'obtention de données d'estimation des expositions des populations riveraines indispensables à l'évaluation des risques de cette filière de traitement des déchets (6).

Au cours de la dernière décennie, les auteurs ont mené des études dans un certain nombre de petits sites de traitement des déchets. Dans ces études, qui comprennent un total de 450 mesures d'exposition individuelles, la même procédure de mesure a été employée. L'exposition aux poussières inhalables, aux endotoxines* bactériennes et aux (1-3)-β-D glucanes* des champignons, connus ou suspectés de provoquer l'inflammation des voies respiratoires, a été étudiée. En complément, les auteurs ont exploré la possibilité de mesurer dans les poussières présentes dans l'air des domiciles, les niveaux des polysaccharides extracellulaires* des espèces *Penicillium* et *Aspergillus* (EPS-Pen/Asp), qui sont de

bons indicateurs d'exposition aux champignons. Dans le compostage de déchets ménagers, les niveaux d'exposition en poussières inhalables sont modérés, les niveaux d'exposition pour les endotoxines sont élevés et comparables ou supérieurs à ceux observés dans les usines de tri et de transfert (Figure 1), les niveaux en glucanes sont plus élevés que dans la collecte des déchets. Dans le compostage des déchets verts, les niveaux sont bas. Les niveaux sont intermédiaires pour les travailleurs des sites de déchets domestiques et de déchets verts. Pour les poussières, les niveaux mesurés ont été comparés à la valeur limite de 10 mg/m³ en vigueur aux Pays-Bas. Pour les endotoxines, ils ont été comparés à la valeur limite professionnelle proposée par un groupe d'experts de 50 UE par m³ et à la valeur limite réglementaire temporaire de 200 UE/m³ (UE = unité d'endotoxine). Dans la quasi totalité des sites, les valeurs mesurées pour les endotoxines ne respectent pas ces valeurs limites. Les marqueurs d'exposition aux champignons (EPS-Pen/Asp) sont détectables dans un plus grand nombre de cas dans les prélèvements chez les travailleurs du compostage (49%) que chez ceux de la collecte des déchets indiquant également des niveaux en EPS supérieurs. Comme d'autres marqueurs d'exposition aux bioaérosols, les EPS sont moins fréquemment détectés et de niveaux plus bas chez les travailleurs du compostage des déchets verts (11% > limite de détection, LD), plus élevés dans le compostage des déchets ménagers (68% > LD) et plus fréquemment détectés dans les 2 types de déchets (80% > LD). Les niveaux en EPS sont faiblement corrélés aux niveaux des poussières et des endotoxines et aucune corrélation n'apparaît avec les glucanes. Ce travail de synthèse est très intéressant. Il a été conduit par une équipe qui fait référence en Europe dans l'étude des bioaérosols dans les différentes filières de traitement des déchets. Il est à noter que les spécialistes de ce domaine soulignent tous, actuellement, la grande difficulté à comparer les résultats des études menées par les différents groupes de recherche compte tenu des grandes différences qui apparaissent dans les procédures d'extraction et d'analyse. Il en est de même des comparaisons entre les niveaux d'exposition observés dans les différents sites de traitement de déchets. Les spécialistes travaillent à une harmonisation de leurs pratiques (7).

Figure 1 : Concentrations moyennes d'exposition en poussières inhalables (en mg/m³) et endotoxines (en UE/m³) des travailleurs des filières de traitement des déchets [Wouters, 2006]



BIBLIOGRAPHIE

1) HEIDA H, BARTMAN F, VAN DER ZEE SC. Occupational exposure and indoor air quality monitoring in a composting facility. *Am. ind. Hyg. Assoc. J.*, 1995, 56, (1), 39-43 (13 références), LO : 785, RUB=1995-10-IMP-COM et 2005-49-EXPOSITION
 2) TOLVANEN OK, VILOS P, HÄNNINEN KI, VEIJANEN A. Occupational hygiene at a drum composting plant in Hyvinkää, Finland. *Proceedings ORBIT 99*, 1999, 629-635 (19 références), LO : 2005, RUB=2000-31-PROC-COM et 2005-49-PROC-COM
 3) TOLVANEN O, NYKANEN J, NIVUKOSKI U, HIMANEN M, VEIJANEN A, HANNINEN K. Occupational hygiene in a Finnish drum composting plant. *Waste Manage.*, 2005, 25, 427-433 (16 références), LO : 2797, RUB=2005-51-PROC-COM

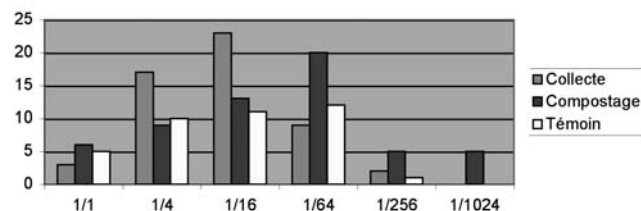
4) TOLVANEN OK, HANNINEN KI. Mechanical-biological waste treatment and the associated occupational hygiene in Finland. *Waste Manage.*, 2005a, 26, (10), 1119-1125 (13 références), LO : 2864, RUB=2006-52-PROC-COM
 5) SANCHEZ-MONEDERO MA, STENTIFORD EL, URPLAINEN ST. Bioaerosol generation at large-scale green waste composting plants. *J. Air Waste Manage. Assoc.*, 2005b, 55, 612-618 (20 références), LO : 2843, RUB=2007-55-PROC-COM
 6) TAHA MPM, DREW GH, LONGHURST PJ, SMITH R, POLLARD S.J.T. Bioaerosol releases from compost facilities: Evaluating passive and active source terms at a green waste facility for improved risk assessments. *Atmos. Environ.*, 2006, 40, 1159-1169 (42 références), LO : en attente, RUB=2006-53-PROC-COM
 7) WOUTERS IM, SPAAN S, DOUWES J, DOEKES G, HEDERIK, D. Overview of personal occupational exposure levels to inhalable dust, endotoxin, {beta}(1->3)-glucan and fungal extracellular polysaccharides in the waste management chain. *Ann. occup. Hyg.*, 2006, 50, (1), 39-53 (46 références), LO : 2884, RUB=2006-53-PROC-COM

Exposition aux bioaérosols et effets sur la santé des travailleurs du compostage des déchets (8, 9, 10)

Dans une large revue de la littérature, les auteurs se sont attachés à décrire la technologie des installations puis à recenser les études, principalement transversales, publiées entre 1981 et 1995 sur les pathologies des travailleurs des usines de tri, de recyclage ou de compostage des déchets ménagers. Dans les usines de compostage, en plus des troubles pulmonaires et gastro-intestinaux rencontrés chez les salariés des autres filières, les ouvriers présentent des manifestations plus sévères comme de l'asthme, et des cas d'aspergillose pulmonaire sont constatés. Les auteurs recommandent d'effectuer des recherches complémentaires afin de mettre en évidence les facteurs de risque spécifiques à ces activités et d'établir les liens de causalité entre les expositions et les pathologies observées (8).

Les salariés des centres de compostage présentent significativement plus de symptômes respiratoires (trachéobronchites, sinusites...), de symptômes cutanés, ou de nausées que les salariés de la collecte des déchets organiques, et surtout plus que les salariés témoins. Un salarié du compostage a présenté dans les 3 semaines précédant l'examen des symptômes typiques du choc toxique aux poussières organiques. Les salariés de la collecte, à l'inverse, ont présenté plus de symptômes de rhinite allergique. Des anticorps anti-*Aspergillus fumigatus* ont été mesurés à des niveaux très élevés chez les salariés des centres de compostage (et non chez les salariés de la collecte d'OM) (Figure 2). D'autres anticorps ont été dosés en excès (par exemple, contre *Streptomyces thermovulgaris*...). Il y a une corrélation significative entre la présence de symptômes et les titres mesurés pour les anticorps spécifiques, et une association entre la durée d'emploi et l'importance du titrage en anticorps. L'article confirme les risques professionnels des salariés du compostage, alors que l'activité de collecte paraît présenter moins de risques, ce qui était suggéré par des études antérieures. L'approche très complète de la réponse immunitaire des salariés aux agressions microbiologiques présentée dans cette étude avait jusqu'à ce jour été très peu réalisée (9).

Figure 2 : Titre des anticorps (IgG) à *Aspergillus fumigatus* dans le sang de travailleurs du compostage (n=58) et de la collecte des déchets organiques (n=53) et chez 40 sujets témoins (détection des IgG à des dilutions croissantes du sérum des sujets) [Bünger, 2000]



Afin d'apprécier l'inflammation des voies respiratoires hautes, un lavage nasal a été réalisé chez une quinzaine de travailleurs d'un centre de compostage de déchets issus de centres de tri urbains, lors de deux campagnes de mesures réalisées à un an d'intervalle (automne 1995 et 1996) avant et après la journée de travail, une à deux fois par semaine, pendant 2 à 4 semaines consécutives. Des personnels universitaires ont servi de témoins. La fraction inhalable des poussières de l'ambiance de travail a été collectée à l'aide d'échantillonneurs individuels portés par les travailleurs pendant toute la durée de leur travail. Ces mesures ont été complétées par des mesures statiques dans les différents locaux de l'entreprise. Les moyennes géométriques des concentrations observées après échantillonnage individuel varient selon les postes : de 0 à 1,8 mg/m³ pour les poussières, 27 à 527 EU/m³ pour les endotoxines (UE = unité d'endotoxine) et 0,36 à 4,85 µg/m³ pour les (1-3)-β-D glucanes. Les mesures statiques effectuées dans les locaux de travail donnent des résultats inférieurs aux mesures individuelles, ou du même ordre de grandeur. Les concentrations relevées pour les poussières, les endotoxines* et les (1-3)-β-D glucanes* sont corrélées. Les concentrations en marqueurs d'inflammation (myéloperoxydase, IL 8, oxyde nitrique, PCE*) sont plus élevées chez les employés du centre de compostage par rapport aux universitaires pris comme témoins avant la prise de poste, notamment chez les travailleurs exposés aux concentrations en endotoxines les plus importantes. Elles sont aussi plus élevées en fin de poste de travail qu'au début. Mais aucune relation n'est observée entre les paramètres d'exposition et les marqueurs de l'inflammation en fin de poste. Les auteurs concluent à une augmentation de l'inflammation des voies respiratoires hautes au cours de la journée de travail. Ils suggèrent que les traces d'inflammation observées avant la prise de poste pourraient traduire le caractère chronique ou subchronique de cet état ou bien un effet différé de l'exposition de la veille. Ce travail a une portée limitée pour ce qui concerne l'étude des effets des bioaérosols en centre de compostage, notamment en raison de la technique d'appréciation de l'inflammation employée, parfois contestée du fait de la forte variabilité des résultats, de la taille

limitée de l'effectif étudié et du choix du groupe témoin. Il apporte cependant des éléments intéressants sur l'appréciation des expositions aux endotoxines et (1-3)- β -D glucanes. On peut regretter l'absence de mesure des bactéries et moisissures dans l'aérosol (10).

BIBLIOGRAPHIE

- 8) POULSEN OM, BREUM NO, EBBEHOJ N, HANSEN AM, IVENS UI, VAN LELIEVELD D, MALMROS P, MATTHIASSEN L, NIELSEN BH, MOLLER NIELSEN E, 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.*, 1995, 168, (1), 33-56 (88 références), LO : 957, RUB=1997-18-IMP-COM et 2005-49-IMP-COM
- 9) BÜNGER J, ANTLAUFLAMMERS M, SCHULZ TG, WESTPHAL GA, MÜLLER MM, RUHNAU P, HALLIER H. *Health complaints and immunological markers of exposure to bioaerosols among waste collectors and compost workers. Occup. Environ. Med.*, 2000, 57, 458-464 (46 références), LO : 2038, RUB=2001-32-PROC-COM et 2005-49-IMP-COM
- 10) DOUWES J, WOUTERS I, DUBBELD H, VAN ZWIETEN L, STEERENBERG P, DOEKES G, HEEDERIK D. *Upper airway inflammation assessed by nasal lavage in compost workers: a relation with bio-aerosol exposure. Am. J. ind. Med.*, 2000, 37, 459-468 (22 références), LO : 2054, RUB=2001-32-PROC-COM, 2005-49-PROC-COM et 2005-49-IMP-COM



STOCKAGE

Polluants atmosphériques émis dans deux centres de stockage des ordures ménagères (1)

Dans le cas du stockage des déchets ménagers, les seules mesures de l'exposition aux bioaérosols proviennent de l'étude menée par plusieurs équipes coordonnées par le Réseau Santé Déchets dans deux sites de stockage représentatifs du parc français de classe II. Les niveaux en poussières $<5\mu\text{m}$ sont parfois très élevés soit lors de mesures ponctuelles, soit lors de prélèvements de longues durées ($>$ valeurs guides OMS). Les niveaux mesurés en micro-organismes viables et cultivables (champignons et bactéries) sont élevés par rapport aux valeurs de référence, parfois même ponctuellement à l'extérieur du site. Chez les salariés, une symptomatologie des voies respiratoires, sans retentissement chronique évident, a été mise en évidence. Des rats ayant vécu sur des litières constituées de sol des décharges montrent des foyers inflammatoires au niveau des tissus pulmonaires, peut-être par réaction à une agression chimique (COV) et/ou microbienne. La réponse des rats en terme d'induction enzymatique respiratoire et hépatique confirme l'exposition à des composés organiques volatils (COV) et à des composés coplanaires* comme les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP). Les auteurs indiquent les limites de leur étude (peu de campagnes de mesures, deux sites uniquement) et les travaux qu'il faudrait mener pour aller plus loin. Les informations rassemblées ici ne sont pas suffisantes pour proposer une méthodologie de suivi des sites. Il faudrait pour cela mettre en évidence un risque, ce qui n'a pas été le cas ici. Le démarche suivie est sérieuse et l'approche pluri-disciplinaire est incontestablement originale et intéressante.

BIBLIOGRAPHIE

- 1) HOURS M, ANZIVINO L, ASTA J, BERNY P, BILLERET M, MAITRE A, PARAT S, STOKLOV M, SARRASIN B, KECK G, PERRODIN Y. *Etude des polluants atmosphériques émis dans deux centres de stockage des ordures ménagères. Déchets - Rev francophone Ecol. ind.*, 2001, 24, 38-43 (0 référence), LO : 2260, RUB=2002-37-PROC-COM et 2005-48-IMPACTS



INCINERATION

Contamination de l'ambiance de travail dans les usines de traitement des déchets (1, 2)

Les auteurs ont déterminé les niveaux de contamination de l'atmosphère de travail en micro-organismes, en poussières et en métaux lourds dans une usine d'incinération. Tous les postes de travail ont été contrôlés. Des échantillons d'air ont été prélevés pendant 7 mois, au niveau de la zone respiratoire des sujets. Des échantillons témoins ont été prélevés dans des locaux où il n'y avait pas de manipulation de déchets. Les bactéries thermotolérantes et les champignons sont abondants au sein de l'usine d'incinération (600 à 22 000 ufc/m³ contre 30 à 3 600 ufc/m³ en zone témoin). Il s'agit d'un article de bonne qualité pour les techniques de prélèvement et d'analyse. Mais la méthodologie statistique est indigente et il manque une évaluation sérieuse des résultats par rapport aux normes admises en milieu professionnel (1). Deux incinérateurs ont reçu, entre 1962 et 1985, les déchets ménagers et industriels de toute la ville de Rome. Les travailleurs y effectuaient la manipulation et le transport des déchets, le tri (du plastique, du métal, du verre), les opérations relatives à l'incinération, mais aussi la préparation de pâte à papier, de nourriture pour animaux ou de compost. L'empoussièrement organique de l'atmosphère était entre

0,10 et 8,6 mg par m³ en 1978. Le statut vital au 31/12/1992 des 532 travailleurs employés sur le site entre 1962 et 1992 a été recherché à partir des registres municipaux de leur dernière résidence. Il n'existe pas d'excès de risque pour l'ensemble des cancers parmi ces travailleurs. Les auteurs observent un excès de risque non significatif pour le cancer de l'estomac (risque relatif de 2,79) avec un intervalle de confiance de 90% (0,94-6,35). Cet excès ne se retrouve que chez les travailleurs ayant travaillé il y a plus de dix ans ou chez ceux ayant travaillé durant une période supérieure à dix années. L'absence de cancers des voies respiratoires dans cette cohorte et le risque concernant le cancer de l'estomac mériteraient d'être vérifiés dans d'autres études (2).

BIBLIOGRAPHIE

- 1) RAHKONEN P. *Airborne contaminants at waste treatment plants. Waste Manage. Res.*, 1992, 10, 411-421 (19 références), LO : 007, RUB=1993-00-PROC-COM
- 2) RAPI TI E, SPERATI A, FANO V, DELL'ORCO V, FORASTIERE F. *Mortality among workers at municipal waste incinerators in Rome: a retrospective cohort study. Am. J. ind. Med.*, 1997, 31, 659-661 (20 références), LO : 1497, RUB=1998-22-IMP-COM



TRAITEMENT DE DECHETS SPECIAUX

Risque bactérien dans l'air ambiant lors du conditionnement et du compactage des déchets contaminés en milieu hospitalier (1, 2)

Des échantillons d'air, collectés au voisinage immédiat d'un incinérateur hospitalier où sont reconditionnés des déchets contaminés par des agents infectieux, furent analysés par des méthodes classiques. Cette opération est source de bactéries aéroportées. Ce sont des bactéries opportunistes et, selon les auteurs, des risques pour la santé des travailleurs sains ne sont pas à craindre (1).

Une autre étude a mesuré selon un protocole expérimental le relargage de spores de *Bacillus subtilis* lors du compactage de matériaux contaminés. Des bactéries viables, détectées par des prélèvements d'air et sur des boîtes de prélèvements, sont émises pendant le compactage. Les auteurs énumèrent un ensemble de règles pour la mise au point et l'utilisation de compacteurs (2).

BIBLIOGRAPHIE

- 1) BRENNIMAN GR, ALLEN RJ. *Impact of repackaging hazardous (infectious) hospital waste on the indoor air quality of a hospital. Sci. total Environ.*, 1993, 128, (2-3), 141-149 (14 références), LO : 125, RUB=1994-05-PROC-COM
- 2) EMERY R, SPRAU D, LAO YJ, PRYOR W. *Release of bacterial aerosols during infectious waste compaction: an initial hazard evaluation for healthcare workers. Am. Ind. Hyg. Assoc. J.*, 1992, 53, (5), 339-345 (10 références), LO : 203, RUB=1994-05-PROC-COM



PRODUCTION DE COMBUSTIBLE DERIVE DE DECHETS

L'exposition aux bioaérosols des travailleurs des usines de production de combustible dérivé des déchets est voisine de l'exposition dans les autres installations de traitement des déchets (1, 2)

Afin d'évaluer l'exposition des salariés aux particules, aux endotoxines* et aux bioaérosols* dans les usines produisant du combustible dérivé des déchets* (« refuse-derived fuel » ou RDF), deux sites de production, l'un produisant entre 400 et 500 tonnes de RDF par jour (usine A), l'autre produisant entre 800 et 900 tonnes de RDF par jour (usine B), ont été étudiés. Dans ces sites, les déchets de papier sont majoritaires (38,2%), suivis par les déchets alimentaires (13,1%). Les plastiques représentent 11,5% et les déchets verts 3,7%. Un échantillon de sept travailleurs par poste a été sélectionné. Les mesures ont été faites durant deux périodes de l'année, une en hiver et une en été, ceci afin d'être représentatif des évolutions annuelles éventuelles. Les niveaux d'exposition en particules totales, entre 0,09 et 6,32 mg/m³, étaient inférieurs à la valeur limite professionnelle de 10 mg/m³. Les bioaérosols mesurés par microscopie à fluorescence, variaient de 3,5.10⁶ à 7,0.10⁶ organismes/m³ (viables et non viables). Les niveaux en endotoxines s'élevaient de 4,8 à 346,3 EU/m³, avec 15,4% des mesures dépassant 90 EU/m³, niveau proposé comme seuil d'effet aux endotoxines chez des travailleurs de l'industrie du coton (UE = unité d'endotoxine). Dans l'usine B, les moyennes géométriques des niveaux d'exposition étaient supérieures à celles de l'usine A pour les particules totales, les bioaérosols et les endotoxines totales. Seule cette dernière différence était significative. Les niveaux des différents polluants variaient peu entre le jour et la nuit. Les travailleurs en charge du nettoyage étaient plus exposés aux particules que les personnes travaillant dans la salle de contrôle ou les opérateurs travaillant au poste du grappin. Les

mécaniciens avaient des niveaux d'exposition en particules totales et en endotoxines supérieurs aux témoins travaillant dans la zone de contrôle. Aucune variation saisonnière n'a pu être identifiée. Ces résultats sont similaires aux niveaux observés dans d'autres études réalisées dans des usines de traitement des ordures ménagères. Le niveau légèrement supérieur en endotoxines dans l'usine B peut s'expliquer par le fait que ce centre est plus ancien. Dans cette étude, les niveaux en bioaérosols et en endotoxines apparaissent comme non négligeables (1). Cependant, l'étude épidémiologique publiée ultérieurement par les auteurs (non analysée dans l'ISD) n'a pas mis en évidence de retentissement sur la fonction respiratoire des salariés exposés dans ce type d'usine de traitement de déchets (2).

BIBLIOGRAPHIE

- 1) MAHAR S, REYNOLDS SJ, THORNE PS. Worker exposures to particulates, endotoxins, and bioaerosols in two refuse-derived fuel plants. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.*, 1999, 60, (5), 679-683 (22 références), LO : 2396, RUB=2003-40-PROC-COM
2) MAHAR S. Worker health in refuse-derived fuel plants, a five year followup. *Arh. Hig. Rada Toksikol.*, 2002, 53, 191-196 (11 références)

Articles de synthèse et autres articles d'intérêt

- COLE DJ, HILL VR, HUMENIK FJ, SOBSEY MD. Health, safety, and environmental concerns of farm animal waste. *Occup. Med.*, 1999, 14, (2), 423-448 (177 références), LO : 2388
COLLINS CH, KENNEDY DA. The microbiological hazards of municipal and clinical wastes. *J. Appl. Bacteriol.*, 1992, 73, 1-6 (51 références), LO : 454, RUB=1996-14-IMP-CIT
DEPORTES I, BENOIT-GUYOD JL, ZMIROU D. Hazard to man and the environment posed by the use of urban waste compost: a review. *Sci. Total Environ.*, 1995, 172, 197-222 (182 références), LO : 1014, RUB=1997-18-PROC-COM, 2005-49-PROC-COM, 2005-49-PROD-COM
DOUWES J, THORNE P, PEARCE N, HEEDERIK D. Bioaerosol health effects and exposure assessment: progress and prospects. *Appl. Occup. Hyg.*, 2003, 47, 187-200 (153 références), LO : 2726, RUB=2005-51-IMP-CIT
EDUARD W, HEEDERIK D. Methods for quantitative assessment of airborne levels of noninfectious microorganisms in highly contaminated work environments. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.*, 1998, 59, 113-127 (184 références), LO : 1678
FISCHER G, SCHWALBE R, MÖLLER M, OSTROWSKI R, DOTT W. Species-specific production of microbial volatile organic compounds (MVOC) by airborne fungi from a compost facility. *Chemosphere*, 1999, 39, (5), 795-810 (25 références), LO : 2298, RUB=2002-37-PROC-CIT
KINDZIERSKI WB, GABOS S. Health effects associated with wastewater treatment, disposal and reuse. *Water Environ. Res.*, 1996, 68, 818-826 (108 références), LO : 2440
KIVIRANTA H, TUOMAINEN A, REIMAN M, LAITINEN S, NEVALAINEN A, LIESIVUORI J. Exposure to airborne microorganisms and volatile organic compounds in different types of waste handling. *Ann. Agric. Environ. Med.*, 1999, 5, 39-44 (24 références), LO : 2081, RUB=2001-34-PROD-CIT, 2005-48-EXPOSITION
NEUMANN HD, BALFANZ J, BECKER G, LOHMEYER M, MATHYS W, RAULF-HEIMSOOTH M. Bioaerosol exposure during refuse collection: results of field studies in the real-life situation. *Sci. Total Environ.*, 2002, 293, 219-231 (24 références), LO : 2261, RUB=2002-36-IMP-CIT
PEREZ HR, FRANK AL, ZIMMERMAN NJ. Health effects associated with organic dust exposure during the handling of municipal solid waste. *Indoor Built Environ.*, 2006, 15, 3, 207-212 (43 références), LO : 2920
SIGSGAARD T, ABEL A, DONBAEK L, MALMROS P. Lung function changes among recycling workers exposed to organic dust. *Am. J. Ind. Med.*, 1994, 25, 69-72 (9 références), LO : 664, RUB=1996-14-IMP-CIT
SWAN JRM, CROOK B, GILBERT EJ. Microbial emissions from composting sites. *Environ. Sci. Technol.*, 2002, 18, 73-101 (134 références), LO : 2846
THORN J, KEREKES E. Health effects among employees in sewage treatment plants: a literature survey. *Am. J. Ind. Med.*, 2001, 40, 170-179 (50 références), LO : 2236
THORNE PS, DUCHAINE C, DOUWES J, EDUARD W, GORNY R, JACOBS R, REPONEN T, SCHIERL R, SZPONAR B. Working group report 4: Exposure assessment for biological agents. *Am. J. Ind. Med.*, 2004, 46, 419-422 (17 références), LO : 2770, RUB=2005-51-IMP-CIT
TOOHER R, GRIFFIN T, SHUTE E, MADDERN G. Vaccinations for waste-handling workers. A review of the literature. *Water Manage. Res.*, 2005, 23, 79-86 (46 références), LO : 2760

GLOSSAIRE :

Actinomycètes mésophiles : Actinomycètes ou « champignons rayonnants » car leurs colonies sont constituées de filaments. Leur température optimale de croissance est comprise entre 25 et 40°C (mésophile)

Andain : désigne une disposition classique, en tas triangulaire, de matières destinées à être compostées. Le retournement des andains a généralement lieu une fois par semaine. Il sert à aérer la matière pour favoriser sa décomposition par dégradation des produits organiques. Il s'effectue avec ou sans trituration

(1-3)-β-D glucanes : sucres complexes présents dans la paroi cellulaire des champignons

Bactéries thermotolérantes : bactéries capables de se développer à 42°C. En font partie notamment des bactéries coliformes comme *Escherichia coli*, *Klebsiella*, *Enterobacter* et *Citrobacter* utilisées comme témoins de contamination fécale ou des bactéries pathogènes comme *Campylobacter* responsable d'intoxication alimentaire.

Bioaérosols : agents biologiques (micro-organismes et leurs toxines) dispersés dans l'air

Combustible dérivé de déchets : produit à partir des ordures ménagères qui restent après que les matériaux non-combustibles comme les matériaux ferreux, le verre, les graviers et autres matériaux non-combustibles ont été enlevés. Les ordures sont réduites en poudre ou en granulés puis vendues comme combustibles dérivés de déchets. On les brûle dans des chaudières spécifiques ou en mélange avec du charbon et du pétrole dans des chaudières multi-combustibles (cimenteries, centrales thermiques...).

Composés coplanaires : dioxines, PCB et apparentés ayant une structure chimique plane dans l'espace ; aussi appelés "dioxine-like", ils se fixent sur des récepteurs cellulaires dits Ah, avec des conséquences toxicologiques qui les rapprochent

Cytokines inflammatoires : protéines (dont interleukines 6 et 8, interleukine 1b, TNFα) fabriquées par des cellules immunocompétentes (les lymphocytes T et les macrophages notamment) favorisant l'inflammation.

Endotoxines : constituants lipopolysaccharidiques de la paroi de certaines bactéries qui sont libérés lors de la destruction de celles-ci

Incidence : indice qui mesure le nombre des malades apparus dans une population au cours d'une période donnée

Lipopolysaccharides ou LPS : complexes macromoléculaires constitués d'un lipide qui correspond à l'endotoxine des bactéries à Gram négatif et d'une partie polysaccharidique (glucidique) responsable de la spécificité antigénique

LPS : voir lipopolysaccharides

Macrophages : cellules du sang qui a pour rôle principal le nettoyage des débris cellulaires

« **odds ratio** » ou **OR** : indice qui sert à mesurer le risque dans certaines enquêtes épidémiologiques

PCE : protéine cationique à éosinophiles

Polynucléaires neutrophiles : cellules du sang (globules blancs) dont le rôle primordial est le nettoyage des éléments étrangers à l'organisme (fragments de bactéries ou de virus)

Polysaccharides extracellulaires : sucres complexes présents à la surface de certaines espèces (bactéries, champignons...) pouvant être libérés dans le milieu extérieur

Prévalence : indice qui mesure le nombre des malades dans une population à un moment donné

Protéine cationique à éosinophiles ou PCE : un des médiateurs libérés lors de l'activation des globules blancs éosinophiles dans la réaction inflammatoire allergique

Rhinométrie acoustique : mesure au moyen d'ondes acoustiques les dimensions des cinq premiers centimètres des fosses nasales (avant et après vasoconstricteurs).

Experts ayant contribué à ce numéro : AMBROISE D., ANZIVINO L., BERGERET A., BRASSELET M., CHARBOTEL B., DEPORTES I., HOURS M., MEFFRE C., NAQUIN P., THOUMELIN P., TISSOT-GUERRAZ F.

Le compteur d'ISD : Le nombre total d'articles répertoriés est : 2908-Le nombre total d'articles expertisés est : 1123