

# UNE APPROCHE DU RISQUE MICROBIOLOGIQUE AEROPORTE DANS UNE USINE DE COMPOSTAGE INDUSTRIEL D'ORDURES MENAGERES

## INTRODUCTION

Les risques professionnels découlant de l'exposition aux agents microbiologiques font actuellement l'objet de préoccupations renouvelées. Très récemment l'accent a été mis sur les pathologies non infectieuses liées aux agents microbiologiques très présentes dans certains milieux de travail.

Sur le plan de la réglementation, la fin des années 1980 a été marquée par l'élaboration d'une directive européenne concernant "la protection des travailleurs contre les risques liés à des agents biologiques au travail" (Directive n°90/679/CEE). Cette directive donne une définition précise des "agents microbiologiques" : microorganismes, y compris les micro-organismes génétiquement modifiés, les cultures cellulaires et les endoparasites humains susceptibles de provoquer une infection, une allergie ou une intoxication. Sa transposition en droit français a donné naissance à une nouvelle section du Code du Travail (Décret n° 94-352 du 4 mai 1994).

Les salariés travaillant dans les usines de compostage industriel des ordures ménagères sont concernés par ces textes et font l'objet d'études. En effet, les sites de compostage fonctionnent en système clos et représentent un risque microbiologique pour les salariés exposés.

A cet égard, la question est d'autant plus cruciale qu'une loi votée en juillet 1992 a pour entre autres objectifs le développement du recyclage des déchets.

Ainsi, comme les déchets ne pourront plus aller en décharge et comme les autres filières de traitement comme l'incinération ne pourront plus absorber l'ensemble du gisement, le compostage de ordures ménagères risque de prendre une place prépondérante.

C'est ainsi, qu'il a été décidé d'effectuer une cartographie des prélèvements microbiologiques atmosphériques d'une usine de compostage industriel d'ordures ménagères fonctionnant en système clos.

Il sera d'abord défini le compostage, ensuite sera présenté le risque microbiologique aéroporté, puis seront abordés l'étude et ses résultats. Enfin, dans une dernière partie les résultats des prélèvements microbiologiques d'ambiance seront discutés en fonction des données de la littérature. Des propositions seront faites sur le plan technique et médical pour une meilleure prévention.

## PREMIERE PARTIE : LE COMPOSTAGE

### I - LA DEFINITION DU COMPOSTAGE

Le compostage est l'action de faire fermenter en présence d'air (O<sub>2</sub>) les matières organiques. Dans le compostage, il y a deux principales phases :

- **la première phase** correspond à une phase de grande activité microbienne, où la température (température optimale 55-60°C) et la consommation d'oxygène augmentent. Il se forme à la fin de cette phase un compost frais hygiénisé, c'est à dire un compost dépourvu de germes pathogènes;

- **la deuxième phase** est la phase de maturation où la température et la consommation d'oxygène diminuent pour produire un compost stable.

Au-delà, de cette succincte définition il est possible de trouver des définitions plus affinées et plus scientifiques comme celle de M. Mustin (1).

### II - LES UTILISATIONS DU COMPOST

Le compost assimilé à l'humus, est surtout utilisé comme structurant des sols. Il assure ainsi une meilleure rétention d'eau et facilite la lixiviation des éléments minéraux des colloïdes de l'humus (2). Le compost peut être utilisé mature ou frais (compost en fin de phase thermophile, sa chaleur est utilisée comme par exemple en champignonnière).

Pour être utilisé en agriculture le compost doit être mûr. Un compost mûr est défini à la fois par sa maturité et par sa stabilité.

- \* la maturité du compost correspond à sa couleur noire et à son odeur terreuse;
- \* la stabilité définit un aspect mesurable de l'activité microbienne du compost.

L'utilisation d'un compost non stabilisé peut entraîner de graves problèmes dans les sols et dégrader les végétaux. Enfin, l'enfouissement du compost dans le sol conduit à une fin de processus en anaérobiose, qui peut entraîner des émanations d'odeur.

Le compost obtenu à partir des déchets municipaux solides est valorisé suivant son degré de maturation et de stabilité. Il servira dans les municipalités pour le paysagisme, dans la réalisation de terrains sportifs ou de parcours de golf, de parcs publics ou particuliers, dans des remblais d'autoroute et aussi pour camoufler les décharges d'ordures comme couverture ou dans la réhabilitation des sites (mines, sablières)(3,4,5). Il est très utilisé en agriculture surtout en Europe (6) et aux USA (7), pour la culture de la vigne ou ces champignons (compost frais) et pour les céréales (maïs, blé, sorge).

## **DEUXIEME PARTIE : LE RISQUE MICROBIOLOGIQUE**

### **INTRODUCTION**

Lors de la production de compost, la contamination microbologique aéroportée est un facteur de risque majeur non seulement pour les salariés mais aussi pour les agriculteurs lors de l'épandage.

Les salariés travaillent en effet dans des sites de compostage en circuit fermé. Or, si la plupart des opérations sont contrôlées à distance par informatique, d'autres nécessitent des opérations manuelles directes. C'est le cas pour le déchargement des ordures ménagères, la réparation des machines ou le nettoyage des grilles de ventilation. Lors de toutes ces activités en espace clos, il peut donc y avoir ingestion et surtout inhalation d'aérosols de poussières organiques (8). Le risque microbologique ainsi encouru repose sur deux types de contaminants.

Mentionnons tout d'abord les entéro-pathogènes déjà présents dans le matériel brut à composter et susceptible de disparaître au cours du compostage (9). Ils proviennent des couches-culottes souillées, des déjections d'animaux domestiques, des mouchoirs ou de la nourriture putrescible (10,11). Ce sont des bactéries, des virus, des champignons et des parasites(12). Ils représentent un risque infectieux et ils sont surtout dangereux par ingestion.

Ensuite, on trouve d'autres micro-organismes qui se développent lors du processus de compostage et jouent un rôle dans la dégradation de la matière organique. Ce sont des bactéries mésophiles et thermophiles ainsi que les champignons. Ils sont pathogènes eux même ou par la sécrétion de spores ou de toxines. Ils entraînent surtout des risques microbiologiques non infectieux par des mécanismes immunoallergiques ou non (asthme, pneumopathie d'hypersensibilité, fièvre d'inhalation...) et sont avant tout dangereux par inhalation. C'est d'autant plus le cas que les particules en suspension dans l'air qui les transporte autour des composts, ont pour 50 à 80 % des cas un diamètre de 5 µm leur permettant d'atteindre les alvéoles pulmonaires (13, 14, 15). Peuvent donc se surajouter des mécanismes irritatifs et cytotoxiques (16) et plus simplement des risques physiques liés au dépôt des poussières elles-mêmes.

Après avoir défini la composition de la poussière organique, nous nous attacherons à mentionner quelques milieux professionnels exposés, et les effets toxiques de la poussière organique.

## **I - LE RISQUE MICROBIOLOGIQUE AEROPORTE**

### **A - LA POUSSIERE ORGANIQUE**

#### **1 - Définition de la poussière organique**

La poussière organique est composée de poussière d'origine végétale, animale ou microbologique (bactéries, actinomycètes, spores, toxines, champignons, virus, parasites).

## 2 - Liste de quelques milieux professionnels où les salariés sont exposés

C'est d'abord dans les milieux agricoles que les effets causés par les poussières organiques ont été constatés. En effet, lors des moissons ou de l'alimentation des bêtes avec le fourrage se manifestaient des symptômes chez les paysans.

Le premier texte connu relatif à ce sujet est celui du danois Olaus Magnus, datant de 1555. Il y décrit la maladie des batteurs de foin et explique qu'il faut se mettre contre le vent pour battre le foin. " ... car la poussière émise lors de la battue est si fine qu'on ne remarque presque pas son inhalation et son accumulation au fond de la gorge... " Comme remède, il conseillait aussi aux fermiers de boire de l'eau fraîche pour qu'il puisse profiter du fruit de leur travail (17).

Cent cinquante ans plus tard, Ramazzini décrit dans son livre " *De morbis Artificum Diatriba* " des maladies respiratoires chez les salariés travaillant au contact du lin et du chanvre (18).

Puis, au cours du 18ème et 19ème siècle (avènement de l'ère industrielle) de nombreuses observations ont été décrites à la fois dans les plantations de coton (endotoxines) et dans l'industrie textile (19).

Actuellement, d'autres professions ont été découvertes comme exposées. Mentionnons notamment celles liées aux filières de traitement des déchets, aux scieries, aux élevages de bestiaux ou à l'industrie agro-alimentaire. Même le secteur tertiaire n'a pas été épargné. En effet, les systèmes de climatisation seraient de grands pourvoyeurs de poussière organique (Sick Building Syndrom).

## 3 - Les principaux effets toxiques de la poussière organique

Les principaux effets toxiques de la poussière organique sont dus à la multitude d'agents spécifiques pouvant entraîner des réactions cellulaires aussi bien au niveau pulmonaire que dans le reste de l'organisme. Le tableau ci-dessous résume les différents types de micro-organismes et leurs effets principaux.

**Tableau I** : Les différents types de micro-organismes et leurs types de réaction.

TYPES DE MICRO-ORGANISMES	TYPES DE REACTION
enterovirus	infections
bactéries	infections
endotoxines	immunoallergiques et toxiques
champignons (mycotoxines)	immunoallergiques
1,3 bêta D glucan	immunoallergiques
protozoaires	infections et allergies

D'après Dutkiewicz J et al. Am Ind Hyg Assoc, 1980:908-914 (20).

Nous verrons dans un premier temps les effets systémiques causés par l'inhalation de la poussière organique sur différents organes : foie, rein, articulations, système nerveux périphérique et central, peau et système digestif. Puis nous aborderons avec plus de précisions les pathologies respiratoires.

### 3.1 - Les effets systémiques liés à l'inhalation de la poussière organique sur les organes autres que le poumon

Les effets systémiques engendrés par l'inhalation de la poussière organique sont liés à certains composants de cette poussière. Il s'agit en particulier des endotoxines dont on voit l'influence sur des organes divers. Mais actuellement, il est encore difficile d'incriminer tel ou tel micro-organisme.

#### 3.1.1 - Les atteintes hépatiques

Chez les salariés exposés aux poussières organiques, dans une station de traitement des eaux usées, des auteurs ont trouvé une augmentation des transaminases, sans qu'elle soit liée à une consommation importante d'alcool (21).

### **3.1.2 - Les atteintes rénales**

Une étude épidémiologique a trouvé chez des salariés de l'industrie du coton, en Finlande, une petite augmentation significative des taux de mortalité par glomérulonéphrite chez les femmes. Ces lésions seraient peut-être dues aux endotoxines comme le montreraient certaines expérimentations animales (21).

### **3.1.3- Les atteintes des articulations**

D'autres études effectuées dans les élevages des bétails, ont montré une augmentation de la prévalence de douleurs au niveau des articulations des hanches et des genoux. On a longtemps cru que ces arthralgies étaient des troubles musculo-squelettiques liés au travail physique mais ceux-ci ne sont pas reproduits chez d'autres salariés ayant la même charge de travail dans d'autres domaines professionnels. On attribuerait ces symptômes à certains médiateurs de l'inflammation telle que l'Interleukine - 1, qui serait induite par la poussière organique, et qui activerait les macrophages cellulaires présents dans les cartilages. Des expérimentations animales chez la souris ont aussi montré une activation de la production du facteur rhumatoïde après injection intraveineuse d'endotoxines (21).

### **3.1.3 - Les atteintes du système nerveux périphérique**

Il a été recensé chez les salariés travaillant en contact avec les moisissures des atteintes neurosensorielles. En effet, il semble que la perte de la sensibilité, la fatigue musculaire et la douleur soient les symptômes majeurs. Ces troubles ont été rapportés à l'exposition aux mycotoxines. Mais les taux de mycotoxines n'ont pas été mesurés systématiquement (21).

### **3.1.4 - Les atteintes cutanées**

Les atteintes cutanées après exposition aux poussières organique ont été décrites pour la première fois, après la manipulation de coton de mauvaise qualité, dans les plantations du Lancashire. Des problèmes similaires ont été rapportés parmi les salariés travaillant dans l'élevage du bétail en système clos. Enfin, des rash cutanés au niveau de la face et du scalp sont des symptômes caractéristiques souvent décrits parmi les salariés des "sick buildings". Les mécanismes de ces réactions ne sont pas encore connus. (21)

### **3.1.5 - Les atteintes du système digestif**

Certaines études ont rapporté une atrophie jéjunale après exposition aux poussières organiques chez un agriculteur atteint "du poumon de fermier". Les bêta -1,3 glucanes pourraient être les responsables (21).

### **3.1.6 - Les signes généraux**

Les signes généraux les plus fréquents sont la fièvre et l'asthénie.

La fièvre après exposition aux poussières organiques a été rapportée dans de nombreux secteurs professionnels comme les plantations de coton, les usines de traitement de boues usées et les scieries. La fièvre est une réaction induite par le système nerveux central. Le mécanisme principal serait du à une sécrétion de Tumor Necrosis Factor (TNF) alpha sur le site de l'inflammation. En effet, le TNF a été trouvé dans le sang de personnes exposées aux endotoxines et aussi aux mycotoxines (22).

L'asthénie est un symptôme courant chez les personnes souffrant de la maladie des humidificateurs et des salariés travaillant dans les stations de traitement des boues usées. Elle entraînerait des changements importants dans la vie de tous les jours (comme ne plus pouvoir faire de sport). Les mécanismes induisant cette fatigue sont encore inconnus.

Après avoir abordé les effets systémiques liés à la poussière organique, nous allons décrire les différentes pathologies respiratoires observées. Elles sont classées en fonction du type de réponse inflammatoire, allergique ou infectieux.

### 3.2 - Les pathologies respiratoires liées à l'inhalation de poussières organiques

#### 3.2.1 - Les pathologies respiratoires de type inflammatoire

Les pathologies respiratoires de type de type inflammatoire sont les fièvres d'inhalation (ou Organic Dust Toxic Syndrome), la bronchoconstriction aiguë et les bronchites chroniques. Nous ne développerons que les fièvres d'inhalation.

##### \* Les fièvres d'inhalation

Les fièvres d'inhalation (ou Organic Dust Toxic Syndrome) regroupent les cas de mycotoxicoses pulmonaires, de poumon de fermier avec précipitines négatives, de fièvre des manipulateurs des grains et syndrome des silos, de fièvres des travailleurs dans les textiles (coton) et fièvres d'inhalation (16).

Elles associent à un **syndrome pseudo-grippal, des explorations fonctionnelles respiratoires normales** avec parfois un simple trouble ventilatoire obstructif des petites bronches et/ou une tendance restrictive.

L'évolution est habituellement bénigne même si les récurrences sont fréquentes. Elles ne nécessitent pas de sensibilisation préalable et surviennent lors de forte exposition. Il semblerait que les endotoxines soient largement associées à cette pathologie ainsi que les champignons tels que *Aspergillus Fumigatus* et *Penicillium*.

Suivant les professions on évoquera par exemple, la *byssinose* chez les travailleurs du coton et de la laine. Quant au *syndrome des égoutiers* décrit par Lundholm et Rylander en 1976, il concerne aussi l'aspect général du traitement des déchets, le travail en station d'épuration, les usines de compostage. La symptomatologie clinique associe l'élévation de la température, des frissons, un malaise général et des troubles gastro-intestinaux avec diarrhée. Ces symptômes sont d'apparition rapide et disparaissent en 24 heures. Ils s'observent surtout chez le personnel nouvellement embauché ou à la reprise du travail après les congés par exemple (16).

#### 3.2.2- Les pathologies respiratoires de type allergique

Les pathologies respiratoires de type allergique sont la pneumopathie d'hypersensibilité (ou alvéolite allergique extrinsèque) et l'asthme professionnel. Nous ne développerons que la pneumopathie d'hypersensibilité.

##### \* La pneumopathie d'hypersensibilité (ou alvéolite allergique extrinsèque)

La pneumopathie d'hypersensibilité est une maladie immunologique survenant après inhalation d'antigènes environnementaux.

Les expositions professionnelles sont les plus fréquentes, associant des milieux de travail chauds et humides, dans des endroits clos et poussiéreux. Suivant les secteurs professionnels différentes dénominations ont été attribuées. Dans l'agriculture, on parlera du "poumon de fermier". Tandis que pour les salariés travaillant au contact d'humidificateurs ce sera le "poumon des humidificateurs".

Les manifestations cliniques varient en fonction du patient, de la fréquence et de l'intensité de l'exposition aux poussières organiques.

Les formes de pneumopathie d'hypersensibilité peuvent être aiguës, subaiguës ou chroniques :

- **dans les formes aiguës**, il apparaît 6 à 8 heures après l'exposition à l'antigène, une toux, de la fièvre, des frissons, un malaise et une dyspnée qui disparaissent en quelques jours s'il n'y a plus d'exposition.

- **les formes subaiguës** apparaissent plus insidieusement après une période de travail de plusieurs semaines. Elles sont marquées par une toux et une dyspnée et peuvent évoluer vers une hypoxie et une dyspnée plus sévère, pouvant même nécessiter une hospitalisation. En général, les troubles disparaissent si les salariés ne sont plus exposés aux poussières.

- quant à **la forme chronique**, elle surviendrait surtout chez les patients continuellement exposés mais en petite quantité. Elle évoluerait progressivement associant de la toux et une dyspnée sans épisodes aigus et subaigus obligatoirement.

Le diagnostic est d'abord clinique il repose sur l'interrogatoire avec la notion d'exposition professionnelle aux poussières organiques et l'histoire clinique.

Ensuite pour confirmer le diagnostic, il est nécessaire de faire des examens complémentaires : radio de thorax, scanner, spirométries, examens biologiques.

- **la radio de thorax** peut être normale même chez les personnes présentant des troubles. En général durant la phase aiguë on observe une ondulation diffuse très fine, discrète, uniforme et symétrique au niveau des bases et des apex, avec une infiltration interstitielle très diffuse. Durant la phase chronique, les signes sont plus nets et la fibrose s'accroît. Il a été très rarement observé des atteintes pleurales, des adénopathies hilaires, des cavités et des atélectasies ;

- **le scanner thoracique** montre une hyper densité nodulaire diffuse;

- **les spirométries** montrent une restriction avec diminution de la compliance et une diminution des échanges gazeux;

- **les examens biologiques standards**, après une exposition aiguë retrouvent une neutropénie et une lymphopénie. Il n'y a pas d'éosinophilie. La vitesse de sédimentation, la C - réactive protéine, le facteur rhumatoïde et les immunoglobulines IgG, IgM ou IgA peuvent augmenter. La recherche de précipitines si elle est positive indique qu'il y a eu une exposition suffisante pour entraîner une réponse immunologique. Mais les précipitines sont simplement des marqueurs de l'exposition et ne peuvent pas être reliées à une pathologie (22). De plus, les précipitines ne sont pas trouvées chez tous les patients et les méthodes ne sont pas standardisées.

Enfin, les diagnostics différentiels sont très variés. Les plus fréquents sont les fièvres d'inhalation (ou ODS).

### 3.2.3 - Les pathologies respiratoires infectieuses

La pathologie respiratoire infectieuse la plus fréquente est l'aspergillose. L'aspergillose diffuse invasive ou septicémique correspond au développement de *Aspergillus* en plein parenchyme pulmonaire chez des sujets immuno-déprimés soumis à des thérapeutiques agressives (corticoïdes, immunosuppresseurs...). Son évolution est très fréquemment mortelle.

## TROISIEME PARTIE : EVALUATION DE L'EXPOSITION PROFESSIONNELLE AU RISQUE MICROBIOLOGIQUE AEROPORTE DANS UNE STATION DE COMPOSTAGE INDUSTRIEL D'ORDURES MENAGERES

Pour évaluer le risque microbiologique aéroporté d'une station industrielle de compostage d'ordures ménagères une campagne d'étude a été réalisée. Cette campagne d'étude a comporté deux parties : Une campagne d'été environnementale et clinique en 1995 et un nouvel inventaire clinique en hiver en 1996.

### I - ETUDE D'EVALUATION

#### A - MATERIEL ET METHODE

##### 1 - Présentation de l'entreprise

Cette station de compostage traite depuis le mois de février 1994 les déchets biodégradables d'une agglomération de 300 000 habitants . Chaque jour, l'usine composte 80 à 150 tonnes d'ordures ménagères soit 60 000 tonnes par an.

L'usine est constituée de deux bâtiments : le bâtiment administratif et l'usine de production. Ils sont reliés par un SAS, l'usine est un bâtiment clos en dépression. L'usine de production est constituée d'un hall d'entrée (site A), d'une salle de tri des ordures ménagères (site B), de 12 silos de compostage disposés côte à côte et ouverts à leurs extrémités (site C et E), une salle d'affinage (site D) et une aire de stockage.

Les résidus organiques subissent 4 stades de traitement avant d'être transformés en compost prêt à l'emploi.

\* **Le premier stade** correspond au **déchargement des ordures ménagères** dans le hall d'entrée et à leur tri. En effet, elles subissent une série de tris successifs en fonction de la taille des particules et de leur densité ;

\* Ensuite les ordures ménagères triées sont acheminées par un tapis roulant jusqu'au silo 1, c'est **le deuxième stade** ou **stade de fermentation aérobie**. Après deux jours en moyenne, le silo est retourné grâce à une roue pelleuse à axe horizontal déplaçant sur les murets des silos. Elle aère le produit en le retournant, assure son homogénéité, maintient sa porosité et le déverse dans le silo 2. Un chariot de transfert, situé à l'extrémité des silos permet le passage de la roue pelleuse d'un silo à l'autre. Les silos 1 et 5 sont remplis en alternance et les rangées 1-4 et 5-8 des silos occupent la même fonction dans le processus de compostage.

\* Puis **le troisième stade** ou affinage complète le traitement par plusieurs tris mécaniques et fin broyage du produit.

Le produit est alors déversé dans les silos 9 à 12 ou "**silos de maturation**" c'est le **quatrième stade**. Ils sont remplis en réunissant les lots de deux jours de production (issus des silos 4 et 8).

\* En sortie de silo 12 le compost est entraîné par un tapis roulant vers l'aire de stockage.

Toutes les bases du silo sont parcourues par une gaine d'aération par laquelle l'air est aspiré. L'air est ensuite rejeté au travers d'un biofiltre qui permet l'abattement des odeurs. De plus, depuis février 1996, les sorties d'air passent aussi par une tour de lavage des gaz.

## 2 - La première partie de l'étude : la campagne d'été

Il sera d'abord décrit la méthodologie des examens médicaux, des mesures des paramètres physiques et enfin des prélèvements microbiologiques, puis seront présentés les résultats.

### 2.1 - Matériel et méthode des examens médicaux

Les examens médicaux proposés aux onze salariés de l'usine lors de la campagne d'été étaient un questionnaire médical et des spirométries. (Deux séries de spirométries ont été effectuées avec un matériel portatif validé, Microspiro HI 501 CHEST, durant deux journées de travail. Pour chaque EFR les paramètres mesurés sont la capacité vitale lente (CVL), la capacité vitale forcée (CVF), le volume expiratoire maximal seconde (VEMS), le débit expiratoire maximal entre 25 et 75 % de la CVF (DEM 25-75), et les ratios VEMS/CVF et DEM 25-75/CVF.

### 2.2 - Matériel et méthode des mesures physiques

La métrologie des paramètres physiques sont les mesures des particules de poussières aéroportées (inférieures à 20  $\mu\text{m}$ ), la vitesse de l'air, la température et l'humidité relative.

La mesure des particules de poussières aéroportées a été effectuée à l'aide d'un Miniram PDM3. Quant aux mesures de la vitesse de l'air, de la température et de l'humidité relative, elles ont été faites avec un matériel à principe intégré et un thermoanémomètre Walac.

Par référence au plan, tous les prélèvements ont été effectués, en suivant la marche du process dans l'entreprise, dans le hall d'entrée (sites A), dans la salle de tri des ordures ménagères (sites B), au niveau des silos de fermentation (sites C), au niveau des silos de maturation (sites E) et sur l'aire de stockage du compost affiné (sites F) et aussi à l'extérieur (sites G (sud), H et I (nord)).

### 2.3 - Matériel et méthode des prélèvements microbiologiques

Les prélèvements d'air pour analyse microbiologique sont réalisés par l'utilisation d'un impacteur Andersen à un étage. L'air est aspiré à un débit de 28,3 litres par minute à travers un plateau perforé dont les orifices (il y en a 400) sont parfaitement calibrés (23). Le principe de fonctionnement de cet appareil est l'impaction de **particules viables et cultivables** sur le milieu de culture par passage de l'air prélevé à travers des orifices calibrés.

Six milieux de culture nutritifs différents ont été utilisés pour chaque site de prélèvements. Chaque milieu de culture a été adapté à la croissance des différents types de micro-organismes. ( le milieu de culture Trypticase Soja pour évaluer la flore bactérienne globale ; le milieu de culture Drigalski pour évaluer la flore des bactéries Gram négatif ; le milieu de culture Chapman pour évaluer la flore des Staphylocoques ; le milieu de culture Malt Agar et chloramphénicol ; Le milieu de culture Rose Bengale et chloramphénicol.

Tous les prélèvements (au total 180) ont été effectués en suivant la marche du process à l'intérieur de l'entreprise.

Il a été adopté des durées de prélèvements courtes (10 à 60 secondes) à l'intérieur de l'usine et 5 minutes à l'extérieur. Chaque prélèvement a été effectué deux fois à 1,50 mètres du sol.

Tous les milieux de culture sont mis en incubation à 27 °C. Les colonies sont dénombrées au bout de 3 à 5 jours pour les bactéries et au bout de 5 jours à 3 semaines pour les champignons. L'identification des champignons et des bactéries est effectuée par examen macroscopique et microscopique des colonies.

### **3 - L'inventaire clinique**

Ce nouvel inventaire clinique comporte le même questionnaire médical que celui de la campagne d'été. Des spirométries ont aussi été effectuées.

## **B - RESULTATS**

### **1 - Résultats de la campagne d'été**

Il sera d'abord présenté les résultats des examens médicaux puis ceux des prélèvements d'ambiance.

#### **1.1 - Résultats des examens médicaux**

##### **1.1.1 - Résultats du questionnaire médical**

La moyenne d'âge des 10 salariés est de 26 ans (maximum 41 ans et minimum 21 ans). On constate qu'il y a un turn-over important des salariés de la production (agents d'exploitation) où la moyenne d'ancienneté est de 7 mois (minimum 10 jours et maximum 18 mois).

Sur le plan fonctionnel, les agents d'exploitation se sentent gênés par la poussière lorsqu'ils effectuent des travaux de nettoyage des grilles de ventilation ou lorsqu'ils sont aux commandes du tracteur de chargement. Ils se plaignent alors de toux et d'irritation trachéale non spécifique.

Les plaintes retrouvées sont résumées ci-dessous :

- 40 % se plaignent de gorge sèche après la prise de poste ;
- 10 % se plaignent de toux sèche après la prise de poste ;
- 28 % se plaignent d'irritation oculaire 4 à 12 heures après la prise de poste ;
- 10 % se plaignent de nausées le lundi, de douleurs abdominales et de diarrhées depuis l'embauche ;
- 10 % se plaignent de céphalées 4 à 12 heures après la prise de poste ;
- 10 % se plaignent de fièvre inexplicable non rythmée par le travail.

Ainsi, les résultats du questionnaire médical de la campagne d'été nous montrent que les plaintes principales sont des signes d'irritation ORL (gorge sèche), oculaire et respiratoire (toux sèche) survenant 4 à 12 heures après la prise de poste de travail. Alors que les signes digestifs (diarrhées, nausées, douleurs abdominales) et les céphalées sont récurrents, avec une moyenne d'ancienneté au poste de travail qui est de sept mois.

##### **1.1.2 - Résultats des explorations fonctionnelles respiratoires (EFR)**

L'interprétation des paramètres respiratoires est analysée pour chaque sujet en fonction des normes décrites selon l'âge, la taille et le sexe. Les normes de référence utilisées dans ce domaine depuis 1983 sont celles de la Communauté Européenne du Charbon et de l'Acier (24). Pour le VEMS/CVF et le DEM25-75/CVF, ces normes n'existent pas. La norme Knudson est utilisée pour le VEMS/CVF et l'équation de normalité de Préfault (24) est appliquée pour le DEM 25-75/CVF.

**Le calcul des variations intra-journalières des EFR sont normales** (le calcul du pourcentage des variations intra-journalières a été effectué à partir de la formule suivante :  $FP - DP/DP$  ; FP = fin de poste de travail ; DP = début de poste de travail).

## 1.2 - Résultats des mesures des paramètres physiques

Le jour des prélèvements le temps est couvert et même pluvieux. La température à l'intérieur de l'usine varie selon les zones de 26°C à 33°C, pour une température extérieure de 25 °C. Quant à l'humidité relative de l'air elle varie de 55 à 60 %. Enfin, la concentration des particules varie entre 0,5 et 2 mg/m<sup>3</sup> sans différence majeure entre les zones.

## 1.3 - Résultats des prélèvements microbiologiques

L'analyse des prélèvements microbiologiques a permis à la fois un dénombrement et une identification aussi bien des bactéries que des champignons.

Les résultats sont exprimés en UFC/m<sup>3</sup> d'air (Unités Formant Colonie), après correction selon la méthode des " trous positifs " basée sur le principe que plus le nombre de colonies est élevé plus le risque pour chacune de représenter en réalité plusieurs colonies qui se seraient impactées au même endroit est grand.

### 1.3.1 - Résultats des prélèvements de la flore bactérienne aéroportée

Les résultats quantitatifs et qualitatifs des prélèvements atmosphériques de la flore bactérienne sont résumés dans le tableau II ci-dessous.

**Tableau II** : Résultats quantitatifs et qualitatifs des prélèvements atmosphériques de la flore bactérienne en **CFU/m<sup>3</sup> d'air** en fonction des milieux de culture dans une usine de compostage industriel d'ordures ménagères.

sites de prévt/ milieux de culture	Entrée (site A)	Tri des ordures ménagères (site B)	Fermentation (site C)	Maturation (site E)	Stockage (site F)	Air extérieur
Flore totale dénommée sur milieu Trypticase Soja	2 500 à 11 000	4 500 à 13 000	10 800 à 64 000	21 000 à 95 000	600 à 2 600	150 à 1 000
BGN* Flore totale dénommée sur milieu Drigalski	70 à 140	/	140 à 700	70 à 140	35 à 70	7 à 14
SCN** Flore totale dénommée sur milieu Chapmann	5 100 à 9 400	5 000 à 6 000	5 000 à 31 000	17 000 à 57 000	70	/

\* **Bactéries Gram négatif** de type *Enterobacter Cloacae*, *Enterobacter agglomerans*, *Klebsiella oxytoca* et *Proteus mirabilis*; \*\* **Staphylocoques coagulases négatif**

### 1.3.2 - Résultats des prélèvements de la flore fongique aéroportée

Les résultats quantitatifs et qualitatifs des prélèvements de la flore fongique sont résumés dans le tableau III ci - dessous.

**Tableau III** : Résultats quantitatifs et qualitatifs des prélèvements atmosphériques de la flore fongique aéroportée de type *Aspergillus* en **UFC/m<sup>3</sup> d'air** et en pourcentage en fonction des sites de prélèvement dans une usine de compostage industriel d'ordures ménagères.

sites de prévt/ type Aspergillus	Entrées (site A)	Tri des ordures ménagères (site B)	Fermentation (site C)	Maturation (site E)	Stockage (site F)	Air ext
--	---------------------	--	--------------------------	------------------------	----------------------	---------

Nombre total*	800 à 22 000	900 à 10 000	3 000 à 18 000	6 000 à 14 000	800 à 1 300	300 à 1 700
<i>A. fumigatus</i>	500 à 3 000 (40 à 60%)**	300 à 7 000 (40 à 70%)**	900 à 16 000 (50 à 90%)**	2 200 à 5 800 (30 à 70%)**	35 à 140 (3 à 11 %) **	15 à 35 (0 à 2,4 %) **
<i>A. flavus</i>	160 à 2 500 (10 à 40 %) **	/	300 à 4 000 (8 à 50 %) **	6 000 à 35 (10 à 50 %) **	35	/
<i>A. niger</i>	200 à 800 (2 à 8%)**	140 à 800 (8 à 15%)**	70 à 500 (2 à 8%)**	70 à 600 (1,3 à 5 %) **	/	28

\* *Aspergillus, Cladosporium, Penicillium, Rhizopus, Acremonium* en CFU/m<sup>3</sup> d'air

\*\*% = espèces/nombre total de champignons

Ainsi, pour les résultats de la flore bactérienne on note une prédominance de Staphylocoques coagulase négatif (5 000 à 57 000 UFC/m<sup>3</sup> d'air) avec très peu de bactéries Gram-négatif (70 à 700 UFC/m<sup>3</sup>). Le peu de bactéries Gram-négatif peut s'expliquer par le fait que le processus d'hygiénisation du compost est très efficace ou bien que les temps de prélèvements sont trop courts.

Le genre fongique prédominant est l'*aspergillus* avec 40 à 60 % d'*Aspergillus fumigatus*, 8 à 50 % d'*Aspergillus flavus* et 1 à 8 % d'*Aspergillus niger*. C'est inquiétant dans la mesure où certains *Aspergillus flavus* peuvent sécréter une aflatoxine appartenant au groupe 1 du Centre International de Recherche sur le Cancer (cancérogène pour l'homme).

Pour les deux flores, on constate une diminution des concentrations dans l'aire de stockage et dans l'air extérieur. Ce qui correspond à une évolution logique.

## 2 - Résultats du nouvel inventaire clinique

### 2.1 - Résultats du questionnaire médical

On constate une stabilité des emplois, la moyenne d'ancienneté est de 15 mois.

Les plaintes principales apparues sont surtout de gastro-entérites bénignes, elles sont en moyenne de trois par an. On note une persistance des signes d'irritation ORL, oculaires et respiratoires après la prise de poste:

- 66 % se plaignent de gastro-entérites bénignes;
- 22 % se plaignent de gorge sèche après la prise de poste;
- 22 % se plaignent de nez bouché;
- 11 % se plaignent de toux le lundi;
- 11 % se plaignent de nausées le lundi;
- 11 % se plaignent de diarrhées non rythmées par le travail;

### 2.2 - Les résultats des explorations fonctionnelles respiratoires

Une série d'explorations fonctionnelles respiratoires (EFR) a été effectuée en début et en fin de semaine, en début et en fin de poste de travail.

Les résultats des variations intra-journalières ne montrent pas de différences significatives.

## QUATRIEME PARTIE : DISCUSSION ET MESURES DE PREVENTION

### I - LES DONNEES DE LA LITTERATURE

L'étude du risque microbiologique aéroporté dans le compostage des déchets municipaux solides est un domaine partiellement en friche. Deux raisons principales expliquent cet état de fait. D'une part, la littérature ne comporte que peu d'études. D'autre part, la diversité des approches méthodologiques de ces études ne permet pas toujours de recouper fructueusement leurs résultats.

D'où la nécessité de se rapporter à d'autres secteurs professionnels et au secteur de l'assainissement en général.

## A - UNE LITTÉRATURE A SES DEBUTS

La littérature concernant spécifiquement le compostage des ordures ménagères est encore peu abondante.

### 1 - Un nombre limité d'études disponibles sur le compostage des ordures ménagères

Le nombre d'études disponibles sur le compostage des ordures ménagères est relativement faible. Globalement nous disposons de trois grandes études : celle de J. LACEY(1989) , celle de H. HEIDA (1995), et celle de J. LAVOIE (1997). Elles fournissent des données importantes, mais nous manquons encore de recul, d'autant que certains aspects du compostage des ordures ménagères n'ont pas encore été abordés ce jour.

#### 1.1 - Quelques données importantes

L'étude de J. LACEY (25), à l'instant précitée, a abordé le risque microbiologique aéroporté des opérateurs travaillant dans une station de compostage industriel d'ordures ménagères en système clos avec production d'un compost en 4 semaines.

J. LACEY a cherché à déterminer la concentration atmosphérique des micro-organismes par des prélèvements d'ambiance et individuels. Il s'est placé à trois moments différents : avant, pendant et après le compostage.

Avant la phase du compostage, il a constaté que les germes présents sont surtout des bactéries Gram - négatif à la concentration moyenne de  $10^5$  CFU/m<sup>3</sup> d'air. Mais les entéropathogènes tels que les Salmonelles n'ont jamais été retrouvées dans l'atmosphère de cette station de compostage.

Durant le compostage lui-même (et avant le mélange avec l'eau) il a principalement relevé des micro-organismes thermophiles, tels que:

- des bactéries ( $2,1$  à  $3,4 \cdot 10^4$  CFU/m<sup>3</sup>) dont 49 % d'Actinomycètes thermophiles du genre *Streptomyces spp.*, *Thermoactinomyces vulgaris* et *Thermomonospora alba*;
- des champignons ( $2,7 \cdot 10^6$  CFU/m<sup>3</sup> d'air) dont 90 % d'*Aspergillus fumigatus*.

Après l'adjonction d'eau, il a constaté une augmentation des concentrations de bactéries Gram - négatif ( supérieures à  $2 \cdot 10^5$  CFU/m<sup>3</sup>) et des champignons du genre *Penicillium* ( $6,8 \cdot 10^5$  CFU/m<sup>3</sup> d'air).

Enfin, s'agissant des concentrations de poussières (inférieures à  $5 \mu\text{m}$ ) il a relevé qu'elles étaient supérieures à  $10 \text{ mg/m}^3$  et  $80 \text{ mg/m}^3$  lors du retournement des piles de compost.

Au vu de ces résultats, J. LACEY en est venu à conclure que les micro-organismes et les concentrations dans l'air de cette station de compostage de DMS étaient les mêmes que ceux retrouvés dans d'autres milieux exposés au risque microbiologique comme l'agriculture où des pathologies telles que l'alvéolite allergique extrinsèque ont été recensées.

Parallèlement à cette étude, nous disposons également de celle de H. HEIDA (26). Cet auteur s'est intéressé à une station de compostage industriel en système clos produisant un compost en 8 semaines (soit en un temps doublement supérieur au temps de production dans la station étudiée par LACEY). C'est aussi le même procédé de compostage que notre étude mais deux fois plus lent.

HEIDA a effectué des prélèvements atmosphériques d'ambiance de micro-organismes, de composés organiques volatils et de dihydrogène de soufre. Il a complété cette approche par un petit volet clinique.

Les résultats microbiologiques donnent une concentration de bactéries totales supérieures à  $28.10^3$  CFU/m<sup>3</sup>. Ces résultats sont similaires aux nôtres. Parmi ces bactéries, H. HEIDA a surtout identifié:

- des bactéries Gram - négatif du genre *Pseudomonas*, *Acinetobacter*, *Shigella* et *Yersinia*, dont les concentrations varient de 3,6 à  $9.10^3$  CFU/m<sup>3</sup> d'air;
- des champignons dont les concentrations varient de 5,8 à  $9.10^3$  CFU/m<sup>3</sup> d'air, avec 60 % d'*Aspergillus fumigatus*, 20 % de *Penicillium* et 10 % de *Rhizopus* et *Mucor* (88).

De l'approche clinique, il ressort que les plaintes les plus fréquentes sont relatives à des détresses respiratoires et des infections ORL. En ce qui concerne les mesures des concentrations des composés organiques volatils et du dihydrogène de soufre, il constate qu'elles sont inférieures aux Valeurs Moyennes d'Exposition recommandées.

On aura constaté que H.HEIDA n'a pas dosé les actinomycètes thermophiles. En revanche, il retrouve les mêmes germes que LACEY mais avec des concentrations plus faibles. Est - ce à cause des différences de méthodes (on y reviendra) ou à cause des différences de processus de production ?

Enfin, l'étude de J. LAVOIE (27) présente les résultats d'une étude de contaminants microbiologiques et chimiques dans deux centres mécanisés de compostage (centres A et B) de déchets municipaux solides. Les prélèvements microbiologiques ont été effectués en été et en hiver dans les deux centres et comparés entre eux. Le matériel utilisé était des impacteurs Andersen à 6 étages pour la collecte des bactéries totales et des impacteurs Andersen à un étage pour les autres contaminants biologiques. Les temps d'impaction étaient de 1 minute.

Les résultats des prélèvements microbiologiques montrent :

**- dans le centre A où le compost est produit en 8 à 16 semaines :**

- \* une concentration de bactéries de 53 690 UFC/m<sup>3</sup> d'air ( $\pm 16 000$ ) au niveau de la réception et de 168 440 UFC/m<sup>3</sup> d'air ( $\pm 2 270$ ) au niveau du stade de fermentation;
- \* une concentration de bactéries Gram-négatif < 1 000 UFC/m<sup>3</sup> d'air;

On retrouve les mêmes concentrations en été comme en hiver.

**- dans le centre B :**

- \* une concentration de bactéries de 14 290 UFC/m<sup>3</sup> d'air ( $\pm 9 270$ ) au niveau de la réception et de 87 020 UFC/m<sup>3</sup> d'air ( $\pm 1 070$ ) au niveau du stade de fermentation.
- \* une concentration de bactéries Gram-négatif < 1 000 UFC/m<sup>3</sup> d'air;

On retrouve les mêmes concentrations en été comme en hiver.

Dans les deux centres la concentration moyenne maximale de thermoactinomycètes était de 15 000 ( $\pm 150$ ) UFC/m<sup>3</sup> d'air.

A côté de ces trois grandes études de J. LACEY, de H. HEIDA et de J. LAVOIE, l'on dispose également de plus petites études, présentées au symposium danois en septembre 1996, sur les risques microbiologiques aéroportés des salariés en contact avec les déchets. L'on relève notamment les études de Douwes (28), E. Marth (29), Ivens (30), Nielsen (31).

La publication néerlandaise de J. Douwes (28) mérite d'être mentionnée. En effet, il a effectué des lavages nasaux, en début et fin de poste de travail, à des salariés d'une station de compostage d'ordures ménagères. Puis, il a recherché dans chaque lavage nasal des cellules inflammatoires, des médiateurs de l'inflammation et des leucocytes.

Les auteurs ont constaté chez chaque salarié une réaction d'inflammation du tractus respiratoire supérieur.

Mais pour l'instant il n'est pas encore possible d'établir un réel lien entre l'exposition à de hautes concentrations de bioaérosol (endotoxines, bêta 1,3 glucan et poussières) et la réaction d'inflammation du tractus respiratoire supérieur.

S'agissant des concentrations de bactéries relevées, elles étaient de  $10^9$  CFU/m<sup>3</sup> d'air dont 400 à  $24 \cdot 10^3$  CFU/m<sup>3</sup> d'air de bactéries Gram - négatif. Ces taux sont bien supérieurs à ceux retrouvés dans notre étude. Quant aux concentrations de champignons aéroportés, elles sont de  $10^6$  CFU/ m<sup>3</sup> d'air.

Enfin, il est le seul auteur pour l'instant à avoir dosé les endotoxines dans l'air d'une station de compostage d'ordures ménagères. Les taux retrouvés sont de 5 à 100 ng/m<sup>3</sup> (28).

L'étude de E.Marth n'a essayé d'apprécier que le risque clinique des opérateurs dans les stations de compostage des ordures ménagères.

Après avoir interrogé 137 salariés de trois usines de compostage et de deux stations de tri des ordures ménagères il a constaté que les plaintes principales étaient les suivantes :

- gorge sèche (38 %);
- toux sèche (35 %);
- infection pulmonaire (23 %);
- diarrhées (18 %);
- douleurs articulaires (13 %);
- conjonctivites (12 %).

Les résultats des spirométries en début et en fin de poste de travail étaient normaux (29).

## **B - DES DONNEES PLUS IMPORTANTES DANS D'AUTRES SECTEURS DE L'ASSAINISSEMENT**

Les autres secteurs professionnels auxquels l'on peut se référer sont le traitement des eaux usées, le tri des ordures ménagères, le compostage des boues de station d'épuration ou des déchets verts et le compostage mixte (boues et déchets verts ou boues et ordures ménagères).

### **1 - La littérature sur le traitement des eaux usées**

De nombreuses études épidémiologiques ont été menées dans les stations de traitement des eaux usées.

C'est en 1976, que Lundholm et Rylander décrivent la pathologie du " Syndrome des égoutiers " . Les micro-organismes incriminés seraient les *E. coli*. Et ils ont mis en évidence des anticorps anti-endotoxines spécifiques dans le sérum des salariés (40).

Ensuite, une étude finlandaise menée dans neuf stations de traitement des eaux usées a permis de trouver des concentrations importantes de bactéries Gram - négatif (de  $10$  à  $10^4$  CFU/m<sup>3</sup> d'air) et d'endotoxines (0,1 à 350 ng/m<sup>3</sup>). Il a été retrouvé une majorité de bactéries Gram - négatif du genre *Acinetobacter*, *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Klebsiella* et *Pseudomonas*. Les taux les plus hauts se situaient à l'arrivée des eaux usées et au niveau du biofiltre (38).

Enfin, en France G. Abadia (32) (1993) a aussi mené une étude prospective pendant deux ans sur 577 salariés de stations de traitement des eaux usées.

Les pathologies recensées étaient d'ordre :

- digestif (diarrhées, gastro-entérites) 24,8 %;
- ORL (rhinopharyngites, sinusites, angines) 30 %;
- respiratoire (dont la moitié était des bronchites aiguës) 15,6 %;
- cutané (allergies, infections) 18,9 %;
- oculaire (infectieux ou irritation) 8,7 %;
- grippal 15,7 %.

### **2 - La littérature sur le tri des ordures ménagères**

L' étude à la fois clinique et microbiologique menée par Gladding (1996), concerne une station de tri des d'ordures ménagères de 39 salariés, en Angleterre.

Les opérateurs ont dû répondre à un questionnaire médical et effectuer des débitmètres longitudinales .

Les principales plaintes retrouvées étaient les suivantes:

- irritation nasale (5 %);
- gorge sèche (38 %);
- irritation oculaire (21 %);
- toux avec crachats (23 %).

Il faut rajouter 2 cas de syndrome pseudo-grippal.

Quant aux résultats des débitmètres longitudinales, ils avaient montré des variations chez tous les salariés, parmi eux deux salariés avaient une diminution de plus de 100 litres par minute ce qui a été attribué à de l'asthme.

Enfin, les concentrations de bactéries et de champignons relevées étaient supérieures à  $1,8.10^5$  CFU/m<sup>3</sup> (32bis).

### 3 - La littérature dans le compostage d'autres types de déchets

Les publications dans les autres domaines de compostage nous montrent que les micro-organismes retrouvés sont les mêmes mais avec des concentrations et des pathologies variant en fonction du type de déchets à composter. Il y a une dépendance entre le risque encouru et le type de déchet.

#### 3.1- Le compostage mixte

Dès 1977, des études ont été publiées sur le compostage mixte des boues et des déchets verts. On citera les études de PD Millner (41,42) qui ont montré que les concentrations d'*Aspergillus fumigatus* représentaient 75 % de la flore fongique viable dans l'air.

Une enquête cas - témoin a été menée pendant deux ans, par Clark et al., en 1984, dans une station de compostage mixte de boues et de copeaux de bois (107 salariés et 42 témoins).

Les principaux micro-organismes et les endotoxines relevés étaient :

- des bactéries Gram - négatif dont la concentration était de  $15. 10^3$  à  $37. 10^4$  CFU/m<sup>3</sup> d'air. Elles sont supérieures à celles trouvées dans notre étude;
- des endotoxines dont les concentrations variaient de 0,001 à 0,042 µg/m<sup>3</sup>, étaient inférieures aux recommandations qui étaient de 0,1 µg /m<sup>3</sup> (43). Mais en 1984, le dosage des endotoxines n'était pas encore très fiable ce qui pourrait expliquer les faibles taux retrouvés;
- des champignons du genre *Aspergillus fumigatus*.

Au sujet de l'enquête clinique il ressort que durant la première année les salariés se sont surtout plaints de brûlures oculaires. Lors des examens médicaux, il a été observé des infections cutanées (abcès, furoncles) et des atteintes auriculaires, oculaires et nasales.

Par ailleurs, trois salariés ont présenté des infections auriculaires aiguës durant le travail. Un salarié a eu une infection auriculaire chronique pendant plusieurs années ayant entraîné une destruction du tympan droit. Le seul organisme pathogène retrouvé était de l'*Aspergillus niger*.

70 % des salariés travaillant directement au contact du compost étaient des porteurs sains d'*Aspergillus fumigatus* dans les narines. Les salariés très peu ou pas exposés n'en avaient que 5 %.

Dans le sérum des salariés très exposés il a été retrouvé des hauts niveaux d'IgG anticorps contre les LPS des bactéries du compost. En revanche, il n'a pas été noté d'augmentation significative des anticorps contre les *Aspergillus Fumigatus* (44).

Dans une autre station de compostage mixte (boues et déchets verts) il a été relevé des concentrations de bactéries Gram - négatif variant de  $10^3$  à  $4.10^4$  CFU/m<sup>3</sup> et parfois bien supérieures à  $10^5$  CFU/m<sup>3</sup>, quant aux concentrations d'*Aspergillus fumigatus*, elles étaient supérieures à  $10^6$  CFU/m<sup>3</sup> d'air (45).

Enfin, dans une station de compostage mixte (boues et ordures ménagères) CS Clark (46) a relevé des concentrations de bactéries Gram - négatif variant de  $10^3$  à  $4.10^4$  CFU/m<sup>3</sup> d'air. Celles d'endotoxines de 0,009 à 0,014 µg/m<sup>3</sup> et celles d'*Aspergillus fumigatus* étaient supérieures à  $10^6$  CFU/m<sup>3</sup> d'air.

### 3.2- Le compostage des déchets verts

La publication de S. Weber menée dans une usine de compostage des déchets verts décrit le cas d'un salarié de 52 ans qui a présenté douze heures après avoir travaillé dans les silos, une fièvre, une dyspnée marquée et des myalgies; il est décédé des suites de ces troubles. Par la suite, deux autres cas de fièvre d'inhalation et de pneumopathie d'hypersensibilité ont été déclarés (47).

Les concentrations de micro-organismes retrouvées étaient similaires à celles retrouvées dans l'agriculture et avaient entraîné des pathologies respiratoires.

Les taux de champignons étaient de  $1,4 \cdot 10^6$  CFU/m<sup>3</sup> d'air avec des pics atteignant  $4,7 \cdot 10^8$  CFU/m<sup>3</sup> d'air. Les principaux champignons étaient des *Aspergillus fumigatus* et des *Penicillium*.

Quant aux bactéries, leurs concentrations variaient entre  $6,3 \cdot 10^5$  à  $7,7 \cdot 10^8$  CFU/m<sup>3</sup> dont une majorité de bactéries Gram - négatif.

Enfin, les concentrations d'endotoxines respirables et inspirables étaient de 636 à 16,3 EU/m<sup>3</sup> (47).

### 3.3 - Le compostage des boues

Enfin, dans une station de compostage de boues il a été retrouvé des entérobactéries de type Salmonelles (46). Alors qu'elles n'ont jamais été retrouvées dans l'air des usines de compostage des ordures ménagères (47bis, 48).

## 4 - La comparaison des risques microbiologiques aéroportés du compostage des ordures ménagères avec le risque microbiologique d'autres filières de déchets a été entreprise par certains auteurs

En 1978, Lundholm et Rylander ont essayé de montrer que les salariés des stations d'une compostage mixte (ordures ménagères et boue) avaient les mêmes symptômes que ceux travaillant dans une station d'épuration des eaux usées et exposés aux bactéries Gram - négatif (49,50).

Après avoir comparé les différentes pathologies et concentrations de bactéries les auteurs ont conclu d'une part, que les déchets municipaux solides étaient une source importante de bactéries Gram - négatif et d'autre part, que les résultats cliniques retrouvés (nausées, maux de tête, diarrhées) étaient les mêmes que ceux trouvés dans les stations d'épuration des eaux usées (51).

J. LACEY quant à lui constate que l'exposition au compost des déchets municipaux solides est très similaire à celle du compost des champignonnières préparé à partir de paille et de fumier de volaille. Mais il y aurait peut - être une prépondérance d'*Aspergillus fumigatus* dans le compost des déchets municipaux solides (47bis).

## II - LES PROPOSITIONS

### A - LES PROPOSITIONS EN MATIERE DE PREVENTION TECHNIQUE

#### 1 - Les mesures collectives

Les mesures de prévention collective consistent d'une part, à mettre en dépression la station de compostage et à renforcer les techniques de ventilation aspiration pour limiter la poussière. Et d'autre part, à protéger l'environnement extérieur en faisant passer l'air pollué par une tour de lavage et un biofiltre avant qu'il ne soit rejeté dans l'air extérieur.

#### 2 - Les mesures individuelles

Les mesures de prévention individuelle passent par l'éducation et l'information du personnel pour obtenir son adhésion à des comportements qui sont parfois bien contraignants.

A l'intérieur de l'usine le risque microbiologique est surtout lié à l'inhalation de la poussière organique.

Tout d'abord, aucun travail ne doit être effectué lorsque la roue pelleteuse fonctionne.

Ensuite, il est impératif de porter une protection respiratoire adaptée à ce risque microbiologique pour tous travaux effectués dans les silos de compostage de plus de 10 minutes et lors du nettoyage du biofiltre. Les protections respiratoires seront munies de filtres mixtes de type A,B,E,K, A = anti vapeur organique - B = anti vapeurs inorganiques - E = anti vapeur organique et SO<sub>2</sub> - K = anti ammoniac et dérivés aminés et de protection anti-poussières maximale de type P2 ou P3.

De plus, il est obligatoire de porter une protection cutanée (gants) étanche à l'air et à l'eau, et qui a une résistance mécanique.

Le type de vêtement de travail conseillé est une combinaison de travail avec serrement aux manches lors de tous travaux entrepris dans l'usine.

A chaque pause (repas, cigarettes, toilettes) il est recommandé de se laver soigneusement les mains. Il faut avoir les ongles courts et déclarer et soigner chaque plaie.

Enfin, à la fin du poste de travail il faut prendre une douche.

## **B - LES PROPOSITIONS EN MATIERE DE PREVENTION MEDICALE**

### **1 - Prévention médicale à l'embauche**

En matière de surveillance médicale exercée par les médecins du travail nous proposons à l'embauche :

- la réalisation d'un examen clinique général. Cet examen sera associé à la réalisation d'une radiographie du thorax comportant un cliché de face grand format et d'une spirométrie classique d'entreprise comportant cinq paramètres de base : CVL, CVF, VEMS/CVF et DEM 25-75 en exigeant une courbe débit volume (24).

- le contrôle des vaccinations et des rappels. En effet, certaines vaccinations sont obligatoires compte-tenu du risque microbiologique, ce sont les vaccinations :

- anti tuberculeuses (B.C.G.);
- anti diphtérie-tétanos-poliomyélite (tous les dix ans);
- anti hépatite A et anti-leptospirose;
- anti fièvre typhoïde.

En ce qui concerne la vaccination contre la leptospirose, elle ne sera faite que si l'opérateur effectue des opérations de nettoyage plus de deux fois par mois dans un endroit où il aura été vu des rats.

- la vérification de l'état immunologique du salarié. En ce qui concerne les causes d'immunodépressions, elles contre-indiquent le travail de façon définitive ou temporaire. Sont inclus :

- les immunodéprimés;
- les personnes ayant une corticothérapie au long cours;
- les personnes ayant une sérologie VIH positive;
- les personnes ayant une chimiothérapie;
- les personnes ayant une pathologie évolutive en cours de traitement telles qu'une tuberculose ou une hépatite virale.

### **2 - La prévention médicale au long cours**

Les salariés devront bénéficier d'une surveillance au long cours qui sera à la fois clinique et biologique

## 2.1- La surveillance clinique

Tous les salariés de l'usine de compostage devront être suivis en consultation tous les six mois dans le cadre d'une surveillance médicale particulière (Article R-241-50 du code du travail).

## 2.2 - Les examens complémentaires

### a - Les explorations fonctionnelles respiratoires

Une exploration fonctionnelle respiratoire (EFR) devra être effectuée tous les ans, s'il n'y a pas apparition de troubles respiratoires. En effet, selon A. Perdrix le suivi longitudinal des chiffres obtenus par l'utilisation de la dérive dans le temps, rapportés à des abaques propres à chaque individu permettrait de vérifier si la pente de régression pour chaque paramètre respiratoire est supérieur à la pente physiologique de son groupe de référence : un sujet peut très bien être normal mais avoir une régression accélérée dans le temps de ses performances tout en restant au-dessus des valeurs fonctionnelles respiratoires des limites inférieures admises (24).

Si le médecin du travail constate une anomalie à l'EFR, ou l'apparition de troubles respiratoires, il devra adresser le salarié en consultation de Pathologies Professionnelles du CHU pour bilans complémentaires.

### b - Les examens biologiques sanguins

Les examens médicaux seront à discuter compte-tenu des contraintes financières et devraient être effectués tous les deux ans.

Ce sont la recherche d'anticorps précipitants, des sérologie parasitaires à la recherche d'une réactivité vis à vis de *Toxocara*, Amibes et Anguillules, des sérologies typhique et paratyphique.

## CONCLUSION

Dans le recyclage des déchets municipaux solides, le compostage industriel des ordures ménagères par maturation accélérée en système clos est en train d'acquiescer une place majeure. Avec un double profit : celui d'éviter la multiplication des décharges municipales et celui de produire un compost utile aux agriculteurs.

Revers de la médaille, ce type de compostage fait intervenir de très divers micro-organismes présents à de fortes concentrations. Il en résulte un risque microbiologique aéroporté encore mal évalué actuellement, mais en toute hypothèse direct pour les opérateurs.

Pour apprécier ce risque microbiologique aéroporté, une campagne de mesures a été réalisée en été, dans une usine de compostage d'ordures ménagères, associée à un inventaire clinique. Ce dernier a été répété dix-huit mois plus tard.

Lors de l'été 1995, la moyenne d'ancienneté des sept salariés directement exposés était de sept mois. Le questionnaire révélait non seulement l'existence de divers troubles ORL, oculaires et respiratoires survenant après la prise de poste, mais aussi la présence de troubles récurrents (céphalées, diarrhées...). Dix-huit mois plus tard, les onze salariés (dont 6 étaient présents lors de la première campagne) avaient alors une moyenne d'ancienneté de quinze mois et se plaignaient principalement de gastro-entérites répétées. Les résultats des spirométries étaient toujours normaux sans variation intra-journalière significative.

Quant aux prélèvements microbiologiques d'ambiance, ils montraient des concentrations importantes de l'ordre de  $22.10^3$  à  $95.10^3$  CFU/m<sup>3</sup> d'air (similaires aux données de la littérature) augmentant au cours du processus puis diminuant vers la fin. Parmi les bactéries on note la prédominance de staphylocoques coagulases négatifs et la présence de bactéries Gram - négatif. Le genre fongique prédominant est l'*Aspergillus* (*Aspergillus fumigatus*, *flavus* et *niger*). C'est inquiétant dans la mesure où certains *Aspergillus flavus* peuvent sécréter une aflatoxine appartenant au groupe 1 du Centre International de Recherche sur le Cancer (cancérogène pour l'homme)

Peu de publications sont orientées spécifiquement vers le compostage des ordures ménagères. Un premier symposium sur ce sujet a eu lieu en 1996 au Danemark. La plupart des auteurs étaient d'accord pour affirmer que le risque microbiologique aéroporté dépend principalement du type de déchets à composter. Au-delà, la majorité des études présentées soulignaient que le

compost des déchets ménagers était caractérisé par une prédominance générale de bactéries Gram - négatif, d'actinomycètes thermophiles, d'*Aspergillus fumigatus* et de *Penicillium*. Et ceux-ci, avec des taux certes moins importants que ceux trouvés dans les stations de compostage mixte ou de déchets verts, mais semblables à ceux des stations d'épuration des eaux usées. Ces études révélaient également de hautes concentrations d'endotoxines. Quant aux taux de mycotoxines dans l'air, ils n'avaient pas été mesurés.

En réalité, on a peu de recul sur les pathologies liées au compostage des déchets ménagers. Dans ces conditions, il convient de se référer aux études menées sur le risque microbiologique aéroporté dans d'autres secteurs de traitement des déchets (station d'épuration des eaux usées...).

Il ressort ainsi de manière générale, que les salariés exposés aux poussières organiques sont plutôt atteints de maladies non infectieuses de mécanisme immuno-allergique ou non, liées à certains composés de la poussière organique (bactéries Gram -négatif, actinomycètes thermophiles, *Aspergillus fumigatus*, endotoxines...). En particulier, beaucoup d'auteurs tiennent l'inhalation d'endotoxines pour responsable des troubles digestifs, des nausées, des fièvres... et du développement de bronchopathies chroniques obstructives professionnelles atopiques et non tabagiques. Les actinomycètes thermophiles seraient la cause d'alvéolites allergiques extrinsèques. Au niveau de la flore fongique, l'*Aspergillus fumigatus* est considéré comme présentant des risques immunoallergiques et infectieux pour les immunodéprimés.

Au vu de ces constats, et malgré les incertitudes qui règnent encore sur le risque microbiologique aéroporté dans le compostage industriel des ordures ménagères, il est certain que des mesures de prévention doivent être prises dans la filière de compostage des déchets ménagers. En effet, même si les troubles médicaux des salariés examinés dans l'usine ne sont pour l'instant que des signes d'irritation et des gastro-entérites bénignes, même si les spirométries ne montrent pas de variations significatives, les risques subaigus, aigus ou chroniques restent encore préoccupants compte-tenu des hautes concentrations de micro-organismes retrouvés.

Comment évolueront ces risques à long terme, alors que les salariés inhalent ces micro-organismes huit heures par jour ?

Une surveillance microbiologique incluant le dosage des endotoxines, (de certaines mycotoxines?) et des actinomycètes thermophiles permettrait à la fois une meilleure estimation et un contrôle plus régulier du risque microbiologique aéroporté. Parallèlement, une recherche plus poussée sur les facteurs techniques (épuration de l'air...) permettant de réduire les concentrations en micro-organismes est indispensable.

Enfin, au-delà des nécessaires efforts de prévention individuelle (en particulier port de protections respiratoires) il est crucial de faire bénéficier chaque salarié d'une surveillance médicale particulière par le Médecin du Travail et d'éviter l'embauche de personnel présentant un déficit immunitaire chronique.

*Ce travail a été réalisé par le Docteur Nathalie Delaunay, AIMT du Bas-Rhin (Thèse de médecine sous la direction du Docteur Perdrix, CHU Grenoble).*

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1) **Mustin M.** Le compost, Ed F. Dubusc, Paris; 1987; 953 p.
- 2) **Jimenez-Iglesias E, Perez-Garcia V.** Composting of domestic refuse and sewage sludge. II. Evolution of carbon and some "humidification" indexes. *Resour Conserv Recy* 1992 ; 8 : 45-60.
- 3) **Turner JK.** MSW composting 1990's style. *Solid Waste Power* 1992 ; 6 : 18-25.
- 4) **Zucconi F., De Bertoldi M.** Compost specifications for the production and characterization of composts from municipal solid waste. In : Compost : production, quality and use. Elsevier applied science publishers ltd, London and New York, 1987 ;30-50.

- 5) **Shiralipour A, Mc Donnell DB, Smith WH.** Physical and chemical properties of soil as affected by municipal waste compost application. *Biomass Bioenergy* 1992 ; 3 : 261-266.
- 6) **Goldstein N, Yanko WA, Walker JM, Jakubowski W.** Determining pathogen levels in sludge products. *BioCycle* 1988 ; 29 : 44-47.
- 7) **Kashmanian RM, Keyser JM.** The flip side of compost: what's in it, where to use it and why. *Environ Gardener* 1992 ; 25 : 1067-1070.
- 8) **Millner PD, Marsh PB, Snowden RB, Parr JF.** Occurrence of *Aspergillus fumigatus* during composting of sewage sludge. *Appl Environ Microb* 1977 ; 34(6) : 765-772.
- 9) **Gerba CP.** Microbiology of pathogens in Municipal Solid Waste. In : Palmisano AC, Barlaz MA. *Microbiology of solid waste*, CRC, Press, 1996 ; 155-175.
- 10) **Anonyme.** Diaper industry workshop identifies research needs to minimize environmental impacts. *J Air Waste Manage Assoc* 1991 ; 41 (10) :1294.
- 11) **Pahren HR, Clark CS.** Microorganisms in municipal solid waste and public health implications. *Crit Rev Environ Cont* 1987 ; 17 : 187-228.
- 12) **De Bertoldi M, Zucconi F, Civilini M.** Temperature, pathogen control and product quality. *BioCycle* 1988 ;29 : 43-750.
- 13) **Mareska J, Heyman J.** Enquête sur le travail et les conditions physique et morale des ouvriers employés dans les manufactures de coton. *Ann Soc Med Gand* 1845 ;16 : 5.
- 14) **Lacey J, Williamson PAM, Crook B.** Microbiol emissions from composts made from mushroom production and domestic waste. In: *Composting and compost quality assurance criteria*. Commission of the european communities publisher, EUR 14254 EN, 1992, 429p.
- 15) **Chinoweth DP, Bosch G, Earle JFK, Legrand R, Liu K.** A novel process for anaerobic composting of municipal solid waste. *Appl Biochem Biotech* 1991 ; 28-29 : 421-432.
- 16) **Perdrix A, Madon N, Maitre A, Parat S, Mann S, Clavel T.** Risques biologiques autres qu'infectieux. *Encyclop Med Chir (Elsevier, Paris), Toxicologie-Pathologie professionnelle*, 16-080-B-10,1997,6 p.
- 17) **Magnus O.** *Historia de gentibus Septentrionalibus*. Johannes Maria de Viottis, (ed) Birgittae, Rome, Jan 1555.
- 18) **Ramazzini B.** *De morbis artifician diatribia* (new edition and translation of disease of workers) WC (ed) Wright University of Chicago, Chicago, 1940.
- 19) **Deschamps S, Momas I, Festy B.** Quelques aspects du risque professionnel lié à l'inhalation d'endotoxines. *Arch Mal Prof* 1994 ; 5 : 327-333.
- 20) **Dutkiewicz J. Jablonski, Olenchock SA.** Occupational bioazards. *Am J Ind Med* 1988 ;14 : 605-623.
- 21) **Koskela RS, Klockars M., Jarvinen E.** Mortality and disability among cotton mill workers. *Br J Ind Med* 1990 ; 40 : 384-391.
- 22) **Emmanuel DA, Wenzel FJ, Lawton BR.** Pulmonary mycotoxicosis. *Chest* 1975 ; 67 : 293-299.
- 23) **Andersen A.** A new sampler for the collection, sizing and environmental of viable particles. *J Bacteriol* 1958 ; 471-484.

- 24) **Perdrix A.** Guide pratique d'exploration fonctionnelle respiratoire. Utilisation en milieu professionnel. Masson, Paris, 1994, 184 p.
- 25) **Lacey J, Wialliamson PAM, King P, Bardos RP.** Airborn microorganisms associated with domestic waste composting. Warren spring Laboratory eds, ISBN : 0 85624 666 2, 1990 ; 36 p.
- 26) **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 ; 56:39-43.
- 27) **Lavoie J., Marchand G.** Détermination des caractéristiques à considérer d'un point de vue de santé et de sécurité des travailleurs dans les centres de compostage des déchets domestiques. Etudes et recherches - Rapport A6159, IRSST, juin 1997.
- 28) **Douwes J.** Occupational endotoxin exposure : possibilities for satandard setting. In : Waste collection and recycling - Bioaerosol Exposure and health problems. Danemark, 1996 ; 35-36.
- 29) **Marth E, Reinhaller FF, Schafler K, Haselbacher S, Eibel U, Kleinhappe B.** Ocupational health risks to employees of waste treatment facilities recommandations. In: Waste collection and recycling - Bioaerosols International meeting on waste. Danemark, 1996 ; 27-28.
- 30) **Ivens UI.** Problems related to bioaerosol exposure. In: International meeting on waste collection and recycling bioaerosol exposure and health problems. Danemark, 1996 ; 20 - 21.
- 31) **Nielsen BH, Würtz H., Nielsen M., Breum NO.** Developpment of microorganisms in household waste during industrial pile composting. In : Waste collection and recycling - Bioaerosol exposure and health problems. Danemark, 1996 ; 31-32.
- 32) **Abadia G, Altmeyer N.** Risques microbiologiques en station d'épuration. DMT 67TF-67, 1996.
- 32bis) **Gladding TL, Coggins PC.** Health effects of working in UK materials recovery facilities. In : Waste collection and recycling - Bioaerosol exposure and health problems. Danemark, 1996 ; 29-30.
- 33) **Notkota V, Husman K, Laukkamen V.** Mortality in male farmers in Finland during 1979-1983. *Scand J Work Environ Health* 1987 ; 13 : 124-128.
- 34) **Terhol E.** Work related respiratory disorders among finish farmers. *Am Ind J Med* 1990 ; 18 : 269-272.
- 35) **Lacey J, Lacey ME.** Spore concentrations in the air of farms buildings. *Trans Br Mycol* 1964 ; 47 : 447-532.
- 36) **Dron D.** Le poids des déchets sur les entreprises. Eyrolles, collection Cadres et dirigeants, 1991, 155 p.
- 37) **Mareska J, Heyman J.** Enquête sur le travail et les conditions physiques et morales des ouvriers employés dans les manufactures de coton. *Ann Soc Med Gand* 1. 16 :5.
- 38) **Laitinen S, Nevalainen A, Kotimaa M, Liesivori J, Martikainen PJ.** Relationship between bacterial counts and endotoxin concentrations in the air of wastewater treatment plants. *Appl Environ Microb* 1992 ; 58 (11) : 3774-3776.
- 39) **Preller L, Heederik D, Boleij JS, Vogelzang PF, Tielen MJ.** Lung function and cronic respiratory ymptoms of pig farmers : focus on exposure to endotoxin and ammonia and use of disinfectants. *Occup Environ Med* 1995 ; 52 : 654-660.
- 40) **Lundholm M, Rylander R.** Work related symptoms among sewage workers. *Br J Ind Med* 1983 ; 40 : 325-329.

- 41) **Millner PD, Basset DA, Marsh PB.** Dispersal of *Aspergillus fumigatus* from sewage sludge piles subjected to mechanical agitation to open air. *App Environ Microb* 1980 ; 39 : 1000-1009.
- 42) **Millner PD, Marsh PB, Snowden RB, Parr JF.** Occurrence of *Aspergillus fumigatus* during composting of sewage sludge. *Appl Environ Microb* 1977 ; 34(6) : 765-772.
- 43) **Clark SC, Rylander R, Larsson L.** Levels of Gram-negative bacteria, *Aspergillus fumigatus*, dust and endotoxins at composting plants. *Appl Environ Microb* 1983; 5 :1501-1505.
- 44) **Clark CS, Bjornson HS, Schwarz-Fulton J, Holland JW, Cartside PS.** Biological health risks associated with the composting of wastewater treatment plant sludge. *J Water Pollut Control F* 1984 ; 56 (12) :1269-1276.
- 45) **Olsen JH, Dragsted L, Autrup H.** Cancer risk and occupational exposure to aflatoxins in Denmark. *Br J Cancer* 1988 ; 58 : 392-396.
- 46) **Epstein E.** Public health issues and composting. *Biocycle* 1989.
- 47) **Weber S, Kullman G.** Organic dust exposures from compost handling case presentation and respiratory exposure assessment. *Am J Ind Med* 1993 ; 24 : 365-374.
- 47bis) **Lacey J, Pauline AM, Williamson AM, Crook B.** Emissions from composts made for mushroom production and from domestic waste, AFRC, UK, 1990.
- 48) **Nell JH., Wichers SG.** High temperature composting. *Water South Africa* 1978 ; 4 : 203-212.
- 49) **Rylander R, Anderson K, Belin L.** Study on human exposed to airborne sewage sludge. *Schweiz Med Wochensh* 1977 ;107 :182-184.
- 50) **Hettisby I, Rylander R.** Clinical and Immunological findings in workers exposed to sewage sludge dust. *J Occup Med* 1978 ; 20 : 690-692.
- 51) **MAFF** (Ministry of Agriculture, Fisheries and Food (1992)). Aflatoxins in nuts, nut products, dried figs and fig products regulation, Statutory Instruments. No.32360.HMSO, London, 1992 ; 12pp.