



RE.CO.R.D.

ETUDE N° 01-0657/1A

SYNTHESE DE L'ETUDE

FRANÇAIS / ANGLAIS

**ÉTAT DES CONNAISSANCES SUR LES MICRO-ORGANISMES
DANS LA FILIERE DECHETS**

janvier 2003

M. HOURS - Réseau Santé Déchets

Les risques sanitaires associés à l'activité industrielle font depuis quelques années l'objet d'attentions particulières, notamment les risques concernant les populations riveraines d'usines pouvant être potentiellement polluantes pour leur environnement. La protection de la santé de l'homme au travail est régie par les lois et règlements du code du travail et par de nombreux autres textes qui définissent et précisent les droits, devoirs et tâches des employeurs, des salariés, des professionnels de la prévention au premier rang desquels les médecins du travail.

La notion d'évaluation du risque sanitaire pour la population générale, a été étendue récemment aux populations de salariés. En effet, l'article R.230-1 du Code du Travail instauré par le décret N° 2001-1016 du 5 novembre 2001 oblige l'employeur à évaluer les risques courus par ses employés suivant ce même principe.

La filière «traitement des déchets» a longtemps été «oubliée» parce que, peu technique, et fonctionnant en petites unités, la surveillance de risques potentiels était peu évidente. L'enrichissement technologique, l'augmentation des tonnages (et donc des émissions de polluants), le regroupement des sociétés, associés à quelques retentissantes affaires de pollution ont favorisé la prise de conscience de l'intérêt qu'il y avait à développer des programmes de surveillance sanitaire de cette filière.

Le risque microbiologique, après avoir été «LA» grande affaire du XIXème siècle, a été oublié. Il a suscité un regain d'intérêt récemment, notamment en lien avec l'apparition des questions suscitées par le SIDA (à travers le risque associé à une contamination par le sang de certains déchets) et par le prion (risque de contamination des farines animales, dès lors considérées comme des déchets à éliminer d'une façon satisfaisante sur le plan de l'hygiène publique).

Par ailleurs, plusieurs études ont montré que les salariés de la filière «ordures ménagères» étaient exposés à des niveaux non négligeables d'agents microbiologiques, lesquels pourraient contribuer à l'émergence de problèmes de santé encore mal évalués notamment de type allergique. Les allergies représentent actuellement un véritable problème de santé publique.

La question des agents microbiologiques est assez complexe, et les connaissances les concernant sont habituellement parcellaires et schématiques. Il a donc paru nécessaire de réaliser une revue bibliographique pouvant servir de manuel pratique pour les industriels afin qu'ils puissent avoir des éléments de connaissances facilitant la discussion avec les salariés, les médecins du travail et les autorités, et pouvoir ainsi mettre en œuvre les mesures de prévention adéquates.

Le rapport, après avoir fait une présentation synthétique des divers agents biologiques pouvant être en cause, ainsi que les tableaux cliniques qu'ils peuvent entraîner, analyse la situation de la filière de traitement des déchets (tant ce qui concerne la filière «ordures ménagères» que celle des déchets de l'industrie ou encore celle des déchets d'activités de soin). Un essai de hiérarchisation des risques est ensuite proposé, mais il se heurte aux grandes lacunes de connaissances qui existent pour de nombreuses étapes de la filière. Enfin des pistes de réflexion et de recherche sont en dernier lieu évoquées.

II Types de micro-organismes impliqués dans la filière "traitement déchets".

Les facteurs d'agression comprennent l'ensemble des agents biologiques tels que bactéries Gram positif, bactéries Gram négatif et leurs endotoxines, les bactéries filamenteuses, l'ensemble des champignons et leurs mycotoxines, les virus, les protozoaires. Une directive européenne (Directive 90/679/CEE) fait le point des risques engendrés par tous les microorganismes qu'ils soient infectieux ou non. Les déchets sont particulièrement riches en microorganismes d'une part parce qu'ils offrent un milieu favorable à la

prolifération de certains de ces microorganismes (supports organiques riches, températures, conditions d'aérobiose ou d'anaérobiose particulières), et d'autre part parce que les déchets eux-mêmes peuvent être contaminés (germes fécaux : couches jetables, serviettes hygiéniques ; germes pathogènes : déchets de soins, mouchoirs en papier ; germes opportunistes : nourriture, papier, déchets verts...).

Les microorganismes retrouvés varient quantitativement et qualitativement en fonction du type de déchet (ordures ménagères, déchets d'activité de soins, déchets verts...), du pH, de la température, du mode de stockage initial, puis du traitement de ces déchets. Deux types de microorganismes sont cependant caractéristiques : les bactéries Gram négatives et les champignons de type *Aspergillus* et *Penicillium*.

Les concentrations en bactéries viables peuvent varier de 4.10^6 à 7.10^8 ufc/g de déchets. Au bout de quelques semaines, la flore bactérienne devient relativement monomorphe avec une présence majoritaire de *Bacillus*, *Citrobacter*, *Agrobacter*, *Enterobacter*, *Pseudomonas*.

Les virus pathogènes (coxsackie, rotavirus, échovirus, poliovirus, hépatites, HIV) sont susceptibles de se retrouver au niveau des couches jetables et des serviettes hygiéniques ou des déchets issus d'activités de soins mélangés aux ordures ménagères (carpules dentaires, compresses souillées de sang ...). Pour se reproduire, les virus pathogènes pour l'homme ont besoin de coloniser une cellule d'un tissu vivant, qui ne se trouvent pas en principe dans les déchets ; ils disparaîtront donc dans des délais variables suivant les virus.

Les champignons sont naturellement présent dans l'environnement et prolifèrent dans les déchets, en particulier dans les déchets organiques. Après quelques jours de stockage, les *Aspergillus* et les *Penicillium* ont colonisé le tas d'ordures ménagères au détriment des autres espèces.

Au niveau des levures, on retrouve surtout des *Candida albicans*.

Les microorganismes sont adsorbés à la surface des particules ; ils sont ainsi véhiculés dans l'air : il existe une corrélation étroite entre les niveaux de particules mesurés dans des ambiances de travail et la charge microbiologique des prélèvements d'air réalisés.

I.II Pathologies consécutives à une exposition à ces micro-organismes

Les agents microbiologiques peuvent agir sur l'homme selon deux modes, soit en entraînant une infection : dans ce cadre on peut retrouver des tableaux cliniques infectieux classiques (*Aspergillose*, *Leptospirose*, tuberculose, hépatite...) soit en induisant des réactions allergiques et/ou inflammatoires. Ces derniers mettent en jeu des mécanismes d'action complexes qui peuvent être isolés ou associés ; certains sont bien connus, d'autres sont encore l'objet de recherche.

(1) Pathologies respiratoires de type inflammatoire

Ce sont les broncho-pneumopathies chroniques obstructives (BPCO) et les fièvres d'inhalation comme le syndrome toxique des poussières organiques (ou Organic Dust Toxic Syndrom-ODTS).

(a) Broncho-pneumopathies chroniques obstructives

Sous le terme BPCO on regroupe la bronchite et l'emphysème, caractérisés par l'existence d'un trouble ventilatoire obstructif permanent.

(b) Le choc toxique par surcharge en particules organiques (Organic Dust Toxic Syndrom ou ODTs)

Cette pathologie regroupe tous les cas de mycotoxicoses pulmonaires, allant du poumon du fermier avec précipitines négatives, aux fièvres d'inhalation, en passant par les fièvres des travailleurs du textile. L'ODTS est observé dans un délai de 4 à 6 heures, après une exposition très importante à des poussières organiques (< 5µm). La présence d'endotoxines, ainsi que celle de champignons tels que *Aspergillus* semble largement associée à cette pathologie. Il s'agit d'un mécanisme non-allergique lié aux propriétés pro-inflammatoires des toxines. Il s'observe surtout chez le personnel nouvellement embauché ou à la reprise du travail, après un congé par exemple. L'évolution est habituellement bénigne même si les récurrences sont fréquentes.

(2) La symptomatologie chronique liée aux endotoxines

Une exposition répétée aux endotoxines peut entraîner une fatigue inexplicable, des symptômes digestifs (nausée, vomissements, diarrhée...), et des maux de tête. Ces symptômes disparaissent au bout de 24 heures.

Les endotoxines sont impliquées dans d'autres pathologies. Ainsi, les endotoxines «environnementales» présentes dans les poussières pourraient exacerber les réactions inflammatoires de l'asthme.

(3) Pathologies respiratoires d'origine allergique

L'allergie est définie comme la capacité d'un individu à réagir de manière exacerbée à chaque nouveau contact avec un antigène.

(a) La pneumonie d'hypersensibilité (ou alvéolite allergique extrinsèque)

C'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. Elle est essentiellement liée à l'inhalation chronique d'*Actinomyces thermophiles*, et de champignons *Mycromycètes (Aspergillus, Penicillium...)*, mais d'autres microorganismes peuvent être en cause.

Les formes de pneumopathies d'hypersensibilité peuvent être aiguës, subaiguës. Elles se traduisent alors par un tableau pseudo-grippal évoluant plus ou moins brutalement vers une insuffisance respiratoire. Dans ces deux cas, les troubles disparaissent en général si l'exposition cesse. A chaque nouvelle exposition, de plus en plus faible, les symptômes peuvent réapparaître et évoluer vers une atteinte pulmonaire irréversible.

La forme chronique surviendrait surtout chez les sujets continuellement exposés à de petites quantités de façon régulière. Dans un pourcentage non négligeable de cas, elle évolue progressivement en associant de la toux, et une dyspnée sans épisodes aigus ou subaigus.

(b) Les asthmes professionnels

Ils sont définis comme des asthmes induits de façon spécifique par l'exposition répétée à des agents présents dans le milieu professionnel. Plus de 400 agents différents ont été rapportés comme cause possible de l'asthme professionnel et de nouvelles étiologies ne cessent d'apparaître. Les moisissures et les champignons sont les principaux agents microbiologiques incriminés.

(4) Pathologies liées aux mycotoxines

Elles sont dues aux mycotoxines, issues du métabolisme secondaire des moisissures ayant un effet toxique chez l'homme. Les mycotoxines aéroportées sont solubles dans l'eau pulmonaire des alvéoles et passent dans la circulation. Leur action est non infectieuse et non contagieuse, avec des troubles généraux et plus ou moins spécifiques des organes.

I.III Caractérisation de la filière Déchets Ménagers :

(1) La collecte

La collecte est le maillon de la chaîne d'élimination des déchets qui a fait l'objet du plus grand nombre d'études, en matière d'analyse du risque microbiologique chez les salariés.

Les niveaux d'exposition aux particules totales ($< 100\mu\text{m}$) sont dans l'ensemble faible (inférieur à $1\text{ mg}/\text{m}^3$) ce qui est très inférieur à la VME actuellement préconisée ($10\text{ mg}/\text{m}^3$), excepté pour une étude en Allemagne (niveaux proches de $10\text{ mg}/\text{m}^3$).

Les niveaux observés pour les **champignons** sont **systématiquement supérieurs** à $10^3\text{ ufc}/\text{m}^3$. Plusieurs auteurs signalent la présence de *Aspergillus fumigatus* en quantité importante, notamment quand il s'agit de déchets verts.

Les niveaux en bactéries totales sont souvent moindres, mais des pics de pollution très importants ont été mesurés dans certains cas particuliers ($10^6\text{ ufc}/\text{m}^3$), les bactéries gram (-) sont régulièrement présentes à des niveaux très variables.

Si les niveaux mesurés en endotoxines sont en moyenne assez faibles, quelques circonstances de collecte (collecte de déchets verts) sont associées à des niveaux très importants, dépassant parfois très largement les valeurs guides proposées.

Les ripeurs sont plus exposés que leurs compagnons, car ils sont les plus au contact des déchets. Les collectes d'été ou d'automne sont plus à risque que celles d'hiver (il s'agit d'études faites dans les pays du Nord de l'Europe).

Tous les types de déchets sont susceptibles d'être à l'origine d'une exposition des ripeurs, tant le déchet brut, que la fraction compostable, mais aussi la collecte de déchets verts ou celle de papier (dans une moindre mesure toutefois pour cette dernière) ; la part dite «recyclable» des ordures est associée à des taux moindres.

Le matériel, ainsi que la fréquence de la collecte paraît être un facteur déterminant sur les niveaux d'endotoxines. Le type d'habitat joue également un rôle, dans la mesure où il influe sur la qualité des déchets, mais aussi peut-être sur la fréquence de ramassage de ceux-ci.

Certains paramètres influencent le développement des champignons : le nettoyage des conteneurs avec du vinaigre dilué après chaque vidange, le stockage à l'ombre des conteneurs, l'emballage des déchets organiques dans du papier journal, sont des éléments qui diminuent la charge des déchets en spores de champignons. Les conteneurs fermés favoriseraient le développement des microorganismes, ce qui n'est pas le cas de conteneurs «aérés».

Les salariés de la collecte de déchets présentent significativement plus de troubles respiratoires allergiques, de troubles cutanés, de pathologies infectieuses ou digestives que les salariés d'autres branches ; les troubles digestifs (nausées, diarrhées) sont particulièrement observés chez les ripeurs alors que les conducteurs ne présentent pas plus de troubles que la population témoin ; les troubles digestifs sont les plus fréquents au cours de l'été, au retour des week-ends et des vacances ; de même les salariés ramassant des déchets ménagers bruts ou la part organique de ces déchets présentent plus de symptômes

que des salariés collectant des déchets spécifiques autres. Il est toutefois difficile de mettre en relation les petites perturbations mesurées par des tests paracliniques avec les expositions des salariés (peu de perturbation significative des paramètres de l'exploration fonctionnelle respiratoire, augmentation inconstante des anticorps spécifiques...). Dans le cas clinique d'une bronchite allergique extrinsèque, les niveaux mesurés au poste de travail et la présence de titres très élevés d'anticorps spécifiques à *A. Fumigatus* ont fait attribuer cette pathologie à la présence de ce champignon.

(2) Le tri

Les études publiées à ce jour concernent essentiellement des centres de tri Danois ; si certaines montrent des niveaux d'exposition aux microorganismes en général moins élevés que dans la collecte (ce qui n'est pas le cas d'une étude finlandaise qui a mesuré des niveaux, notamment de bactéries gram (-), très élevés), plusieurs éléments doivent être soulignés :

- Le taux d'empoussiérage n'est pas négligeable, notamment lors du tri de papiers secs.
- Les niveaux d'endotoxines sont en moyenne, de l'ordre du ng/m^3 : mais cette valeur cache des niveaux en réalité très variables. Presque toutes les études ont relevé des niveaux supérieurs aux valeurs guides proposées.
- Les niveaux d'exposition les plus élevés sont mesurés lors du tri d'ordures brutes, mais même le tri du papier peut exposer les salariés à des agents microbiologiques, en particulier si ceux-ci sont souillés.
- Le poste du trieur, qui semble être le plus exposé, ne doit pas occulter la réalité d'une exposition des autres personnels (presse à balles).

Peu d'études ont investigué l'état de santé des salariés de cette étape de la filière :

- un excès significatif de symptômes digestifs (à rapprocher de certains niveaux élevés d'endotoxine) et de signes d'irritation cutanée et muqueuse, chez les ouvriers du tri du papier, et non pour ceux chargés du tri du verre. Les effets respiratoires signalés ne sont pas très documentés. Les effectifs sont dans l'ensemble faibles, ce qui est assez habituel particulièrement dans cette activité, et ne permettent pas l'étude de relation dose-effet. Enfin, plusieurs de ces études sont déjà assez anciennes.

(3) Le compostage

L'étude du risque microbiologique aéroporté relatif au compostage des déchets municipaux solides est encore restreinte. Elle concerne presque exclusivement les travailleurs des sites de compostage. Quelques cas isolés de particuliers ont cependant été décrits dans la littérature. Il s'agit de contaminations à *Aspergillus* pour 4 cas et à thermo-actinomycètes pour 1 cas. Ces agents biologiques ont été associés à des broncho-alvéolites allergiques extrinsèques (BAAE), des aspergilloses broncho-pulmonaires et pulmonaires invasives et des pneumopathies d'hypersensibilité. Mais il est difficile d'établir un lien de causalité entre ces bio-aérosols et les symptômes décrits. En effet l'agent causal n'est pas systématiquement recherché, à la fois dans les prélèvements biologiques et dans l'environnement et les autres sources d'émissions possibles de bio-aérosols ne sont pas répertoriées. De plus, certains individus présentent des pathologies sous-jacentes ou des faiblesses du système immunitaire qui font que ces cas ne sont pas représentatifs de la population générale.

Les principales études épidémiologiques ont été réalisées en milieu professionnel. Les plaintes rapportées par les travailleurs peuvent être regroupées de la façon suivante :

- Troubles respiratoires et infections de la sphère ORL pour des concentrations en bio-aérosols suivants : bactéries totales $> 28.10^3 \text{ ufc/m}^3$; bactéries Gram - = $3,6 - 9.10^3 \text{ ufc/m}^3$, champignons =

5,8 - 9.10³ ufc/m⁻³. Des irritations ORL (gorge sèche), respiratoires (toux sèche) survenant 4-12 heures après la prise du poste ont été rapportées.

- Irritations oculaires,
- Troubles digestifs, nausées, vomissements, diarrhées pour des concentrations en bactéries Gram - de 3.10⁻⁴ à 5.10⁻⁵ ufcm⁻³.
- Maux de tête,
- Réactions allergiques/inflammatoires.

Ces études épidémiologiques concernent souvent un petit nombre de travailleurs et la nature de l'exposition est parfois mal documentée. Les effets observés ne peuvent donc pas être significativement corrélés avec les bio-aérosols analysés.

Certains auteurs ont avancé l'absence d'effets sanitaires en lien avec l'exposition aux bio-aérosols des sites de compostage. C'est le cas par exemple de l'étude réalisée par le département sanitaire de l'Etat de New-York et d'une étude longitudinale qui tendent à démontrer l'absence de relation entre les taux de spores d'*Aspergillus fumigatus* (100 spores/m³) et l'incidence des symptômes allergiques ou de l'asthme. Il n'a pas non plus été constaté d'augmentation des symptômes respiratoires ; les épisodes d'asthme, de bronchite et de difficulté respiratoire sont restés peu nombreux. Ces études sont restreintes à *A. fumigatus* ce qui ne permet pas de généraliser l'absence d'impact sanitaire au vaste groupe des bio-aérosols.

Trois autres études méritent une attention particulière par les informations qu'elles fournissent. La première permet de connaître les concentrations en poussières, bactéries totales, bactéries gram négatif, endotoxines et moisissures retrouvées sur le site de compostage en même temps que l'étude des effets sanitaires. Les atteintes sanitaires ne sont pas significatives pour les travailleurs du site de compostage, certainement en raison du trop faible nombre d'individus. L'intérêt de cette étude se restreint donc ici à disposer d'un exemple des concentrations en bio-aérosols qui peuvent être retrouvées sur un site de compostage.

La seconde montre l'association significative sur un site de traitement des déchets entre les pathologies diagnostiquées (infections respiratoires, maladie de la peau) et l'augmentation du titre des anticorps correspondants. Mais il n'a pas été réalisé d'analyse environnementale correspondante.

Seule la troisième présente à la fois des analyses biologiques et des effets sanitaires pour un même site. Les auteurs en concluent que l'exposition aux bio-aérosols est associée à l'augmentation de l'inflammation des voies aériennes supérieures pendant le temps de travail.

Au total, les données sur les risques microbiologiques liés au compostage des déchets sont encore très parcellaires. Les études les plus récentes et les plus complètes tendraient à montrer que, si risque il y a, il porterait sur une augmentation de l'inflammation des voies aériennes supérieures et une augmentation du risque allergique.

(4) L'incinération

Les études dans le milieu de travail des UIOM sont encore moins nombreuses. En particulier, la pollution d'ordre microbiologique a été peu étudiée, compte-tenu de la prééminence, a priori, d'une exposition de type chimique.

La pollution particulaire est réelle ; elle paraît être essentiellement une pollution associant des particules de grande taille, mais aussi dans certains cas des particules alvéolaires. Les champignons sont en quantité importante ; dans une étude française, cette flore est exclusivement représentée par des espèces ayant

un fort pouvoir allergène. Tous les postes de travail sont concernés : si les niveaux les plus élevés ont été mesurés au niveau des halls de déchargement et près de la fosse, les salles de contrôle ne sont pas à l'abri d'une contamination. Les bactéries sont en quantité, semble t'il moins importante que dans les autres étapes de la filière ; toutefois, les bactéries gram (-) sont toujours présentes, parfois à des niveaux plus élevés que les valeurs guides proposées dans la littérature. Les autres investigations (en particulier, mesure des endotoxines) sont peu réalisées.

Devant ces données très peu abondantes, il est difficile de caractériser la pollution due aux agents microbiologiques aux différents postes de travail dans ces installations.

En matière de retentissement sur la santé, aucune étude ne fait de parallèle entre la pollution microbiologique et les symptômes ou signes cliniques présentés par les salariés de ces installations. Les quelques études cliniques ou épidémiologiques disponibles font état des mêmes troubles symptomatiques respiratoires ou de signes d'irritation cutanée chez les salariés de ces installations et chez les salariés des autres étapes de la filière ; par contre, la symptomatologie digestive n'est pas retrouvée. En raison de la présence d'une pollution mixte aux microorganismes et à certains composés chimiques, il est difficile de faire la part de la responsabilité respective de la pollution chimique et de la pollution microbiologique.

(5) Les centres de stockage et plate-forme de transfert

Il existe également pour ce type d'activité extrêmement peu de données, tant de métrologie microbiologique que d'études cliniques ou épidémiologiques chez les salariés.

Les stations de transfert semblent être des lieux très fortement contaminés, des niveaux de 10^5 ufc/m³ en moyenne ayant été observés, tant en ce qui concerne les champignons que les bactéries.

Pour ce qui est des décharges d'OM, des pics d'exposition supérieurs à 10^3 ufc/m³ ont été observés par tous les auteurs. La flore fongique observée est souvent polymorphe, mais des pics d'*A.Fumigatus* > 10^3 ufc/m³ ont été signalés dans plusieurs études, les autres champignons présents (*Penicillium*, *Cladosporium*...) étant également des champignons allergisants. Il a été mesuré à quelques reprises des niveaux d'endotoxines supérieurs aux valeurs guides proposées.

Les symptômes observés chez les salariés paraissent également être du même ordre que ce qui est décrit dans les autres étapes du traitement des OM ; malheureusement, les effectifs insuffisants et le petit nombre d'études ne permettent aucune conclusion à ce sujet. Aucun cas clinique de pathologie respiratoire aiguë n'a été publié à notre connaissance, dans cette activité et la relation entre exposition aux microorganismes et les troubles respiratoires observés n'est pas à ce jour établie en raison de l'absence d'investigation spécifique dans ce sens.

D - Agents biologiques et déchets d'activités de soin (DAS)

«Les déchets d'activités de soins correspondent aux matériaux abandonnés (et non traités) issus d'activités humaines ou animales, qui ont le potentiel de transmettre des agents infectieux aux hommes. Cela inclut le matériel issu de diagnostics, de traitement ou de prévention de la maladie, d'évaluation du statut de santé ou d'identification, qui aurait été en contact avec du sang et ses dérivés, des tissus, des tissus mous ou des excréments ou des déchets provenant de salles d'hôpital infectieuses» (définition établie par l'OMS, 2001).

Les niveaux en microorganismes sont du même ordre, voire moindre que dans les déchets ménagers, du fait de l'utilisation massive de désinfectant. Cependant, la présence d'agents pathogènes est plus

fréquente. Plusieurs jours après le dépôt de déchets hospitaliers ou de laboratoires, il est possible de retrouver des virus de l'hépatite B, contenus dans du sang coagulé dans une seringue ou une carapule dentaire. 2 % des déchets contenant des déchets souillés par du sang (déchets ménagers ou déchets de soins) étaient contaminés par le virus HBV. Le virus HIV est moins résistant et persiste moins longtemps dans les déchets. Les risques microbiologiques dans la chaîne d'élimination des déchets de soin paraissent concerner essentiellement les professions situées dans les premiers stades de la collecte, en particulier les salariés au sein de structures de soin, mais aussi les salariés de la collecte hors établissement hospitalier. En France, parmi les 13 cas de séroconversions professionnelles prouvées et les 31 infections présumées par le VIH, 3 sont liées à la manipulation de déchets (1 chauffeur transportant des déchets de soins, un éboueur, et une infirmière manipulant un sac de déchets). Parmi les 43 séroconversions pour l'hépatite C, deux concernent des agents de service et sont liées à la manipulation de poubelles en services hospitaliers. En ce qui concerne les salariés des centres d'élimination eux-mêmes, les données sont inexistantes : en particulier, les salariés des centres pratiquant la banalisation des déchets de soin n'ont fait l'objet d'aucune surveillance systématique et publiée à ce jour. Il semble, qu'en aval du banaliseuse, les déchets soient tout à fait stérilisés ; mais il est toujours possible que les halls de traitement soient contaminés par les déchets arrivant en amont. Enfin, les salariés chargés de l'entretien pouvant, à tout moment lors des incidents, intervenir dans la machine (broyeur) en amont de l'appareil de décontamination, le risque est possible, mais non documenté à ce jour.

- **Déchets assimilables à des déchets de soins**

Il peut paraître abusif d'introduire dans ce chapitre les risques liés au dépôt sauvage (ou dans des ordures ménagères) de déchets notamment des seringues usagées. Cependant, en raison du risque que cette pratique peut faire courir, et du type de pathologies ainsi générées ; nous rappellerons les professions à risque que sont les professions de service, notamment les personnels des collectivités locales. En effet, ces professions sont susceptibles lors de leurs tâches professionnelles d'être confrontées à des accidents de piqûre liés à des seringues déposées un peu n'importe où. Les professions les plus à risque sont les pompiers, les agents de voirie, les jardiniers, les égoutiers, les gardiens d'immeuble... Dans ces cas là, l'accident est fréquemment avéré. Une enquête auprès de médecins de collectivités locales a montré que 276 accidents par piqûres par seringues abandonnées (20 % : pompiers ; 40 % : agents de voirie) avaient été enregistrés chez les 144 000 salariés qu'ils suivaient : dans 5 cas (2 pompiers, 2 agents de voirie, 1 gardien d'immeuble), l'accident a été suivi d'une hépatite virale B, prise en charge dans le cadre de la législation des maladies professionnelles.

I.IV Agents biologiques et stations d'épuration

Les traitements usuels appliqués aux boues de station d'épuration (STEP) permettent un abattement important mais non total de la charge microbiologique. Ces boues contiennent des concentrations plus ou moins importantes de diverses catégories de microorganismes : bactéries, virus, parasites (protozoaires et helminthes) présents sous une forme directement infectieuse pour l'homme comme les bactéries (*Salmonella*, *Campylobacter*, *Yersinia*,...) ; ou les virus ; ou sous une forme de résistance (spores de bactéries, kystes ou œufs pour les parasites) qui va chez l'homme se transformer en agent pathogène. Les quantités de microorganismes trouvées dans la littérature sont extrêmement dépendantes de nombreux

facteurs comme l'état sanitaire de la population, la présence d'abattoirs, les techniques d'analyse, le type de boues...

Plusieurs études montrent l'existence de niveaux importants d'endotoxines dans les zones de manutention ou de séchage des boues. Par ailleurs, les circonstances d'apparition de certains troubles évoquent effectivement la présence d'une contamination aérienne excessive.

Nous renverrons le lecteur à une excellente revue bibliographique (Thorn 2001) sur les risques sanitaires des employés de station d'épuration des eaux usées, en conclusion de laquelle l'auteur insiste sur le très probable lien qui doit exister entre les symptômes présentés par les salariés (symptômes respiratoires et digestifs, fatigue, maux de tête) et les taux très élevés d'endotoxine qui ont été mesurés dans cette activité.

E - Caractérisation du risque microbiologie dans les filières "déchets industriels".

Les pathologies professionnelles dues à des microorganismes ont été mises en évidence dans deux secteurs (l'industrie textile du coton, du lin, du chanvre et l'agriculture, l'élevage d'animaux...) dans lesquels des tableaux cliniques ont été décrits sous plusieurs dénominations (byssinose, maladies - du poumon de fermier, - des éleveurs d'oiseaux ...) depuis de très nombreuses années. C'est souvent à partir des mesures des expositions et de l'observation des effets dans ces industries que les auteurs ont proposé les valeurs guides proposées.

Il existe extrêmement peu d'études concernant le risque microbiologique lié aux déchets des industries. L'industrie de l'agro-alimentaire est la seule pour lequel quelques informations existent, notamment en relation avec le problème de l'Encéphalopathie Spongiforme Bovine (ESB).

I.IV.1. Industrie agro-alimentaire

➤ Déchets de l'industrie agro-alimentaire

Habituellement, les déchets les plus fréquemment produits par le secteur agro-alimentaire sont les restes organiques, les boues d'épuration, les emballages et les conditionnements, le verre, le carton, le bois, les boîtes et sacs à matières premières. Les risques éventuels de transmission d'agents biologiques rejoignent donc ceux liés aux ordures ménagères, en particulier pour les restes organiques, et ceux des boues de station d'épuration. A notre connaissance, aucune étude spécifique aux salariés ayant en charge les déchets de l'industrie alimentaire n'a été menée, ceux-ci étant assimilés aux collecteurs d'OM.

Toutefois, signalons la possibilité de l'existence d'un risque associé à la colonisation des déchets agro-alimentaires par des rongeurs, si les déchets ne sont pas stockés dans des locaux adéquats et éliminés de façon rapide (déchets de restauration) : toutefois, il s'agit d'un risque non documenté.

➤ Déchets d'abattoirs

En abattoir, les risques biologiques sont liés à la présence des animaux vivants et des carcasses. Certaines maladies animales (appelées zoonoses) sont transmissibles à l'homme.

Depuis juin 2000, il est interdit d'introduire des animaux malades dans les abattoirs. Ces animaux sont euthanasiés à la ferme et envoyés directement vers l'équarrissage. Cependant, des animaux peuvent être porteurs de germes sans présenter de symptômes visibles. Certains de ces germes peuvent être alors à l'origine de maladies transmissibles à l'homme.

Du point de vue du risque infectieux, le contact avec les tissus des animaux morts est plus dangereux que le contact avec la peau et même les muqueuses des animaux vivants : les cuirs, cornes, sabots, soies présentent un danger limité

car les bactéries ne pouvant pas s'y multiplier, leur concentration dans ces tissus est faible ; les urines sont pratiquement inoffensives ; le lait peut être infecté (brucellose, fièvre Q) ; le sang est en général stérile, sauf quelques cas de bactériémie transitoire, à des niveaux en général faibles ; l'appareil reproducteur (placenta, fœtus, eaux fœtales) représente les parties les plus dangereuses, car on peut avoir une concentration importante de bactéries dans ces tissus ; de même, les viscères digestifs et les excréments où se concentrent bon nombre de bactéries.

Il existe très peu de données dans la littérature concernant d'éventuels risques liés aux déchets des abattoirs. Une étude épidémiologique a été menée à Briançon, suite à l'apparition de nombreux cas de fièvre Q dans la population générale. Il a montré que la cause de contamination et de dissémination de la rickettsie responsable se trouvait dans les déchets des animaux abattus et entreposés dans une grande fosse ouverte. La majorité des microorganismes pathogènes présents dans les déchets d'animaux représentent cependant un risque négligeable pour la santé humaine à l'exception des Salmonelles et des souches cytotoxiques d'*Escherichia coli*.

Concernant le cas particulier des farines animales, depuis l'arrêté du 14 novembre 2000, toutes les farines de viande et d'os (FVO) sont interdites dans l'alimentation des animaux dont la chair ou les produits sont destinés à la consommation humaine. Ces farines doivent être détruites par incinération. Les capacités d'incinération actuelles ne permettant pas de traiter la totalité des farines produites, les farines issues de matériaux à haut risque sont incinérées en priorité, les farines à bas risque sont stockées provisoirement. Différents secteurs professionnels peuvent ainsi être concernés par les FVO : centres d'équarrissage, centres de stockage, cimenteries, usines d'incinération d'ordures ménagères, entreprises de transports... L'INRS vient de terminer une première évaluation des risques professionnels liés à la fabrication et à la destruction des farines de viande et d'os (FVO). On distingue deux types de FVO :

- les FVO provenant de la transformation en centre d'équarrissage des matériaux à haut risque (MRS, saisies et cadavres d'animaux) destinées, depuis 1996, à être détruites par incinération en centre d'incinération agréé,
- les FVO provenant de la transformation de matériaux à bas risque (déchets d'animaux reconnus propres à la consommation) qui, jusqu'à l'arrêté du 14 novembre 2000, étaient destinées à être incorporées dans des aliments pour des animaux, après avoir été soumises au traitement "133-20-3", c'est à dire chauffage à 133°C pendant au moins 20 minutes en continu et à une pression de 3 bars.

Après l'étude du dossier et la visite de deux centres d'équarrissage et des cimenteries incinérant leurs farines, les services de l'INRS ont noté que les processus d'approvisionnement des centres d'équarrissage sont susceptibles d'introduire des tissus animaux contenant des prions dans la chaîne de transformation en farines animales. Dans ces conditions, il n'est pas possible d'affirmer l'innocuité des FVO vis à vis du risque de transmission de l'agent de l'ESB lors d'activités professionnelles liées à leur fabrication, leur transport, leur stockage, leur destruction ou toute autre activité liée aux FVO.

Les farines doivent être transportées dans des camions fermés pour éviter la dissémination de poussières. La réglementation les assimile à des déchets ménagers. Les camions peuvent ne pas être réservés aux transports des farines. Ils sont alors nettoyés avant un nouveau chargement. Les procédés de nettoyage utilisés peuvent entraîner l'exposition des personnels effectuant ce nettoyage à des aérosols chargés en poussières de FVO. Les eaux de nettoyage sont évacuées en principe, dans le réseau de collecte des eaux usées local. Ainsi, des personnels peuvent être exposés aux farines animales depuis leur production au centre d'équarrissage jusqu'à l'incinération dans la flamme du brûleur. Cela demande à être documentée.

I.IV.2. Autres industries spécifiques

Nous avons trouvé des éléments concernant la possibilité d'observer des pathologies en relation avec des microorganismes chez les salariés dans seulement trois autres industries, que nous avons retenues en raison de leur capacité à produire des déchets contaminés par des microorganismes. Il s'agit :

➤ de la métallurgie

Les salariés exposés aux aérosols des fluides dans la métallurgie présentent des symptômes respiratoires similaires à ceux décrits plus haut. Les fluides sont utilisés comme refroidissants ou lubrifiants. Des bactéries Gram (-) sont systématiquement retrouvés dans ces fluides. Des niveaux d'endotoxines allant de 0,04 à 600 ng/m³ dans l'air de divers ateliers et de 0,07 à 58,46 EU (Bactéries totales : 4-8.10³ ufc/m³). Une symptomatologie associant toux et irritation des voies aériennes supérieures était observée en excès, la prévalence de l'asthme était importante. Dans une entreprise, 79,6 % (39 salariés) présentaient des symptômes de maladies pulmonaires. Seize patients souffraient de pneumonies d'hypersensibilité. Les niveaux de bactéries allaient de 10⁵ à 10⁸ ufc/ml dans les carters à huiles, et de 354 à 2048 ufc/m³ dans l'ambiance des machines. Quant aux endotoxines, les niveaux variaient de 7187 à 199 218 EU/ml dans les carters à huiles, et de 1,3 à 58,1 EU/m³ dans l'air. Nous avons particulièrement développé ce paragraphe car **l'activité de recyclage des huiles est une activité importante dans la filière de traitement des déchets**. Les salariés de cette filière se retrouvent donc confrontés à des huiles et fluides fortement contaminés, c'est pourquoi nous les avons évoqués plus largement. A notre connaissance, il n'existe aucune étude traitant du problème, et il serait certainement utile d'explorer cet aspect du risque.

➤ De la fabrication de la pâte à papier et de l'industrie des laines minérales

Les effluents des usines de pâte à papier sont très riches en microorganismes ; des aérosols peuvent être produits lors de certaines étapes du traitement. Il existe aussi une étape dans la fabrication des laines minérales pendant laquelle les fibres de laine minérale passent dans un brouillard d'eau pour refroidissement. Suite à des tableaux pulmonaires vus chez des salariés de cette usine, des niveaux élevés de microorganismes ont été mesurés dans les eaux. Au même titre que les autres salariés du traitement des eaux usées, les salariés traitant les eaux usées de ces industries doivent faire l'objet d'une attention particulière.

Conclusions

• Ce qu'il faut retenir

Les données de la littérature sont quantitativement très inégales entre les filières du traitement des déchets elles-mêmes. La filière OM et celle du traitement des eaux sont assez étudiées (mais inégalement réparties entre les diverses activités et réalisées dans des pays pour la plupart du Nord de l'Europe. Quelle est l'ampleur des conditions météorologiques sur ces problèmes ?) ; la filière «déchets de soins» a fait l'objet de quelques publications, celle des déchets industriels pratiquement aucune. Les méthodes d'analyse utilisées sont diverses et il est donc difficile de comparer les niveaux d'exposition entre eux.

Les études d'effets cliniques concernent de petits effectifs de salariés et suivant des méthodologies transversales qui sont certainement grevées par le biais du «travailleur sain» ce qui peut expliquer les difficultés à mettre en évidence des relations cause-effet et surtout dose-effet.

D'une façon générale, l'OMS considère que la filière de traitement des déchets municipaux est susceptible d'exposer les salariés de cette filière à un risque :

* de pathologies infectieuses 6 fois plus important que la population générale

- * de pathologie pulmonaire allergique 2,6 fois plus important,
- * de bronchites chroniques 2,5 fois plus important
- * d'hépatite 1,2 fois plus important.

Ces risques sanitaires plus importants sont associés à des niveaux de bioaérosols dans l'air

- * de 2 à 4 fois supérieurs dans une ambiance de décharge d'OM par rapport à une ambiance générale
- * de 2 à 10 fois supérieurs dans une usine de tri de déchets par rapport à une ambiance générale.

Il est indiscutable que les tableaux aigus les plus importants, qui aient été publiés à ce jour, concernent l'activité de compostage ou l'activité de collecte de déchets verts. Mais il a été également décrit ces mêmes accidents dans l'activité de tri.

Ces tableaux représentent tous les types de pathologie respiratoire aiguë décrits plus haut : Bronchoalvéolite allergique extrinsèque, Aspergillose pulmonaire, Syndrome ODTS, Pneumopathie d'hypersensibilité. Ils ont pratiquement tous mis en cause la présence d'*Aspergillus fumigatus* en excès dans l'environnement de travail.

En matière de pathologie chronique tous les stades de la filière de traitement des OM ont donné lieu à des plaintes respiratoires. Les questions qui se posent alors concernent la signification de ces tableaux symptomatiques : s'agit-il de phénomènes temporaires sans risque d'aggravation ? ou bien des premiers signes d'une situation de sensibilisation qui se traduira inéluctablement par une aggravation, et des réactions pour des expositions de plus en plus faibles ? ...

Le problème des signes cutanés observés également assez régulièrement dans la filière est-il du domaine de la sensibilisation à des allergènes suivant un processus superposable aux mécanismes pulmonaires ?

Enfin, le problème de symptomatologie digestive plus souvent retrouvé dans l'activité de collecte et celle de traitement des eaux paraît clairement lié à une exposition aux endotoxines présentes en quantité relativement importantes dans ces activités.

Dans le domaine des activités de traitement des déchets de soin, il faut absolument prendre en compte le risque infectieux, qui est très réel. Les actions de prévention (organisation des circuits, matériels, stérilisation) ont montré dans ce domaine leur efficacité. Mais la réalité du terrain montre que ces actions sont sans cesse à réexpliquer et à contrôler car les dérives se mettent très facilement en place.

Enfin, il ne faut pas perdre de vue la possibilité de recontamination des déchets sur les lieux où les déchets sont stockés plusieurs jours et qui peuvent attirer (voire se multiplier) des animaux, eux-mêmes porteurs de germes qui recolonisent alors ces déchets.

Les champignons représentent les agents microbiologiques les plus présents et en plus grand nombre dans toutes les activités. **Toutes les activités de la filière OM** ont des niveaux en champignons qui dépassent souvent très largement la valeur guide pour les champignons de 1000 ufc/m³. Le compostage est l'activité qui est susceptible de générer les niveaux en microorganismes les plus importants (les médianes sont les plus élevées de toute l'activité OM).

Au-delà de 1000 ufc/m³, rappelons que des troubles de santé sont quasiment obligatoirement observables dans une population exposée, d'autant que dans toutes les études pour lesquelles l'information

qualitative est disponible, les champignons mis en évidence sont toujours des espèces ayant un potentiel allergisant très important.

En matière de **bactéries**, les variations sont plus importantes d'une situation à l'autre. Le **compostage** et les **stations de transfert** constituent certainement les activités les plus concernées par des niveaux de bactéries totales importants. La collecte est très contrastée avec semble t'il deux types de collecte plus dangereuses : la collecte d'OM brutes et celle de déchets verts (rappelons les variations importantes liés à des conditions très variables dans les matériels, les saisons expertisées, les pays (aucune étude dans les pays d'Europe plus méridionaux).

En ce qui concerne le tri, il faut sans doute noter la situation plus favorable que représente le tri de déchets papiers secs et propres. Toutefois, si l'on observe l'aspect qualitatif des aérosols microbiologiques alors que les niveaux en bactéries totales sont à la limite de la valeur guide (10000 ufc/m³), il existe une proportion très importante de bactéries gram (-) dépassant la valeur de 1000 ufc/m³ (**tri**, centres de stockage, **compostage**, certaines collectes). Ces données sont très cohérentes avec les données recueillies sur les taux d'endotoxine : nous insisterons particulièrement sur les situations de contact avec des Ordures ménagères brutes. **L'activité d'épuration des eaux usées** est également à considérer comme très exposante aux bactéries et aux endotoxines.

Il est très difficile de situer les autres activités dans la mesure où les risques ne sont pas du même ordre (déchets médicaux) et où les données sont quasi inexistantes (déchets industriels).

- **Les domaines à approfondir**

Des insuffisances de connaissance ont donc été mises en évidence à travers cette étude et pointent les domaines pour lesquelles une information complémentaire est à acquérir :

Filière des déchets ménagers :

- D'une façon générale, les niveaux (et donc les risques pour la santé) ne sont-ils pas plus importants dans les pays plus tempérés que sont la France ou les pays méditerranéens, sans parler des pays chauds ? Ceci nécessite une investigation approfondie de toutes les activités OM dans ces autres conditions de climats.
- Certaines activités sont insuffisamment étudiées : il s'agit des incinérateurs, des centres de stockage et des plates-formes de transfert.

Filière des déchets de soin : Si les installations de banalisation des déchets médicaux paraissent bien suivi du point de vue des résultats du traitement sur le contenu microbiologique des déchets, il paraît nécessaire de réaliser une expertise des risques microbiologiques pour les salariés notamment pour ceux qui interviennent lors d'incidents dans le processus avant que le traitement ne soit réalisé en totalité.

Par ailleurs, il serait bon d'évaluer également les risques pour les salariés qui manipulent les bacs (quel que soit le procédé de traitement) et qui peuvent être amenés à ramasser des déchets médicaux qui se sont répandus lors d'un renversement de bacs.

Filières de déchets industriels : il s'agit de la grande inconnue ; Une expertise systématique devrait être mise en place pour les postes de travail au contact avec des déchets ou des effluents (riches en matière organique) potentiellement contaminés par des microorganismes que ce soient pour traitement d'élimination ou recyclage :

Filières de traitement des eaux :

Il s'agit d'une filière assez bien étudiée ; pour laquelle on peut penser être dans le domaine de la surveillance régulière plus que de l'expertise initiale.

Les pathologies associées aux microorganismes peuvent être non spécifiques et être le résultat d'une agression par un agent chimique. Par ailleurs, il pourrait y avoir des synergies entre les agents microbiologiques et les agents chimiques présents dans ces ambiances de travail. Dans ce contexte, il est nécessaire de se demander si le seul inventaire des risques microbiologiques est suffisant, et si même dans des ambiances de traitement d'OM il n'est pas souhaitable de faire systématiquement une expertise microbiologique et chimique.

Health hazards related to industrial activity have been under investigation over the last few years, in particular, the risks to populations living in the neighborhood of industrial sites presenting a potential environmental pollution hazard. Human health protection at work is governed by laws and regulations and by numerous other texts which precisely define, the rights, obligations and functions of employers, workers and health inspectors such as company doctors.

The notion of evaluation of health hazard for the general population has recently been extended to the working population. Article R.230-1 of the work code established by the Decree N° 2001-1016 November 5th 2001 which obliges the employer to evaluate the possible hazards to employees accordingly.

"Waste treatment processes" have been "neglected" for a long time as they are not very technical and only operate as small facilities, which made monitoring of potential hazards problematic. Technological progress and an increase in the tonnage treated (and thereby increased pollutant emission), the merging of certain companies associated to several mediatized pollution scandals have stimulated the public conscience into considering the necessity for developing health monitoring programs concerning waste treatment processes.

The microbiological hazard, after having been considered as "the" important issue in the XIXth century has been forgotten. It has recently become an important issue due to the appearance of AIDS (hazards associated to waste contamination via blood) and by prion (contamination of fodder of animal origin which has since been considered as waste and to be disposed of satisfactorily for public hygiene considerations). Furthermore, several studies have shown that employees involved in household waste disposal processes were exposed to non negligible microbiological agents which could possibly contribute to the appearance of health problems, difficult to evaluate, such as allergies. Nowadays, allergies represent a non negligible problem in public health.

The question of microbiological agents is quite complex, and knowledge is fragmentary and rather general. It therefore appeared necessary to carry out a literature survey to act as a practical guide for industrial executives, in order to provide them with the knowledge necessary to facilitate discussions and negotiations with employees, company doctors and the authorities, in order to define and implement adequate preventive measures.

The report, after presenting a summary of the diverse biological agents involved, together with the possible resulting clinical consequences, analyses the various waste treatment processes (municipal waste MW, industrial waste, medical waste). An attempt has been made to classify hazards in order of importance, but has come up against many obstacles due to the great lack of knowledge concerning certain stages of the waste treatment processes. Finally, further areas of investigation and research have been defined.

A – Types of micro organisms involved in waste treatment.

The micro organisms incriminated are Gram positive and Gram negative bacteria and their endotoxins, filamentous bacteria, fungi and mycotoxins, viruses and protozoa. A European directive (Directive 90/679/CEE) describes the hazards caused by all micro organisms whether infectious or not. Waste is particularly rich in micro organisms, as it constitutes a favorable medium for their proliferation (high organic content, temperature, particular aerobic or anaerobic conditions), and also because waste may itself be contaminated (fecal germs: disposable diapers, sanitary towels; pathogenic germs: medical waste, paper handkerchiefs; opportunist germs: food, paper, green waste).

The micro organisms found vary quantitatively and qualitatively according to the type of waste, pH, temperature, initial storage conditions, and waste treatment. However, two types of micro organisms are characteristic: Gram negative bacteria and fungi such as *Aspergillus* and *Penicillium*.

The concentrations in viable bacteria can vary between $4 \cdot 10^6$ and $7 \cdot 10^8$ cfu/g of waste. After several weeks, the bacterial population becomes relatively monomorphous containing a majority of *Bacillus*, *Citrobacter*, *Agrobacter*, *Enterobacter*, *Pseudomonas*.

The pathogenic viruses (coxsackie, rotavirus, echo-virus, poliovirus, hepatovirus, VIH) are likely to be found in diapers, sanitary towels, medical waste mixed with household waste (syringes, blood contaminated compresses...). To reproduce, human pathogenic viruses need to colonize a living cell, which are not usually found in waste; they will therefore tend to disappear in time.

Fungi are naturally present in the environment and proliferate in waste, organic waste in particular. After several days of storage, *Aspergillus* and *Penicillium* have colonized the mass of household waste to the detriment of other species. In the yeast group, a majority of *Candida albicans* is found.

The micro organisms are adsorbed on the surface of airborne particles; there is a close correlation between the level of particles measured at the work station and the microbiological load measured in the air samples.

B – Pathologies due to exposure to these micro organisms

The microbiological agents may act on man in two ways, either by causing infection: in this case we may find classical clinical infectious symptoms (*Aspergillosis*; *Leptospirosis*, tuberculosis, hepatitis) or by inducing allergic and/or inflammatory reactions. The latter involve complex mechanisms which may be either isolated or associated; certain are well known, others are still under research.

(1) Respiratory pathologies of inflammatory nature

a) Chronic obstructive bronchopneumonia

This term groups bronchitis and emphysema, characterized by permanent obstructive ventilation difficulties.

b) Organic Dust Toxic Syndrom (ODTS)

This pathology includes all cases of pulmonary mycotoxicosis, from farmer's lung with negative precipitins, to inhalation fevers, via textile workers fevers. ODTS is observed from 4 to 6 hours after high exposure to organic dusts ($< 5\mu\text{m}$). The presence of endotoxins and fungi such *Aspergillus* seem largely associated to this pathology. It concerns a non allergic mechanism related to pro-inflammatory properties of the toxins. It is mostly observed in newly employed personnel or employees coming back to work, after a holiday for example. Evolution is usually benign although recurrence is frequent.

(2) Chronic symptoms related to endotoxins

Repeated exposure to endotoxins may cause unexplained fatigue, digestive symptoms (nausea, vomiting, diarrhea...) and headaches. These symptoms disappear after 24 hours.

The endotoxins are implicated in other pathologies and "environmental" endotoxins could possibly exacerbate inflammatory reactions of asthma.

(3) Respiratory pathologies of allergic origin

An allergy is defined as the capacity of an individual to show a hypersensitive reaction to each subsequent contact with an antigen.

a) Extrinsic allergic alveolitis

It is an immunological disease arising after inhalation of environmental antigens. Exposure at work is the most frequent situation, associating hot, humid atmospheres and closed, dusty spaces. It is mainly due to chronic inhalation of *thermophilic Actinomycetes*, and fungi, *Mycromycetes (Aspergillus, Penicillium...)*, but other micro organisms may also be involved.

The forms of hypersensitive pneumonias may be acute or sub-acute. The symptoms resemble pseudo-influenza evolving more or less rapidly towards respiratory insufficiency. In both cases, symptoms disappear generally when the exposure ceases. At each subsequent exposure at lower and lower concentrations, symptoms may reappear and evolve towards an irreversible pulmonary disorder

The chronic disorder tends to arise in subjects continually exposed to small quantities in a regular way. In a non negligible proportion of cases, it evolves progressively towards a cough and dyspnea without acute or sub-acute episodes.

b) Occupational asthmatic disorders

They are defined as asthmatic disorders induced in a specific way through repeated exposure to agents present in the working environment. More than 400 different agents have been reported as possible causes for asthma and new etiologies keep being discovered. Molds and fungi are the main microbiological agents incriminated.

(4) Pathologies related to endotoxins

They are due to mycotoxins from the secondary metabolism of molds with a toxic effect to man. Air dispersed mycotoxins are soluble in the pulmonary fluid in alveoli and pass into the blood. Their action is non infectious and non contagious, with general symptoms, more or less specific for certain organs.

C - Characterization of household waste treatment processes

a) Collection

Collection is the link in the waste elimination chain which has undergone the most study, concerning the microbiological hazard for employees.

The exposure levels to total particles (< 100µm) are low on the whole (less than 1 mg/m³) which is much lower than the accepted TLV (10 mg/m³), except for a study in Germany (levels approaching 10 mg/m³).

The levels observed for fungi are systematically above 10³ cfu/m³. Several authors report the presence of *Aspergillus fumigatus* in great quantities, particularly in green waste.

The levels in total bacteria are often lower, but high pollution peaks have been measured in certain particular cases (10⁶ cfu/m³), Gram negative bacteria are regularly present at variable concentrations.

Levels of endotoxins are quite low on average, however, certain collection conditions (collection of green waste) are associated to very high levels, often much higher than the recommended threshold values.

Rippers are more exposed than their colleagues as they are in closer contact with the waste. Collection in summer and autumn is more of a hazard than winter collections (studies carried out in north European countries).

All types of waste are an exposure hazard to rippers, raw waste, the composted fraction, green waste collection or paper collection (to a lesser extent) ; the recycled fraction is associated to lower levels. The material and collection frequency seem to be determining factors on endotoxin levels. The habitat also plays a role as it influences the waste quality and the collection frequency.

Certain parameters influence fungi development: cleaning the containers with diluted vinegar after each purge, storing containers in the shade, wrapping organic waste in newspaper, are factors which decrease the concentration of fungus spores in the waste. Closed containers seem to enhance the development of microorganisms in contrast to 'aired' containers.

Employees involved in collecting waste present significantly more allergic respiratory disorders, cutaneous disorders and infectious digestive disorders than employees in other departments; the digestive disorders (nausea, diarrhea) are particularly observed among rippers, whereas drivers do not present more disorders than the control population; digestive disorders are more frequent in summer, after weekends and holidays; in a similar way, employees collecting raw waste or the organic waste fraction present more disorders than employees collecting other specific waste. It is however difficult to relate the benign disorders of employees, measured by paraclinical tests, to exposure (slight significant disturbance of parameters concerning the exploration of the respiratory function, irregular increase of specific antibodies...) In the clinical case of extrinsic allergic bronchitis, the levels measured at the work station and the presence of high levels of specific antibodies to *A. Fumigatus* have led us to attribute this fungus to the pathology.

b) *Sorting*

To date, the studies published mainly concern Danish sorting centers; although certain centers present generally lower exposure levels to micro organisms than for waste collection (which is not the case in a Finnish study which has measured very high levels of Gram negative bacteria), certain elements must be underlined:

- The dust level is not negligible, particularly in dry paper sorting.

The endotoxin levels are in general to the order of ng/m³: but this value hides the very variable levels in reality. Nearly all the studies have presented levels above recommended values.

The highest exposure levels are measured during sorting of raw waste, but even paper sorting may expose employees to microbiological agents, especially in the case of soiled paper.

The sorters seem to be the most highly exposed although other employees also undergo exposure and should not be neglected (bale press).

Few studies have investigated the state of health of employees at this stage in the process:

a significant occurrence of digestive symptoms (to be related to certain high levels of endotoxins) and signs of skin and mucous membranes irritation among paper sorting workers but not among glass sorting workers. The respiratory effects reported are not well documented. The number of individuals concerned is relatively low, which is quite normal for this activity, and does not allow a dose-effect relation study. Several of these studies are also rather outdated.

c) Composting

The study of the airborne microbiological hazard related to composting of solid municipal waste is relatively limited. It concerns almost exclusively, employees working on composting sites. Several particular isolated cases have been described in the literature. They concern contamination with *Aspergillus* in four cases and thermo-actinomycetes in one case. These biological agents have been associated to extrinsic allergic bronchoalveolitis, bronchopulmonary aspergillosis, invasive pulmonary aspergillosis, and hypersensitive pneumopathologies. It is difficult to establish a cause and effect relationship between these bio-aerosols and the symptoms described. In fact, the causal agent is not systematically determined, either in the biological samples or in the environment and the other sources of bio-aerosols are not listed. Furthermore, certain individuals present other pathologies or disorders of the immune system so they are not representative of the general population.

The main epidemiological studies were carried out in a working environment. Workers complaints can be grouped in the following way:

- Respiratory disorders and ENT infections for the following concentrations in bio-aerosols: total bacteria > 28.103 cfu/m³ ; Gram negative bacteria = 3.6 - 9.103 cfu/m³, fungi = 5.8 - 9.103 cfu/m³. ENT irritations (dry throat), respiratory disorders (dry cough) arising 4-12 hours after starting work have been reported.
- Eye irritations,
- Digestive disorders nausea, vomiting, diarrhea for Gram negative bacteria concentrations of 3.10⁻⁴ to 5.10⁻⁵ cfu/m³.
- Headaches,
- Allergic/inflammatory reactions.

These epidemiological studies often concern a small number of workers and the nature of exposure is sometimes not well defined. The effects observed can therefore not be significantly correlated to the bio-aerosols analyzed.

Certain authors have reported the absence of detrimental health effects in relation to exposure to bio-aerosols on composting sites. This is the case of a study carried out by the sanitary department of state of New York and a longitudinal study which tends to demonstrate the absence of a relationship between the spore level of *Aspergillus fumigatus* (100 spores/m³) and the cases of allergic symptoms or asthma. Neither was an increase in respiratory symptoms reported; very few cases of asthma, bronchitis and respiratory disorders were reported. These studies are limited to *A. fumigatus* which does not allow a generalization as regards the absence of a health impact due to the vast group of bio-aerosols.

Three other studies deserve particular attention because of the information they provide. The first provides knowledge concerning concentrations of dusts, total bacteria, Gram negative bacteria, endotoxins, and molds found on the composting site together with the study on health effects. The health effects are not significant for workers on composting sites due to the few workers involved. The interest of this study is limited to the availability of data concerning bio-aerosol concentrations on composting sites.

The second study demonstrates a significant relationship on a waste treatment site between diagnosed pathologies (respiratory infections, skin diseases) and the increase in the corresponding specific antibodies. However, no corresponding environmental analysis was carried out.

Only the third study describes both biological analyses and health effects for the same site. The authors conclude that exposure to aerosols is associated to an increase in inflammation of the respiratory tract during working hours.

In total, data concerning microbiological hazards related to composting remain fragmentary and incomplete. The most recent and complete studies tend to show that, if a hazard there is, it concerns an increase in inflammation of the respiratory tract and an increase in allergic symptoms.

d) Incineration

Studies on household waste incineration sites are even less numerous. In particular, microbiological pollution has hardly been studied at all, due to the pre-eminence of hazards due to chemical exposure.

Particulate pollution is a real hazard; it seems to be a pollution associated to large-sized particles, but also small-sized particles in certain cases. Fungi are present in large quantities; in a French study, this flora is exclusively represented by species with a high allergenic capacity. All work stations are concerned: although the highest levels were measured in the unloading halls near the pit, the control centers are not exempt of contamination. The bacteria are not present in such great quantities as in other stages of the process; however Gram negative bacteria are always present, sometimes in concentrations higher than the values recommended in the scientific literacy. Other investigations (in particular, endotoxin measurement) have rarely been carried out.

Faced with this lack of data it is difficult to characterize pollution due to microbiological agents at different work stations in these facilities.

Concerning health impact, none of the studies suggest a relationship between microbiological pollution and clinical symptoms presented by workers in these facilities. The few clinical or epidemiological studies available report the same respiratory disorders and skin irritations among workers in these facilities and workers in other treatment processes; however digestive disorders are not found. Due to a mixture of microbiological and chemical pollution, it is difficult to determine the respective responsibilities.

e) Landfills and transfer centers

There is also very little data for this type of activity. Transfer centers seem to be highly contaminated sites, average levels of 105 cfu/m³ have been observed for fungi and bacteria.

For MW landfills, peaks of exposure 103 cfu/m³ have been observed by all authors. The fungal flora is often polymorphous, but peaks of *A.Fumigatus* > 103 cfu/m³ have been reported in several studies, the other fungi present (*Penicillium*, *Cladosporium*...) are also allergenic. Endotoxin levels above the recommended values have been measured several times.

The symptoms observed among workers also seem to be similar to those described in other stages of MW treatment; unfortunately, the small number of workers and studies carried out do not allow any conclusion to be made. No clinical cases of acute respiratory disorders have been published to our knowledge in this activity and a relationship between exposure to micro organisms and respiratory disorders has not been established to date due to the absence of specific investigations in this area.

D – Biological agents and medical waste treatment

“Medical waste treatment corresponds to discarded material (and not treated) from human or animal activities, which may potentially transmit infectious agents to man. This includes material, from diagnosis, disease treatment or prevention, evaluations of the state of health or identification, which may

have been in contact with blood or its derivatives, tissues, soft tissues or excretions or waste from infectious hospital wards" (definition established by WHO, 2001).

Levels of micro organisms are the same or lower than in MW, due to the massive use of disinfectants. However, the presence of pathogenic agents is more frequent. Several days after deposit of medical or laboratory waste, it is possible to find hepatitis B virus, contained in coagulated blood in syringes. 2% of waste containing blood soiled waste were contaminated by HBV. VIH is less resistant and does not persist so long in waste. The microbiological hazard in during the elimination processes of medical treatment waste seem to concern professions at the first stages of collection, in particular employees in medical treatment structures, but also employees involved in collection not operating within the hospital framework.

In France, among the 13 cases of proven occupational seroconversions and the 31 presumed VIH infections, 3 are related to waste manipulation (one driver transporting medical waste, a garbage disposal employee and a nurse manipulating a garbage bag). Among the 43 seroconversions for hepatitis, two concern cleaning services personnel, manipulating garbage cans in a hospital. Data is totally lacking concerning workers in elimination facilities: in particular, workers of centers which decontaminate medical waste have not been studied. It would seem that on leaving the center, the waste is completely sterilized; but it is still possible that the treatment halls be contaminated by the arriving waste. In the event of a technical failure, the maintenance personnel may have to repair the machines (crushers) before complete decontamination and therefore contamination is a possible hazard but has not been reported to date

- **Waste assimilated to medical treatment waste**

It may seem abusive to introduce in this chapter, hazards related to dumping (or inclusion in MW) of illegal waste, in particular used syringes. However, due to the hazard such actions may cause, and the type of pathologies generated; we must report that the occupations at risk are services, in particular, local community personnel. In fact these professions are liable to accidents due to pricking by needles left lying around. The professions most liable to this hazard are firemen, road maintenance agents, gardeners, guardians of buildings... In these cases, accidents are frequently observed. A survey among community doctors indicated 276 accidents due to pricking by needles of discarded syringes (20% firemen; 40% road maintenance) that had been recorded among the 144,000 employees monitored. In 5 cases (2 firemen, 2 road maintenance agents, 1 building guardian), the accident was followed by viral hepatitis B, and recognized as an occupational hazard within the legislation framework concerning occupational diseases.

E - Biological agents and sewage works

The usual treatments applied to water treatment sludge decrease the microbiological load greatly but not totally. These sludges contain more or less important concentrations of diverse categories of micro organisms : bacteria, viruses, parasites (protozoa and helminthes) present in a directly infectious form for man such as bacteria (*Salmonella*, *Campylobacter*, *Yersinia*,...) ; or viruses ; or in a resistant form (bacterial spores, cysts or parasite eggs) which will be transformed in the body into a pathogenic agent. The quantities of micro organisms found in the literature are extremely dependant on numerous factors such as the state of health of the population, the presence of slaughterhouses, analysis techniques, and the type of sludge....

Several studies show the existence of high levels of endotoxins in sludge handling or drying zones. Furthermore, the circumstances of appearance of certain symptoms imply the presence of excessive airborne contamination

The reader may consult an excellent literature survey (Thorn 2001) concerning health hazards to employees in sewage works, which concludes with the highly probable relationship between the symptoms presented (respiratory and digestive symptoms, fatigue, headaches) and high endotoxin levels measured in this activity.

F - Characterization of the microbiological hazard in industrial waste processes

The occupational pathologies due to micro organisms have been demonstrated in two sectors (cotton, linen and hemp textile industry, and the agricultural industry, animal breeding etc...) in which the clinical symptoms have been described by several names (byssinosis, farmer's lung disease and bird breeder's disease...) for many years. It is often after carrying out exposure measurements and observation of the effects in these industries that the authors have determined recommended threshold values.

Very few studies exist concerning the microbiological hazard related to waste in these industries. The Food industry is the only one with available information, in particular in relation to BSE.

I.IV.2.1 Food industry

(1) Waste from the food industry

Usually, waste most often produced by this sector is from organic leftovers, treatment sludges, wrappings and containers, glass, cartons, wood, cans and bags of raw materials. The possible transmission hazard of biological agents is similar to that concerning MW, in particular for organic leftovers, and waste water sludges. To our knowledge, no study has been carried out on employees in this industry as they are assimilated to MW collectors.

However, we would like to point out the possible risk associated to the colonization of food industry waste by rodents, if the waste is not stored adequately and rapidly eliminated (catering waste); however such a risk has not been documented.

(2) Slaughterhouse waste

In slaughterhouses, the hazard is due to the presence of live animals and their carcasses. Certain animal diseases are transmitted to man.

Since June 2000, it is illegal to introduce diseased animals into slaughterhouses. These animals are put down at the farm and directly sent to the quarterhouse. However, some animals may be carriers of germs without showing any symptoms. Certain germs may be responsible for diseases transmitted to man.

Concerning the risk of infection, contact with dead animal tissue is more dangerous than contact with the skin and even the mucous membranes of live animals; leather, horns, hoofs, hair are not very dangerous as bacteria cannot multiply in them, their concentration is very low; urines are practically inoffensive; milk may be infected (brucellosis, Q fever); the blood is generally sterile except certain cases of transitory bacteriemia, at low levels in general; the reproductive organs (placenta, fetus and placental fluid) represent the most dangerous parts, as a very high concentration of bacteria can be found in these tissues; as in the intestines and excrements where a large number of bacteria are concentrated.

There is very little data in the literature concerning the hazards related to slaughterhouses. An epidemiological study was carried out at Briançon, following the appearance of several cases of Q fever in the general population. It showed that the cause of contamination and dissemination of the rickettsia responsible for the disease was found in waste from slaughtered animals which had been stored in a large open pit. The majority of pathogenic microorganisms in animal waste represent, however, a negligible risk for human except Salmonellas and cytotoxic strains of Escherichia coli.

Concerning the particular case of animal flours, since the bylaw November 14th 2000, all animal flours from meat and bone (FMB) are illegal in fodder for animals destined for human consumption. These flours must be destroyed by incineration. The present incineration capacities do not permit treatment of all the flours produced, flours from high risk materials are incinerated in priority, the low risk flours are stored temporarily. Different sectors may be concerned by Animal flours; quarter-houses, storage centers, cement works, MW incineration facilities, transporters. The INRS has just completed a first evaluation of occupational hazard related to the manufacture and destruction of FMB. There are two types of FMB: Flours from the transformation in quarterhouses of high risk material (seizures and animal carcasses) destined since 1996 for destruction by incineration in an authorized incineration facility.

Flours from the transformation of low risk materials (animal waste recognized as suitable for consumption) which, until the bylaw November 14th 2000, were destined to be incorporated into animal fodder, after treatment "133-20-3", i.e. heating to 133 °C for at least 20 minutes continuously at a pressure of 3 bars.

After studying the inspection report of two quarterhouses and cement works incinerating their flours, the INRS department noted that the supply process of quarterhouses was liable to introduce animal tissues containing prion into the transformation process of animal flours. Under these conditions, it is not possible to affirm total innocuity of animal flours as regards the transmission hazard of BSE during their manufacture, transport, storage, destruction or any other activity related to animal flours.

The flours must be transported in closed trucks to avoid dust dissemination. The regulations assimilate them to MW. The trucks cannot be reserved for animal flour transport only, they are therefore cleaned before a new load. The cleaning operations may expose to the personnel involved to aerosols loaded with animal flour. The waste waters are usually evacuated into the main drains. Therefore, personnel may be exposed to animal flours from their production in the quarterhouse to incineration. This requires further documentation.

I.IV.2.2 Other specific industries

We have found elements concerning the possibility of observing pathologies related to micro organisms in only three other industries, which we have retained because of their capacity to produce waste, contaminated by micro organisms:

(1) Metallurgy

Employees exposed to aerosols of metallurgical fluids present similar respiratory symptoms to those described previously. The fluids are used as lubricants or cooling fluids. Gram negative bacteria are found systematically in these fluids (endotoxin levels from 0.04 to 600 ng/m³ in the air of different workshops or from 0.07 to 58.46 EU; total bacteria: 4-8.10³ cfu/m³). Symptoms including coughs and irritation of the respiratory tract were observed with an important prevalence of asthma. In one company 79.6 % (39

employees) presented symptoms of pulmonary disorders. Sixteen patients suffered from hypersensitive pneumonia. The bacterial levels in the engine oils was 105 to 108 cfu/ml, and 354 to 2048 cfu/m³ in the machine atmosphere. As for endotoxins, the levels varied from 7187 to 199 218 EU/ml in engine oils and 1.3 to 58.1 EU/m³ in the air. We have developed this paragraph in particular because oil recycling is an important activity in waste treatment. Employees are confronted with highly contaminated oils and fluids. To our knowledge, this problem has never been studied and it would certainly be useful to investigate these hazards.

(2) Paper and mineral fibers industries

Waste water from paper mills is very rich in micro organisms; aerosols may be produced during certain stages of treatment. There is also a stage in mineral fibers manufacture when fibers pass through an aqueous mist to cool them. Following the appearance of pulmonary disorders among employees in this factory, high levels of micro organisms were measured in the water. Employees treating water from these industries should be monitored with attention, in the same way as employees treating waste water from other industries.

Conclusions

I.IV.2.3 to be retained

Data in the literature is quantitatively very varied according to the different waste treatment processes themselves. Household waste processes and waste water treatment processes have been studied to some extent (but with an unequal distribution among the diverse activities and carried out mainly in north European countries. What is the impact of weather conditions on these problems?) ; A few studies have been published for medical waste treatment processes whereas practically none have been carried out for industrial waste. The analytical methods used are diverse and it is therefore difficult to compare exposure levels.

The studies on clinical effects concerning small numbers of employees and according to transversal methodologies which are certainly biased by the "Healthy worker effect" may explain the difficulty of demonstrating cause-effect relationships and especially dose-effect relationships.

In a general way, the WHO considers that MW treatment processes expose employees to certain occupational hazards:

- * infectious pathologies, 6 times greater than in the general population
- * allergic pulmonary pathologies, 2.6 times greater,
- * chronic bronchitis , 2.5 times greater
- * hepatitis, A.2 times greater

These increased health hazards are associated to bio-aerosol levels in the air

- * 2 to 4 times greater in a MW landfill than in the general atmosphere
- * 2 to 10 times greater in a waste sorting facility than in the general atmosphere

Without a doubt, the most important acute health problems observed and published to date concern composting and green waste collection. The same accidents have also been observed in sorting activities. The health reports represent all types of acute respiratory pathologies described previously: extrinsic allergic alveolitis, pulmonary Aspergillosis,

ODTS, hypersensitive pneumonia. They have practically all demonstrated the presence of *Aspergillus fumigatus* in excess in the environment as being the primary cause.

Concerning chronic pathologies, all stages of MW treatment have given rise to respiratory complaints. Questions may be asked concerning the significance of such symptoms: are they temporary phenomena without risk of aggravation? Or are they the first signs of a sensitivity which will later give rise to an aggravation and reactions at lower and lower levels of exposure?

Is the problem of skin diseases which are regularly observed the result of sensitivity to allergens following a similar process to that of pulmonary mechanisms?

Finally, the problem of digestive symptoms more often found in waste collection and waste water treatment, clearly appears to be related to an exposure to endotoxins present in relatively high quantities in these activities.

In medical waste treatment, the very real risk of infection must absolutely be taken into account. Preventive measures (flow diagram materials, sterilization) have proven their efficiency in this field. But reality in situ has shown that these actions must be constantly reassessed and controlled as a lack of vigilance can easily take place.

Finally, a possible recontamination of waste must be considered, when waste is stored several days on site and may attract animals, themselves carriers of germs which recolonize the waste.

Fungi represent the majority of microbiological agents present in quality and quantity in all the activities. All the activities involved in MW have fungus levels greatly higher than the recommended level of 1000 cfu/m³. Composting is the activity liable to generate the highest levels of micro organisms (the averages are higher than all the activities in MW together).

Above 1000 cfu/m³, health problems are practically inevitably observed in the exposed population, especially as in all the studies where qualitative information is available, the fungi incriminated are always those with a high allergenic potential.

For bacteria, the concentrations are much more variable from one situation to another. Composting and transfer centers are definitely the activities mainly concerned by high levels of total bacteria. Collection is varied with two apparently more dangerous types of collection: collection of raw MW and green waste and it must be remembered that collection conditions vary enormously according to the materials, the seasons and the country (no studies have been carried out in southern European countries).

As for sorting, the more favorable conditions of sorting dry clean paper waste must be noted. However, if the qualitative aspect of the microbiological aerosols is considered where total bacterial content is near the recommended threshold (10000 cfu/m³), there is an important proportion of Gram negative bacteria above the threshold 1000 ufc/m³ (sorting, landfills, composting, certain collections). These data are coherent with data concerning endotoxin levels: we particularly insist on situations involving contact with raw MW. Waste water treatment activities are also considered as situations with high exposure hazards to bacteria and endotoxins.

It is very difficult to situate other activities as the hazards are not of the same magnitude e.g. (medical waste) and for which data is practically unavailable (industrial waste).

I.IV.2.4 Areas to be investigated

Lack of knowledge has been demonstrated in this study and the future areas of investigation can thus be determined:

MW treatment:

In general, the contamination levels (and therefore health hazards) are they higher in temperate climates i.e. France or in mediterranean countries, not to mention hot countries? This requires further investigation of all MW activities in all climates.

Certain activities have not been studied sufficiently: incinerators, landfills, transfer centers.

Medical waste treatment: Although decontamination facilities appear to be monitored satisfactorily concerning results of treatment on the microbiological content, it seems necessary to carry out a study concerning the microbiological hazards for employees, especially those involved in maintenance activities before decontamination has been carried out completely.

Furthermore, it would be of interest to evaluate the hazard for employees who manipulate containers or bins (whatever the treatment process) and who may have to pick up medical waste which has been spilled by accident

Industrial waste processes: this is the great unknown: a systematic study should be carried out for work stations in contact with waste or effluents (rich in organic matter) potentially contaminated with micro organisms whether destined for elimination or recycling.

Waste water treatment:

This has been relatively well studied; for which regular monitoring could be recommended rather than an initial expertise.

The pathologies associated to micro organisms may be non specific and be the result of an aggression due to a chemical agent. Furthermore, synergic effect may exist between microbiological agents and chemical substances in the working atmosphere. In this context, it is necessary to establish whether a mere listing of microbiological hazards is sufficient, and if in atmospheres during MW treatment a systematic microbiological and chemical expertise should be carried out.