



EHESP

INERIS

Filière du Génie Sanitaire

Promotion : **2007 - 2008**

Date du Jury : **Septembre 2008**

**Agents biologiques et installations
classées : quels risques pour la santé
des riverains ?**

Caroline LETURQUE

Lieu du stage : INERIS,
Verneuil-en-Halatte

Référent professionnel :
Laure DELERY

Référent pédagogique :
Michel CLEMENT

Remerciements

Mes premiers remerciements s'adressent à ma référente professionnelle, Laure Déléry, sans laquelle je n'aurais pas pu réaliser ce mémoire au sein de l'Ineris. Je la remercie pour ses conseils, son soutien, ses critiques pertinentes (surtout lors de la rédaction) et son optimisme.

Je remercie également Michel Clément, mon référent pédagogique, pour ses conseils pendant la préparation et la réalisation de ce mémoire.

Je tiens à remercier les ingénieurs de l'INERIS qui ont pris le temps de me recevoir, et de me conseiller : MM Dominique Gombert, Eric Tarnaud, Guillaume Gay, et M^{mes} Karine Adam et Caroline Marchand.

J'en profite pour remercier M^{me} Michèle Legeas, qui, bien que n'étant pas référente pédagogique, m'a accordé du temps, m'a prodigué de précieux conseils et m'a permis de me réorienter pour la réalisation de ce mémoire lorsque j'avais quelques hésitations.

Je tiens à adresser mes remerciements à M^{me} Muriel Andrieu-Semmel à la Direction Générale de la Santé, et à MM Vincent Delporte et Joël Francart au MEEDDAT, qui ont accepté dans un premier temps de répondre à mes questions, puis de transmettre mes questionnaires à leurs correspondants régionaux pour obtenir un maximum de renseignements. Ce travail n'aurait pas été possible sans eux.

Bien évidemment, je remercie sincèrement tous les correspondants en DDASS, DRASS, DRIRE et Services Vétérinaires qui ont reçu ces questionnaires et qui ont accepté d'y répondre, parfois en ajoutant quelques documents qui ont été très enrichissants pour le rapport, merci à tous.

Enfin, je remercie tous les gens qui ont participé à cette étude, les personnes des différents organismes avec qui j'ai pu avoir des contacts et qui ont également contribué à la réalisation de ce mémoire.

Liste des sigles utilisés

Ademe : Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
ACGIH : American Conference of Governmental Industrial Hygienists
ADN : Acide désoxyribonucléique
AFSSET : Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail
ARN : Acide ribonucléique
ATNC : Agents Transmissibles Non Conventionnels
BAuA : Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitmedizin (Institut fédéral de santé et sécurité au travail)
BPCO : Broncho-Pneumopathie Chronique Obstructive
CDC : Centers for Disease Control and Prevention
CIRC : Centre International de Recherche contre le Cancer
CIRE : Cellule Interrégionale d'Épidémiologie
CMR : Cancérogène-Mutagène-Reprotoxique
CNAM : Conservatoire National des Arts et Métiers
CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique
CSTB : Centre Scientifique et Technique du Bâtiment
DDASS : Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales
DDSV : Direction Départementale des Services Vétérinaires
DECOS : Dutch Expert Committee on Occupational Standards
DMI : Doses Minimales Infectantes
DRASS : Direction Régionale des Affaires Sanitaires et Sociales
DRIRE : Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement
EHESP : École des Hautes Études en Santé Publique
ERSEI : Évaluation des Risques Sanitaires dans les Études d'Impacts
ICPE : Installations Classées pour la Protection de l'Environnement
ICOH : International Commission on Occupational Health (Commission internationale sur la santé au travail)
INERIS : Institut National de l'Environnement industriel et des RISques
INRA : Institut National de la Recherche Agronomique
INRS : Institut National de Recherche et de Sécurité
INSHT : Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (Institut national de santé et sécurité au travail)
InVS : Institut de Veille Sanitaire
IPPC : Integrated Pollution Prevention and Control

IRSST : Institut de Recherche Robert-Sauvé en Santé et en Sécurité du Travail
LAURE : Loi sur l'Air et l'Utilisation Rationnelle de l'Énergie
LHVP : Laboratoire d'Hygiène de la Ville de Paris
LPS : Lipopolysaccharide
MEEDDAT : Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du Territoire
NIOSH : National Institute for Occupational Safety and Health
ODTS : Organic Dust Toxic Syndrom (Syndrome toxique des poussières organiques)
ORS : Observatoire Régional de la Santé
OSHA : Occupational Safety and Health Administration
RECORD : Recherche coopérative sur les déchets et l'environnement
RSD : Réseau Santé Déchets
SRAS : Syndrome Respiratoire Aigu Sévère
STEP : STation d'ÉPuration
TAR : Tour Aéro-Réfrigérante
UE : Unité endotoxine
UFC : Unité Formant Colonie
VEMS : Volume Expiratoire Maximale Seconde
VLE : Valeur Limite d'Exposition
VTR : Valeurs toxicologiques de référence

Sommaire

Introduction	1
1. Généralités	4
1.1. Réglementation	4
1.1.1. En Europe.....	4
1.1.2. Hors Europe.....	8
1.2. Généralités sur les agents biologiques	10
1.2.1. Les agents biologiques	10
1.2.2. Les effets sur la santé.....	13
1.3. La méthode de l'évaluation des risques sanitaires.....	17
1.4. Pratiques actuelles.....	22
2. Activités industrielles et agricoles à risque	23
2.1. Risques documentés	23
2.1.1. Plates-formes de compostage.....	23
2.1.2. Centres de stockage des déchets	26
2.1.3. Stations de traitement des eaux usées	27
2.2. Installations à étudier.....	29
2.2.1. Tri des déchets	29
2.2.2. Agriculture et industries agroalimentaires.....	29
2.3. Risques émergents	30
3. Acteurs.....	33
3.1. Réseau français.....	33
3.1.1. Services de l'État	33
3.1.2. Établissements publics d'appui aux services de l'État.....	34
3.1.3. Organismes de recherche.....	36
3.1.4. Laboratoires d'analyse	38
3.1.5. Entreprises privées	39
3.2. Acteurs à l'étranger.....	40
4. Discussion.....	45
Conclusion.....	49
Bibliographie	51
Liste des annexes	I

INTRODUCTION

En France, les installations industrielles font l'objet d'une surveillance toujours plus importante de la part des administrations, notamment en application de la loi du 19 juillet 1976 sur les Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE). Cette réglementation exige qu'une évaluation des risques sanitaires soit réalisée avant toute implantation d'une installation figurant dans la nomenclature des ICPE soumises à autorisation. La démarche d'évaluation des risques sanitaires a été mise au point aux États-Unis au début des années 1980. Elle comporte quatre étapes :

- Identification des dangers
- Évaluation de la relation dose-effet
- Évaluation de l'exposition
- Caractérisation du risque

A l'origine, cette démarche a été élaborée pour évaluer le risque lié aux substances chimiques. La prise en compte du risque causé par les agents biologiques apparaît dans l'industrie alimentaire, avec la mise en place des doses minimales infectantes (DMI). En 2000, le Parlement et le Conseil Européens reconnaissent le risque biologique comme un risque à part entière avec la parution de la Directive 2000/54/CE concernant la protection des travailleurs contre les risques liés à l'exposition à des agents biologiques au travail. Cependant, la démarche de l'évaluation du risque sanitaire n'est pas adaptée aux agents biologiques. Les raisons sont liées à la complexité et à la variabilité des phénomènes à appréhender dans le domaine biologique, aux connaissances et aux données insuffisantes dont on dispose face à cette situation. De nombreuses lacunes d'un point de vue des connaissances persistent, par exemple :

- identification des agents
- effets par inhalation
- relations dose-effet

En 2001, l'INERIS (Institut National de l'Environnement industriel et des RISques) a réalisé un état de l'art sur la maîtrise des risques biologiques des ICPE (Bonnard 2001). Pourtant aucun guide d'évaluation des risques biologiques pour les ICPE n'est aujourd'hui disponible. Après divers travaux sur le sujet, l'INERIS souhaitait faire un nouvel état des lieux.

Ainsi, le premier objectif de ce mémoire est de recenser les documents existants sur le sujet des risques biologiques en lien avec les activités des installations classées, et en particulier le risque pour les riverains, afin de faire un bilan des connaissances des

risques actuels et émergents. Les pratiques et les réglementations étrangères ont également été investiguées.

Le deuxième objectif est d'identifier un réseau opérationnel d'acteurs français, voire européens, qui œuvrent dans la thématique des risques biologiques, en identifiant leurs champs de compétence.

Le troisième objectif est d'identifier les lacunes en vue de proposer des axes prioritaires d'études et de recherches à développer.

Ce mémoire s'est intéressé de manière privilégiée aux bioaérosols les plus susceptibles d'exposer les riverains d'installations. Les **bioaérosols** se définissent comme des particules d'origine biologique en suspension dans l'air, composées de micro-organismes, vivants ou morts, ou de particules d'origine biologique, comme des métabolites, des toxines ou des fragments de micro-organismes (Goyer, Lavoie et al. 2001). La voie de contamination est donc principalement l'**inhalation**. L'étude est également ciblée sur les émissions des **ICPE** et leur impact pour la santé des **populations riveraines** des installations. Toutefois, l'exposition et les effets sur la santé des riverains étant peu documentés, il a parfois été fait référence à des études sur les travailleurs, qui sont un peu plus nombreuses parmi la littérature scientifique.

La réalisation de ce mémoire s'est organisé en deux phases réalisées parallèlement : une phase de recherche documentaire, et une phase de prise de contacts avec les différents acteurs.

Pour la documentation, la base bibliographique de l'INERIS a été complétée par une recherche sur les bases de données Science Direct, SpringerLink et Pubmed Central. Les mots-clés utilisés étaient : biological risk, bioaerosols, risk assessment, exposure assessment, microorganisms, airborne. Enfin, plusieurs documents ont été collectés grâce aux contacts établis pendant le mémoire.

Afin d'obtenir des renseignements sur les acteurs, une première étape a consisté à rencontrer le personnel interne à l'INERIS, ainsi que des partenaires de l'INERIS sur des études en cours ou antérieures. Parallèlement, d'autres intervenants dont les coordonnées ont été trouvées sur Internet sont joints. Puis un élargissement s'est effectué grâce aux informations ainsi collectées.

Enfin, des responsables du Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du Territoire (MEEDDAT) et de la Direction Générale de la

Santé ont transmis un questionnaire à leurs correspondants en DRIRE, DDSV et DRASS.
(Annexes I, II et III)

Les contacts ont toujours été établis soit par mail, soit par téléphone.

Dans un premier temps, la situation actuelle sera exposée, avec une présentation de la réglementation en lien avec l'évaluation des risques, en France et dans quelques pays étrangers, un rappel sur les agents biologiques, et une présentation de la méthode de l'évaluation des risques appliquée actuellement et sa mise en pratique.

La deuxième partie recensera les risques biologiques qui ont pu être identifiés dans la littérature et grâce aux contacts établis durant cette étude.

Les différents acteurs œuvrant dans la thématique des risques biologiques seront abordés dans la troisième partie.

Enfin, des propositions seront faites dans une dernière partie en vue d'améliorer la situation actuelle.

1. GÉNÉRALITÉS

1.1. Réglementation

Les réglementations abordées dans ce paragraphe sont des réglementations relatives à l'évaluation des impacts éventuels d'industries ou de projets sur la santé humaine, ou relatives à la protection des travailleurs contre les risques liés à l'exposition à des agents biologiques.

1.1.1. En Europe

Au sein de l'Union européenne, la première réglementation concernant l'évaluation d'impacts fut la Directive Européenne n°85-337 concernant l'évaluation des incidences de certains projets publics et privés sur l'environnement, adoptée par le Conseil le 27 juin 1985. Cette directive établit qu'avant d'obtenir une autorisation, les projets susceptibles d'avoir des incidences notables sur l'environnement sont soumis à une évaluation en ce qui concerne leurs incidences.

Dans son article 3, il est précisé que :

« L'évaluation des incidences sur l'environnement identifie, décrit et évalue de manière appropriée, [...], les effets directs et indirects d'un projet sur les facteurs suivants:

- **l'homme**, la faune et la flore, ... »

Aucune précision n'est apportée concernant la définition ou la nature des « effets directs et indirects d'un projet ».

Cette directive est complétée par la directive 2008/1/CE du Parlement européen et du Conseil du 15 janvier 2008 relative à la prévention et à la réduction intégrées de la pollution (directive IPPC pour Integrated Pollution Prevention and Control). Le principe de cette directive est que la comparaison des concentrations mesurées ou estimées à des valeurs de référence est suffisante pour juger de l'éventuelle présence d'un risque pour la santé, attribuable à l'installation. Cependant, cette directive ne s'applique qu'aux substances chimiques, vibrations, chaleur et bruit.

Au sujet de la protection des travailleurs, il existe un texte spécifique pour les risques d'origine biologique : la directive 2000/54/CE du Parlement européen et du Conseil du 18 septembre 2000 concernant la protection des travailleurs contre les risques liés à l'exposition à des agents biologiques au travail. Elle codifie la directive 90/679/CEE ainsi que ses modifications successives. Elle fixe des prescriptions minimales particulières en ce qui concerne la protection des travailleurs contre les risques pour leur sécurité et leur santé résultant d'une exposition à des agents biologiques au travail. Cette directive définit

les agents biologiques comme « les micro-organismes, y compris les micro-organismes génétiquement modifiés, les cultures cellulaires et les endoparasites humains qui sont susceptibles de provoquer une infection, une allergie ou une intoxication » (article 2). Elle indique que pour les activités professionnelles susceptibles de présenter un risque d'exposition à ces agents, une évaluation des risques encourus par les travailleurs est pratiquée, afin de pouvoir déterminer les mesures à prendre.

Par ailleurs, elle établit une classification des agents biologiques en quatre groupes, par ordre croissant de pathogénicité :

Groupe 1 : L'agent biologique n'est pas susceptible de provoquer une maladie chez l'homme ;

Groupe 2 : L'agent biologique peut provoquer une maladie chez l'homme et constituer un danger pour les travailleurs; sa propagation dans la collectivité est improbable; il existe généralement une prophylaxie ou un traitement efficace ;

Groupe 3 : L'agent biologique peut provoquer une maladie grave chez l'homme et constituer un danger sérieux pour les travailleurs; il peut présenter un risque de propagation dans la collectivité, mais il existe généralement une prophylaxie ou un traitement efficace ;

Groupe 4 : L'agent biologique provoque des maladies graves chez l'homme et constitue un danger sérieux pour les travailleurs; il peut présenter un risque élevé de propagation dans la collectivité; il n'existe généralement pas de prophylaxie ni de traitement efficace.

Cette directive prend en compte uniquement les agents biologiques connus pour provoquer des maladies infectieuses chez l'homme. Or, sur les lieux de travail, les risques biologiques peuvent également être de nature non infectieuse.

En annexe III de cette directive est présentée la liste des agents biologiques des groupes 2, 3 et 4 avec leur classification, les agents du groupe 1 étant innombrables. (Annexe IV du rapport). Celle-ci n'est cependant pas exhaustive (il existe des agents non encore répertoriés ou non identifiés comme pathogènes). Les agents biologiques des groupes 2 et 3 concernés par les risques immuno-allergiques et toxiniques sont signalés dans cette liste réglementaire par la lettre A (effets allergisants) ou T (toxines possibles).

Que ce soit pour la prévention de la pollution ou pour la protection des travailleurs, les exigences réglementaires des pays de l'Union européenne correspondent à la transposition des directives européennes.

Cependant, selon le rapport Eurogip de 2007, l'évaluation du risque biologique est une thématique qui prend de l'importance dans le domaine de la sécurité et santé au travail :

- En Allemagne, depuis 1994, le Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitmedizin (BAuA), c'est-à-dire l'Institut Fédéral de Santé et Sécurité au travail, a inscrit à son programme deux nouveaux sujets d'études sur l'évaluation des risques liés aux agents

biologiques, notamment dans le secteur de la récupération et du recyclage des déchets.

- En Espagne, l'Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT), c'est-à-dire l'Institut National de Santé et Sécurité au travail, a publié un guide technique pour l'évaluation et la prévention des risques liés à l'exposition aux agents biologiques.

Enfin, au Royaume-Uni, concernant les installations de compostage, l'Agence de l'Environnement anglaise (The Environment Agency) a établi en 2001 une nouvelle réglementation, empêchant la mise en place de toute nouvelle installation de compostage ou la modification d'un procédé existant si la limite de l'installation est à moins de 250 m d'un lieu de travail ou des limites d'un logement. Une dérogation est possible si la demande est accompagnée d'une évaluation des risques spécifique au site, fondée sur des faits, des observations scientifiques indépendantes, montrant que les niveaux de bioaérosols sont et peuvent être maintenus à des niveaux appropriés au niveau de l'habitation ou du lieu de travail. (Site Internet : The Environment Agency)

En France

En 1794, l'explosion de la fabrique de poudre de Grenelle à proximité immédiate de Paris, entraînant la mort de 1 000 personnes, initie la prise de conscience sur les risques et les nuisances pouvant être générés par l'activité humaine. Dès 1806, l'ordonnance du préfet de police de Paris oblige les exploitants des installations dangereuses ou insalubres à déclarer leur activité. Elle est complétée et étendue à l'ensemble du territoire par le décret impérial du 15 octobre 1810 sur les établissements dangereux, insalubres et incommodes, classant les installations suivant leurs nuisances et leur dangerosité :

- Classe 1 : installations qui doivent être éloignées des habitations ;
- Classe 2 : installations pour lesquelles on doit s'assurer que les pratiques n'incommodes pas le voisinage ;
- Classe 3 : installations sous la simple vigilance de la police municipale à l'origine de la réglementation française sur les installations classées.

La loi du 19 décembre 1917 améliore les dispositions existantes et soumet les établissements les moins nuisants à un régime de simple déclaration.

Vers la fin des années 60, l'inspection des établissements classés, auparavant assurée par l'inspection du travail, est confiée au service des mines et transférée au ministère de l'Environnement à sa création en 1971.

La loi n° 76-663 du 19 juillet 1976 sur les installations classées pour la protection de l'environnement (codifiée aux articles L 511-1 et suivants du code de l'environnement) définit celles-ci comme toute installation pouvant «présenter des dangers ou des inconvénients soit pour la commodité du voisinage, soit pour la santé, la sécurité, la

salubrité publiques, soit pour l'agriculture, soit pour la protection de la nature et de l'environnement, soit pour la conservation des sites et des monuments ». Cette loi devient la base juridique de l'environnement industriel en France, et bien que modifiée par de nombreux textes, elle reste toujours en application actuellement. Une seule autorité est compétente pour l'application de cette législation : l'inspection des installations classées.

Bien que l'étude d'impact dans le dossier de demande d'autorisation soit obligatoire depuis le décret d'application du 21 septembre 1977, le mot « santé » n'est ajouté dans le texte qu'avec le décret n°2000-258 du 20 mars 2000 :

Article 3 :

« L'étude d'impact présente successivement :

a) [...]

b)" une analyse des effets directs et indirects, temporaires et permanents de l'installation sur l'environnement et en particulier sur les sites et paysages, la faune et la flore, les milieux naturels et les équilibres biologiques, sur la commodité du voisinage (bruits, vibrations, odeurs, émissions lumineuses) ou sur l'agriculture, l'hygiène "**la santé**", la salubrité et la sécurité publiques, sur la protection des biens matériels et du patrimoine culturel ; cette analyse précise notamment, en tant que de besoin l'origine, la nature et la gravité des pollutions de l'air, de l'eau et des sols, le volume et le caractère polluant des déchets, le niveau acoustique des appareils qui seront employés ainsi que les vibrations qu'ils peuvent provoquer, le mode et les conditions d'approvisionnement en eau et d'utilisation de l'eau ; " »

(Sites Internet : MEEDDAT et INERIS - Aida)

En ce qui concerne spécifiquement la pollution de l'air, la loi n° 96-1236 du 30/12/96 sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie (LAURE) reconnaît à chacun le droit à respirer un air qui ne nuise pas à sa santé. Elle rend également obligatoire :

- la surveillance de la qualité de l'air,
- la définition de normes de qualité de l'air (objectifs de qualité, valeurs limites ...),
- l'information du public.

Cependant, les objectifs de qualité de l'air ne concernent que des substances chimiques.

Il est à noter que cette loi fut la première à inclure dans les études d'impact les « effets sur la santé », modifiant ainsi la loi n° 76-629 du 10 juillet 1976 sur la protection de la nature et de l'environnement.

Enfin, concernant plus spécifiquement le risque biologique, celui-ci n'est mentionné que dans le Code du travail, articles R4421-1 et suivants, relatifs à la prévention et la

protection des travailleurs contre les risques résultant d'une exposition à des agents biologiques. Ces articles sont la transposition de la directive européenne 2000/54/CE du Parlement européen et du Conseil du 18 septembre 2000 concernant la protection des travailleurs contre les risques liés à l'exposition à des agents biologiques au travail. Le cadre réglementaire de la prévention des risques liés à l'exposition à des agents biologiques est semblable à celui de tout autre risque. La prévention des risques professionnels s'appuie sur une démarche dont les principes généraux sont édictés par le Code du travail. Les principales obligations de l'employeur sont :

- Éviter les risques ;
- Évaluer les risques qui ne peuvent être évités ;
- Combattre les risques à la source ;
- Agir sur les conditions et l'organisation du travail (choix des équipements, des procédés, des substances...) ;
- Former et informer les salariés sur les risques et leur prévention ;
- Prendre des mesures de protection collective en leur donnant la priorité sur les mesures de protection individuelle.

L'évaluation des risques constitue le point de départ de la démarche de prévention qui incombe à tout employeur dans le cadre de son obligation générale de sécurité à l'égard de son personnel. Les résultats de cette évaluation doivent être transcrits dans le document unique. Au-delà du strict respect de l'obligation réglementaire, ce document doit permettre à l'employeur d'élaborer un plan d'action définissant les mesures de prévention appropriées aux risques identifiés.

1.1.2. Hors Europe

Aux États-unis

(Cochet 2004)

Le titre 40 du "Code of Federal Regulations"¹ couvre l'ensemble des réglementations relatives à la protection de l'environnement et à la santé environnementale.

Le *Clean Air Act*², voté en 1970 et modifiée en 1990 est la loi fédérale qui régit les émissions dans l'air des sources de pollutions fixes et mobiles. Cependant, dans cette loi,

¹ Titre 40 du Code of Federal Regulations. Disponible sur Internet :

[<http://www.law.cornell.edu/cfr/cfr.php?title=40&type=chapter&value=1>]

² Clean Air Act voté en 1970 et modifié en 1990, 42 U.S.C. § 7401. Disponible sur Internet : [<http://www.epa.gov/air/caa/>]

il n'est question que de polluants chimiques, il n'est aucunement fait mention d'agents biologiques.

Les règles au travail sont régies par l' "Occupational Safety and Health Act of 1970" (OSH Act). Celui-ci assigne à l'Occupational Safety and Health Administration (OSHA) les fonctions de fixer des normes et de conduire des inspections pour s'assurer que les employeurs fournissent à leurs employés un environnement de travail sain et sans danger. Aucune mention particulière n'est faite pour les agents biologiques.

Au Canada

Les responsabilités en matière de santé et d'environnement sont à la fois du domaine du gouvernement fédéral et de celui des provinces.

Au niveau fédéral, la *Loi Canadienne sur l'évaluation environnementale* (1992, ch. 37)¹ a été adoptée en 1992 et modifiée en 2003. Elle exige qu'une évaluation environnementale soit réalisée avant la mise en œuvre d'un projet dans lequel une autorité fédérale est impliquée (aide financière, mise en œuvre, accord pour la mise en œuvre...)

Dans le texte, les termes « effets environnementaux » sont définis comme les « changements que la réalisation d'un projet risque de causer à l'environnement [...], les répercussions de ces changements soit en matière sanitaire et socioéconomique, ... ». Aucune précision n'est apportée pour la méthode de réalisation de l'évaluation environnementale.

Cette loi permet également la constitution de l'Agence canadienne d'évaluation environnementale, qui est chargée de conseiller et d'assister le ministre de l'Environnement Canadien dans l'exercice des missions conférées par cette loi. Les missions de l'Agence sont nombreuses, mais elle doit, notamment, gérer le processus d'évaluation environnementale, promouvoir l'uniformisation et l'harmonisation des processus d'évaluation des effets environnementaux à l'échelle du Canada et à tous les niveaux administratifs, et promouvoir la recherche en matière d'évaluation environnementale. Elle propose également des documents d'orientation qui renseignent sur les obligations prescrites par la loi en ce qui concerne les évaluations

¹ Loi Canadienne sur l'évaluation environnementale (1992, ch. 37). Disponible sur Internet : [<http://laws.justice.gc.ca/fr/showtdm/cs/C-15.2>]

environnementales fédérales. Mais ceux-ci ne précisent aucune méthodologie à employer.

Concernant les travailleurs, il existe un Code canadien de travail (L.R., 1985, ch. L-2), comprenant une partie « Santé et Sécurité au Travail » (Partie II). Les agents biologiques sont inclus dans les substances dangereuses au même titre que des agents chimiques ou physiques, mais il n'y a pas de réglementation spécifique pour les agents biologiques. Il n'y a pas d'exigences d'évaluation, mais il est dit que l'employeur est tenu « d'enquêter sur [...] (les) situations comportant des risques dont il a connaissance, de les enregistrer et de les signaler aux autorités désignées par les règlements »

1.2. Généralités sur les agents biologiques

1.2.1. Les agents biologiques

Les agents biologiques sont omniprésents dans l'environnement. La plupart d'entre eux sont inoffensifs pour l'homme, et certains sont indispensables à la vie. Cependant, certains peuvent être à l'origine de maladies plus ou moins graves chez l'homme.

Les agents biologiques comprennent des êtres vivants, qui peuvent être des micro-organismes, tels que les bactéries, les champignons et les virus, ou des organismes de taille plus importante, comme les parasites. Les structures protéiques de type prion sont également incluses dans le terme « agents biologiques ».

Les bactéries

Les bactéries sont des êtres unicellulaires qui ne possèdent pas de vrai noyau mais un appareil nucléaire simplifié. Une des classifications possible se fait selon la réaction de la bactérie à la coloration de Gram. La différence de coloration correspond aux différences fondamentales au niveau de l'enveloppe cellulaire des bactéries : les bactéries Gram négatif ont une paroi cellulaire constituée de couches multiples. Leur membrane externe est constituée en partie de lipopolysaccharides (LPS), caractérisés par la présence d'un lipide, correspondant à l'endotoxine. Pour être actives, les endotoxines doivent être libérées par les bactéries lors de leur lyse ou de leur multiplication, contribuant ainsi au pouvoir pathogène bactérien (Perdrix, Madon et al. 1997; Deloraine, Hedreville et al. 2002).

Les bactéries Gram positif ont une enveloppe simple. Elle est constituée d'une membrane cytoplasmique liée à une couche épaisse et contenant du peptidoglycane (Hours 2003). Parmi les bactéries Gram positif, il est important de présenter particulièrement le groupe des actinomycètes : ce sont des bactéries filamenteuses qui comportent dans leur paroi des déterminants antigéniques, qui sont présentes dans certains milieux de travail comme

les milieux agricoles, l'agroalimentaire ou le traitement des déchets. Elles provoquent de l'asthme et des allergies.

Les virus

Les virus sont des agents infectieux qui ne peuvent vivre et se multiplier qu'à l'intérieur d'une cellule vivante car ils ne disposent pas de l'équipement enzymatique nécessaire pour leur réplication. Ils se composent uniquement d'un génome (ADN ou ARN) entouré d'une coque protéique qui protège le virus lors de son passage extracellulaire. Leur pouvoir pathogène est dû à l'inactivation de la fonction des cellules qui les hébergent ou à leur destruction. Leur survie dans le milieu ambiant varie de quelques heures à plusieurs jours suivant le type de virus et les conditions extérieures.

Les champignons ou mycètes

Les champignons sont des micro-organismes avec noyau, pouvant être unicellulaires (levures) ou pluricellulaires (moisissures). Omniprésents dans l'environnement, les mycètes sont des saprophytes primaires, c'est-à-dire qu'ils utilisent la matière organique morte comme source nutritive pour leur croissance et leur reproduction (Goyer, Lavoie et al. 2001). Cette dernière est essentiellement asexuée, mais un certain nombre de groupes se reproduisent aussi par des spores sexuées. Chaque spore qui germe peut donner lieu à la croissance d'une nouvelle moisissure, laquelle peut, à son tour produire des millions de spores. Les moisissures libèrent leurs spores sous l'effet des mouvements d'air importants ou en réaction à des conditions défavorables. Les genres, tels que *Penicillium* et *Cladosporidium*, qui ont des spores à paroi sèche, facilement dissociables et légères, sont plus facilement dispersés dans l'air. Les concentrations de spores dans l'air étant dépendantes des conditions environnantes, elles varient au cours d'une même journée (Goyer, Lavoie et al. 2001).

Les membranes cellulaires sont riches en substances pro-inflammatoires comme l'ergostérol et les (1,3)- β -D-glucanes, dont l'inhalation provoque chez l'homme des symptômes de l'appareil respiratoire supérieur.

Enfin, certaines moisissures produisent des métabolites secondaires appelés mycotoxines, qui servent de défense contre les autres micro-organismes, et qui présentent une toxicité réelle ou potentielle pour les hommes et les animaux par ingestion, inhalation ou plus rarement par contact. Les effets sur la santé sont encore mal connus, mais certaines variétés ont été classées cancérogène par le Centre International de Recherche contre le Cancer (CIRC). (Le Bâcle 2007).

Les parasites

Les parasites sont des êtres organisés vivants qui, pendant tout ou partie de leur vie se nourrissent aux dépens d'un autre organisme vivant que l'on appelle leur hôte. Parmi les parasites, on distingue principalement les helminthes et les protozoaires.

- ◆ les helminthes (ou vers) sont des êtres pluricellulaires. Cette catégorie comprend les trématodes (douve, bilharzie), les nématodes (ascaris, oxyures, toxocara etc..) et les cestodes (ténia, botriocéphales). La plupart des helminthes parasitent le tube digestif, mais quelques-uns peuvent se localiser dans les organes profonds et entraîner une pathologie à la fois du tube digestif et des tissus profonds. La contamination peut se faire par morsure d'insectes, par ingestion ou par pénétration transcutanée ;

- ◆ les protozoaires sont des organismes unicellulaires eucaryotes présentant une très grande diversité (2 µm à 2 cm). Lorsque les conditions environnementales deviennent défavorables, certains peuvent former des kystes (ou oocystes) qui sont des structures résistantes avec une paroi épaisse et un métabolisme ralenti. Ainsi, ils restent viables plusieurs mois à plusieurs années. Le retour à des conditions favorables induit le phénomène inverse (Bonnard 2001). Quelques exemples : *Toxoplasma gondii*, agent de la toxoplasmose, *Plasmodium falciparum*, agent du paludisme, Giardia ou Cryptosporidium.

Les Agents Transmissibles Non Conventionnels (ATNC) ou Prions

Les prions sont des particules protéiques qui induisent des maladies dégénératives du système nerveux central. Différents prions sont responsables de la « maladie de la vache folle » chez les bovins, la tremblante du mouton ou la maladie de Creutzfeldt-Jakob chez l'homme. Selon l'hypothèse la plus communément admise, il s'agit d'une protéine de la membrane des cellules du système nerveux central. Sous sa forme normale, cette protéine joue un rôle dans la transmission de l'influx nerveux. La forme anormale transforme par simple contact toute protéine normale en prion. L'accumulation des prions dans la cellule finit par la détruire. La contamination semble se faire par ingestion de matériel contaminé. La transmission se fait principalement au sein d'une même espèce, cependant, une transmission inter-espèce est possible mais nécessite une dose infectante plus importante (Bonnard 2001).

Le tableau n°1 indique les principaux genres de bactéries, de moisissures et de levures potentiellement présents dans l'air des milieux de travail selon la littérature.

Tableau 1 : Principaux bioaérosols potentiellement présents dans l'air (Goyer, Lavoie et al. 2001)

Bactéries	Gram négatif	<i>Acinetobacter, Citrobacter, Enterobacter, Escherichia, Flavobacterium, Klebsiella, Legionella, Moraxella, Pseudomonas, Xanthomonas</i>
	Gram Positif	<i>Arthrobacter, Bacillus, Kocuria, Micrococcus, Staphylococcus, Streptococcus, Corynebacterium, Mycobacterium, Saccharopolyspora, Nocardiosis, Streptomyces, Thermoactinomycètes</i>
Champignons	Moisissures	<i>Acremonium sp., Alternaria sp., Aspergillus sp., Aureobasidium sp., Botrytis sp., Chaetomium sp., Cladosporium sp., Epicoccum sp., Fusarium sp., Geotrichum sp., Memnoniella sp., Mucor sp., Paecilomyces sp., Penicillium sp, Phoma sp., Stachybotrys sp., Trichoderma sp., Ulocladium sp.</i>
	Levures	<i>Candida, Cryptococcus, Rhodotorula, Trichosporon, Torulopsis</i>

Parmi les moisissures présentes dans ce tableau, beaucoup produisent des mycotoxines.

1.2.2. Les effets sur la santé

Aujourd'hui, du fait des progrès de la médecine et du vieillissement de la population, la part de personnes sensibles parmi la population générale ne cesse d'augmenter. Les personnes dites sensibles regroupent les femmes enceintes, les personnes âgées, les nouveaux-nés et les personnes immunodéprimées. Or, l'effet d'un micro-organisme sur une personne dépend tout d'abord de l'état de santé de celle-ci. En effet, une personne en « moins bonne forme » aura plus de difficultés à lutter contre une agression extérieure qu'une personne en parfaite santé. Par ailleurs, certains micro-organismes sont dits « opportunistes » : cela signifie que ce sont des agents qui habituellement ne sont pas pathogènes mais qui peuvent le devenir suite à un affaiblissement des défenses immunitaires de l'organisme hôte, comme c'est le cas par exemple pour les personnes dites « sensibles ». En conséquences, certaines maladies que l'on croyait pratiquement éteintes réapparaissent (tuberculose), d'autres déjà connues se développent (légiellose), et d'autres encore font leur apparition (SRAS, grippe aviaire).

Les risques pour la santé liés aux micro-organismes peuvent être de quatre natures différentes : infectieuse, toxinique, immuno-allergique et cancérogène.

◆ Une **infection** est due à la pénétration puis à la multiplication d'un micro-organisme pathogène dans un organisme vivant.

◆ La **toxi-infection** (risque toxinique) est entraînée par la seule présence d'une ou plusieurs toxines sécrétées par des agents biologiques.

◆ L'**allergie** peut se définir comme des symptômes aigus ou chroniques, dus à des agents auxquels le sujet allergique s'est préalablement sensibilisé. L'allergie à un agent est donc toujours précédée par une phase de sensibilisation qui peut prendre plusieurs mois à plusieurs années. Les symptômes inflammatoires sont dus à une réaction immune spécifique mettant en jeu des anticorps. Il existe également des pathologies non allergiques qui ne nécessitent pas de phase de sensibilisation et ne mettent pas en jeu d'anticorps spécifiques. En pratique, il n'est pas toujours facile de faire une distinction entre ces deux mécanismes, car les symptômes sont souvent similaires.

◆ Enfin, le **cancer** se traduit par une multiplication anarchique des cellules. Il peut être entraîné par certains micro-organismes ou résulter de l'évolution de maladies chroniques provoquées par des micro-organismes. Aucun agent biologique ou produit d'agent biologique ne figure dans la liste des agents cancérigènes-mutagènes et toxiques pour la reproduction (CMR) de l'Union européenne. Pourtant, certains virus et certaines mycotoxines sont classées cancérigènes dans le groupe I du Centre International de Recherche contre le Cancer (CIRC) (Groupe I : l'agent est cancérigène pour l'homme).

Dans la suite de ce chapitre, il va être présenté un bilan des effets sur la santé des différents agents biologiques, uniquement par inhalation. Cependant, il faut noter que l'inhalation peut également entraîner une contamination digestive, les particules les plus grosses (diamètre aérodynamique supérieur à 10 µm) s'impactant au niveau des voies aériennes supérieures et pouvant être dégluties secondairement.

Les virus :

Différents types de virus peuvent être transmis par voie aérienne : virus Influenza (grippe), Paramyxovirus, Rhinovirus (rhume, sinusite, bronchite), Adénovirus (atteinte respiratoire aiguë, fièvre, conjonctivites, entérites), Coronavirus (infections des voies respiratoires, rhume, infections digestives). Il s'agit de virus enveloppés, fragiles dont la transmission se fait à une distance restreinte. Le Coxsackievirus (pharyngite vésiculeuse), en revanche, est un virus non enveloppé et peut survivre quelques semaines en milieu extérieur.

Les bactéries :

Voici quelques exemples de pathologies infectieuses dues à l'inhalation de bactéries :

La tuberculose est acquise par inhalation du bacille tuberculeux, habituellement du type *Mycobacterium tuberculosis*. Les signes cliniques associent classiquement fatigue, fièvre peu intense, sueurs nocturnes, toux, et peuvent s'accompagner de dyspnées et de douleurs thoraciques. Cette pathologie a été observée chez des travailleurs en contact avec les déchets.

Les rickettsioses sont liées aux rickettsies, bacilles Gram négatif, responsables d'une grande variété d'affections. La contamination est directe, le plus souvent par inhalation des germes provenant des animaux ou de leur déjections. Cette pathologie a été observée chez des travailleurs en contact avec les déchets.

La légionellose est une maladie provoquée par les légionelles qui sont des bactéries Gram négatif que l'on retrouve à l'état naturel dans les eaux douces et les sols. La transmission à l'homme se fait par inhalation de fines gouttelettes d'eau contaminée. La légionellose est une pneumopathie aiguë grave qui présente une létalité élevée, comprise entre 15 et 20 %. Il existe une forme bénigne, appelée « Fièvre de Pontiac », correspondant à un syndrome pseudo-grippal, guérissant spontanément en 2 à 5 jours.

La brucellose est provoquée par des bactéries du genre *Brucella* par inhalation d'aérosols. Les principaux symptômes sont une fièvre prolongée et des douleurs articulaires. Cette pathologie a été observée chez des travailleurs d'installations d'élevage.

La majorité des pathologies respiratoires allergiques est causée par les actinomycètes thermophiles, et certaines bactéries Gram négatif comme *Erwinia herbicola*. Par exemple, la bactérie *Actinomyces thermophyles* provoque des réactions allergiques comme la pneumopathie d'hypersensibilité.

Les actinomycètes sont retrouvés dans l'ambiance de certaines industries agroalimentaires et dans le secteur du traitement des déchets.

Les champignons :

Les infections provoquées par des champignons sont en général dues à l'inhalation de spores. Peu virulentes, les moisissures sont très opportunistes. La colonisation, l'infection de l'organisme et leurs conséquences peuvent être très variables et complexes ; elles dépendent en grande partie de l'état de l'immunité générale et locale de l'individu et de la présence de lésions des muqueuses. L'espèce la plus fréquente en médecine humaine est *Aspergillus fumigatus*, responsable de 80 à 90 % des aspergilloses humaines. Ses spores sont très résistantes et conservent leur pouvoir pathogène pendant de nombreuses années (Hours 2003). L'histoplasmosse, pathologie moins fréquente, se transmet également par inhalation de spores de l'espèce *Histoplasma capsulatum* qui se trouve notamment dans les excréments d'oiseaux. Les principales moisissures responsables de ces infections opportunistes sont *Aspergillus*, *Acremonium*,

Cladosporium, *Fusarium*, *Mucor*, *Paecilomyces*, *Penicillium* et *Trichoderma* (Goyer, Lavoie et al. 2001)

Cependant, la manifestation la plus commune associée à une exposition aux moisissures est une réaction immuno-allergique, pouvant se décliner sous différentes formes : asthme, rhinites, bronchites allergiques ou encore pneumopathie d'hypersensibilité, due à *Aspergillus fumigatus*. Voici les moisissures les plus impliquées dans des phénomènes d'hypersensibilité : *Alternaria sp*, *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Penicillium*, *Stachybotris* (Perdrix, Madon et al. 1997).

Par ailleurs, le métabolisme des moisissures produit des composés organiques volatils qui causent l'odeur de « moisi » associée à une prolifération fongique. Certains de ces composés peuvent être irritants pour les muqueuses (Goyer, Lavoie et al. 2001)

Les toxines :

Les endotoxines et les mycotoxines provoquent des affections respiratoires similaires, qui peuvent être de type inflammatoire, comme la broncho-pneumopathie chronique obstructive (BPCO) ou le syndrome toxique des poussières organiques (ODTS), ou de type allergique, comme l'asthme, la rhinite ou la pneumopathie d'hypersensibilité.

Le syndrome toxique des poussières organiques peut prendre différents noms suivant le milieu professionnel où il apparaît : fièvre d'inhalation, fièvre des filatures de coton, fièvre des humidificateurs, fièvre des fermiers, fièvre des éleveurs de porc, ou encore fièvre du lundi matin. Il s'agit d'un syndrome pseudo-grippal (frissons et fièvre accompagnés de courbatures) qui apparaît dans les 4 à 6 heures après l'exposition et disparaît spontanément en 20 à 48 heures. Il apparaît souvent le premier jour de travail ou lors de la reprise, puis une tolérance semble s'installer avec la poursuite de l'exposition.

Cette pathologie est largement associée à la présence d'endotoxines, et parfois à celle de certaines mycotoxines (Perdrix, Madon et al. 1997; Hours 2003).

Selon la Commission Internationale de Santé au travail, l'ODTS survient à des concentrations en endotoxines de 1000-2000 ng/m³, mais une bronchoconstriction a été observée pour des concentrations plus faibles, de l'ordre de 100-200 ng/m³ (poussières de coton) (Rosenberg 2005).

La pneumopathie d'hypersensibilité (appelée aussi poumon du fermier ou alvéolite allergique extrinsèque) peut prendre une forme aiguë, subaiguë ou chronique. Quelle que soit la forme, les symptômes sont toux et dyspnée. Pour la forme aiguë, les signes apparaissent 6 à 8 heures après l'exposition, et à la toux et la dyspnée s'ajoutent fièvre, frissons et douleurs musculaires. Les symptômes de la forme subaiguë n'apparaissent qu'après plusieurs semaines d'exposition, et comprennent également un amaigrissement. Ces deux formes sont réversibles à l'arrêt de l'exposition. La forme chronique est due à

une exposition continue à de petites quantités d'allergènes et peut évoluer vers une insuffisance respiratoire (Hours 2003 ; Rosenberg 2005).

Par ailleurs, les endotoxines peuvent entraîner une fatigue inexplicée, des manifestations digestives (nausées, diarrhées...), des maux de tête ou une oppression thoracique. De plus, elles se révèlent être cofacteurs aggravant de certaines pathologies respiratoires (Bonnard 2001).

Outre les affections évoquées précédemment, certaines mycotoxines peuvent entraîner des phénomènes de dépression des défenses immunitaires, entraînant une plus grande sensibilité aux infections (Perdrix, Madon et al. 1997).

Enfin, certaines mycotoxines sont classées cancérigènes par le CIRC. Voici les principales mycotoxines et les genres de moisissures les produisant :

- les aflatoxines par *Aspergillus* ;
- les ochratoxines par *Penicillium* et *Aspergillus* ;
- la famille des trichothécènes par *Fusarium*, *Trichoderma*, *Trichothecium*.

L'aflatoxine compte parmi les substances ayant le potentiel cancérigène et mutagène le plus élevé.

Il faut noter qu'une mycotoxine peut être sécrétée par plusieurs souches de moisissures, mais aussi une moisissure peut sécréter plusieurs mycotoxines différentes.

1.3. La méthode de l'évaluation des risques sanitaires

(D'après le « Guide pour l'analyse du volet des études d'impact », publié par l'InVS en février 2000, et « Évaluation des risques sanitaires dans les études d'impact des installations classées - Substances chimiques », publié par l'INERIS en 2003. Disponibles sur Internet : [http://www.sante.gouv.fr/htm/dossiers/etud_impact/51_ei.htm])

L'évaluation du risque sanitaire (ERS) est un processus qui se décompose par convention en quatre étapes.

1. L'identification des dangers : Elle consiste à identifier des effets indésirables que les substances sont capables de provoquer chez l'homme. Dans un premier temps, cette étape doit faire l'inventaire des substances émises par le procédé industriel. Ensuite, le potentiel d'exposition est apprécié, et les substances pour lesquelles aucune exposition n'est attendue sont éliminées. Enfin, un dernier tri s'effectue suivant leurs effets, les données toxicologiques disponibles, l'importance des émissions... A la fin

de cette étape, les substances qui vont être intégrées dans l'étude doivent être identifiées.

2. L'évaluation de la relation dose-réponse : Elle estime la relation entre la dose ou le niveau d'exposition aux substances, et l'incidence ou la gravité des effets. Cette étape fait appel aux données scientifiques disponibles sur la (ou les) relation(s) entre les niveaux d'exposition et la survenue des dangers étudiés.
3. L'évaluation de l'exposition : Elle consiste à déterminer les émissions, les voies de transfert et les vitesses de déplacement des substances et leur transformation ou leur dégradation afin d'évaluer les concentrations ou les doses auxquelles les populations sont exposées ou susceptibles de l'être.
4. La caractérisation du risque : Elle repose sur l'utilisation des résultats des étapes précédentes, qui sont synthétisés et intégrés sous la forme d'une expression quantitative du risque, lorsque cela est possible. Elle intègre également une discussion sur les incertitudes associées aux estimations du risque.

La méthodologie de l'évaluation des risques ainsi décrite, ne peut s'appliquer qu'aux agents chimiques ou physiques. L'évaluation des risques biologiques présente des difficultés spécifiques à chacune des quatre étapes de la démarche. L'ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) donne les raisons suivantes :

- les bioaérosols cultivables totaux sont des mélanges complexes de particules d'origine microbienne, animale et végétale ;
- les effets sur la santé humaine des bioaérosols sont variés en fonction du bioaérosol spécifique impliqué et de la sensibilité de l'individu. Par conséquent, une limite d'exposition appropriée pour un bioaérosol pourrait ne pas l'être pour un autre ;
- les différentes méthodes d'échantillonnage et d'analyse des bioaérosols qui existent actuellement peuvent déboucher sur des estimations de concentrations en agents biologiques différentes ;
- les informations établissant le lien entre les agents biologiques cultivables et les effets sur la santé sont généralement insuffisantes pour décrire les relations dose-réponse ;
- pour les biocontaminants (endotoxines, mycotoxines...), les preuves ne sont pas actuellement jugées suffisantes pour établir des valeurs limites d'exposition.

Actuellement, à l'exception des endotoxines, il n'existe pas de valeurs limites d'exposition, que ce soit pour les riverains ou pour une exposition professionnelle reconnues nationalement ou internationalement pour évaluer les risques biologiques dus aux

bioaérosols. Des valeurs guides sont toutefois proposées par différents auteurs ou organismes, elles sont présentées dans le tableau 2. Concernant les endotoxines, des valeurs limites d'exposition professionnelles ont été proposé dans plusieurs pays.

Tableau 2 : Propositions de valeurs guides de micro-organismes aéroportés et d'endotoxines dans différentes études de la littérature. D'après Déléry, 2003, et Deloraine, Hedreville et al, 2002.

Appellation	Références	Bactéries totales (CFU/m ³)	Bactéries Gram – (CFU/m ³)	Actinomycètes (CFU/m ³)	Champignons (CFU/m ³)	Endotoxines
Valeurs guides Dutch Occupational Health Association	Heida, 1995 Rapporté par Hours, 2001	10 ⁴	10 ³		10 ⁴ avec 0,5.10 ³ /espèce	
Valeurs limites Scandinavie (OEL)	Dutkiewicz, 1997	5.10 ³ à 10 ⁴	10 ³		5.10 ⁴	
Valeurs limites Pologne	Dutkiewicz, 1997	10 ⁵	2.10 ⁴			
Valeurs limites	Fabriès, 1997	10 ⁴	10 ³			50 EU/m ³ soit 4,5 ng/m ³
Valeurs limites d'exposition sur 8h/j (DECOS)	Heederick, 1997					50 EU/m ³
IRSST	(Lavoie and Marchand 1997)	10 ⁴	10 ³			50 EU/m ³
	Rylander, 1983		10 ³			
	(Millner, 1994 ; Lacey, 1991).			10 ⁶ à 10 ⁸ pour BAAE ou ODTS		
Valeurs guides pour doses sans effet ICOH						- 200 ng/m ³ pour ODTS - 100 ng/m ³ pour effets systémiques - 10 ng/m ³ pour inflammation des voies respiratoires
Valeurs limites d'exposition sur 8h/j	Sigsgaard, 1990	5.10 ³ à 10 ⁴	10 ³			100-200 ng/m ³

1.4. Pratiques actuelles

Les réponses des correspondants et des inspecteurs en DRIRE, DRASS et DDSV ont permis d'identifier la mise en pratique de l'évaluation des risques sanitaires dans les études d'impacts (ERSEI) et lors des inspections des ICPE, et les difficultés liées aux agents biologiques.

En général, les risques biologiques sont bien pris en compte dans l'ERSEI, mais pas toujours lors des inspections. Cependant, les études sanitaires ne contiennent que des considérations générales, mais pas de quantification des risques.

Le risque lié aux bioaérosols le plus souvent rencontré est le risque légionelle provenant des TAR. Les risques de zoonoses en élevages ont également été évoqués, ainsi que des risques provenant de la dissémination de pathogène lors d'épandage de lisier, bien que ne concernant pas la réglementation ICPE.

Selon la grille d'analyse transmise par la DDASS des Bouches-du-Rhône concernant l'étude d'impact de STEP, les agents biologiques sont inclus dans les rejets atmosphériques potentiels, et il est indiqué d'« effectuer une modélisation de la dispersion atmosphérique des aérosols générés par la station (issus notamment des bassins d'aération lors de la mise en route des turbines) afin de connaître le champs d'influence des rejets (savoir si des habitations peuvent être impactées ou ceux-ci retombent dans l'enceinte de la STEP). Sauf si des mesures compensatoires permettent de supprimer le risque de dispersion (aération des bassins par fines bulles, capotage des prétraitements) ».

Toutefois, la DDASS rend un avis conforme à un dossier d'ERSEI de STEP dans lequel les aérosols n'ont pas été retenus, en raison de « l'impossibilité technique de quantifier et de caractériser les émissions d'une part, et en l'absence de VTR pour les micro-organismes d'autre part ».

Enfin, le manque de connaissances sur les bioaérosols en particulier et en microbiologie en général a aussi été mentionné par un inspecteur en DRIRE.

Ces différentes remarques montrent bien le besoin de connaissances, de documents de référence et d'une méthode appropriée aux risques biologiques pour l'évaluation des risques sanitaires.

2. ACTIVITÉS INDUSTRIELLES ET AGRICOLES À RISQUE

2.1. Risques documentés

Dans cette partie, il est présenté les types d'installations qui émettent des bioaérosols dont les concentrations autour des habitations ont été mesurées ou dont l'impact sur la santé des riverains a fait l'objet de publications ou de rapports.

La difficulté majeure en ce qui concerne l'évaluation des risques biologiques est l'absence de valeurs limites d'exposition (VLE) pour les micro-organismes, ainsi que l'absence de valeurs de référence qui représenteraient les valeurs d'un environnement non contaminé. Les auteurs ont généralement comparé les valeurs obtenues sous le vent de l'installation avec les valeurs mesurées au vent, c'est-à-dire au niveau d'une zone qui ne subit pas l'influence de celle-ci.

Par ailleurs, les valeurs présentées doivent être interprétées et comparées avec précaution, puisque celles-ci diffèrent suivant la méthode de prélèvement, d'analyse et les stratégies d'échantillonnage. Enfin, même avec des méthodes de prélèvement et d'analyse identiques, la dispersion des aérosols varie suivant les conditions météorologiques (vent, temps sec ou humide, ciel nuageux ...)

2.1.1. Plates-formes de compostage

Sur les plates-formes de compostage, en plus de la saison et des conditions météorologiques, les émissions de bioaérosols peuvent varier suivant le poste, le type de déchets à composter et la phase de traitement. Dans toutes les études, il est rapporté que les phases qui produisent le plus de bioaérosols sont le criblage, le retournement d'andain, le déplacement de matières avec les chargeurs, le broyage, le déchargement et le nettoyage (Wheeler, Stewart et al. 2001; Sánchez-Monedero and Stentiford 2003; Schlosser and Huyard 2008).

Dans la littérature scientifique, il existe peu d'études épidémiologiques en population générale, et également peu qui se sont intéressées aux concentrations en agents biologiques dans les environs des installations de compostage.

L'Observatoire Régional de la Santé d'Île-de-France a réalisé une revue des études épidémiologiques menées sur les populations riveraines des centres de compostage (Saint-Ouen, Camard et al. 2007). Seules deux études ont été recensées.

La première est une étude qui a été menée en Allemagne auprès de 214 résidents autour des installations de compostage. Les concentrations à distance du site ont été mesurées,

et les résidents ont été interrogés par un médecin sur leur état de santé. Les résultats montrent une prévalence des symptômes respiratoires, oculaires et généraux plus importante chez la population exposée comparativement à la population témoin. Elle est également plus élevée chez les individus dont les domiciles sont les plus proches du site de compostage. La prévalence de certains symptômes est significativement liée à une concentration plus élevée en micro-organismes ($>10^5$ UFC/m³). Enfin, l'étude montre un lien statistiquement significatif entre la durée de résidence dans la zone la plus proche du site (< 200 m) et l'existence d'épisodes de bronchite au cours des 12 derniers mois.

La seconde étude a été menée aux États-Unis. L'exposition des riverains a été évaluée par des mesures de concentrations en *Aspergillus fumigatus*. Leurs antécédents médicaux ont été comparés à ceux d'une population témoin. Aucune différence n'a été trouvée entre les deux groupes de population même pour les riverains les plus fortement exposés.

Une étude épidémiologique récente en milieu professionnel a été réalisée en Allemagne sur 41 sites de compostage : le suivi a été effectué pendant 5 ans sur 123 travailleurs du compostage et 48 témoins. A la fin de cette étude, les salariés du compostage présentent plus souvent des symptômes d'irritation des yeux et des conjonctivites que les témoins alors que la congestion nasale ainsi qu'une augmentation de tous les symptômes allergiques sont plus fréquentes parmi ces derniers. Il existe un doublement des cas de bronchite chronique chez les salariés du compostage après 5 ans d'exposition.

Deux salariés ont déclaré une alvéolite allergique, un salarié a été soigné pour un syndrome toxique des poussières organiques (ODTS) et un autre a présenté une altération sévère des fonctions respiratoires. Une diminution significative du VEMS (volume expiratoire maximale seconde) apparaît chez les salariés du compostage non fumeur par rapport aux témoins. Les auteurs évoquent la possibilité d'un « effet du travailleur sain » en raison de la fréquence plus élevée des symptômes allergiques chez les témoins, susceptible de provoquer une sous estimation des effets sanitaires recherchés. Ils évoquent également l'influence du tabagisme pour expliquer certaines des évolutions observées (bronchite chronique notamment)¹.

Plusieurs études se sont intéressées aux concentrations à distance des installations. Les résultats sont divergents. La concentration maximum en bactéries mésophiles à 200 m d'un centre de compostage s'élève à 10^4 UFC/m³ (Sánchez-Monedero and Stentiford 2003), alors que Wheeler rapporte des concentrations en bactéries totales de 10^3 UFC/m³

¹ Info Santé Déchets n°58, novembre 2007. Suivi de 5 années des symptômes et des fonctions respiratoires chez des salariés du compostage en Allemagne.

à une distance de 150 m (Wheeler, Stewart et al. 2001). En revanche, il relève une concentration maximum de 10^4 UFC/m³ à 150 m en actinomycètes, alors que Deloraine rapporte des concentrations indétectables à 100 m en aval des usines (Deloraine, Hedreville et al. 2002). Enfin, en ce qui concerne les champignons, des concentrations pouvant atteindre 10^4 UFC/m³ à 100 m sont mesurées par Wheeler, et pour Deloraine, l'espèce *Aspergillus fumigatus* est retrouvée jusqu'à 100 m des centres à des concentrations du même ordre de grandeur que dans l'enceinte des usines (10^3 UFC/m³).

Enfin, une synthèse d'une quarantaine d'études et de rapports disponibles publiés depuis une trentaine d'années sur les concentrations en agents biologiques dans l'enceinte des installations a été réalisée récemment par Schlosser (Schlosser and Huyard 2008). Il relève que les étendues de valeurs indiquées dans la littérature sont très larges. La concentration en bactéries totales la plus souvent relevée est 10^4 UFC/m³, mais la concentration la plus élevée atteint 10^7 UFC/m³, elle est rapportée par Deloraine. Les concentrations en actinomycètes sont de 10^4 à 10^5 UFC/m³. Les genres identifiés sont : *Saccharomonospora*, *Thermoactinomyces*, *Streptomyces* et *Faenia*. Pour les bactéries Gram négatif, Schlosser recense un maximum de 10^5 UFC/m³. Parmi ceux-ci, ce sont des germes appartenant à la famille des entérobactéries et aux genres *Klebsiella*, *Proteus*, *Xanthomonas* et *Serratia* qui sont principalement retrouvés. De nombreuses espèces de champignons ont également été identifiées dans l'atmosphère des usines. Leurs concentrations sont très variables suivant les études, le poste observé et la phase de traitement du compost (déversement des déchets, tri, broyage, retournement des andains, etc...). Les genres prédominants sont : *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Fusarium*, *Mucor*, *Penicillium* et *Rhizopus*. Concernant les moisissures totales et l'espèce *Aspergillus fumigatus*, la concentration de 10^4 UFC/m³ est la plus fréquemment relevée. Étant donné la présence de bactéries Gram négatif, certaines études se sont intéressées aux concentrations en endotoxines sur les sites : celles-ci varient extrêmement suivant les études : de 0 à 5000 UE/m³.

Le tableau ci-dessous présente les principaux micro-organismes identifiés dans les aérosols en plates-formes de compostage (Schlosser and Huyard 2008).

Tableau 3 : Principaux micro-organismes identifiés dans les aérosols en plate-formes de compostage

Bactéries	<ul style="list-style-type: none"> - Bactéries Gram négatif : <i>Enterobacter cloacae</i>, <i>E. agglomerans</i>, <i>Klebsiella oxytoca</i>, <i>Pseudomonas fluorescens</i>, <i>P. aeruginosa</i>, <i>Proteus mirabilis</i>, <i>Xanthomonas maltophilia</i>, <i>Serratia rubidea</i> - Bactéries Gram positif : <i>Staphylococcus epidermidis</i>
Actinomycètes	<ul style="list-style-type: none"> - Thermophiles : <i>Saccharopolyspora rectivirgula</i> (syn : <i>Faenia rectivirgula</i>, <i>Micropolyspora faeni</i>), <i>Saccharomonospora</i> spp (dont <i>S. viridis</i>), <i>Thermoactinomyces thalophilus</i>, <i>Thermoactinomyces vulgaris</i> et <i>Thermomonospora</i> spp - Mésophiles : <i>Streptomyces</i> spp
Champignons	<ul style="list-style-type: none"> - Moisissures de décomposition : <i>Aspergillus fumigatus</i>, <i>A. candidus</i>, <i>A. nidulans</i>, <i>A. niger</i>, <i>A. flavus</i>, <i>A. eburneo-cremeus</i>, <i>A. versicolor</i>, <i>Penicillium</i> spp, <i>Eurotium</i> spp, <i>Trichoderma</i> spp, <i>Absidia</i> spp, <i>Rhizopus</i> spp, <i>Emericella</i> spp, <i>Tritirachium</i> spp, <i>Mucor</i> spp - Moisissures saprophytes : <i>Cladosporium</i> spp, <i>Alternaria</i> spp, <i>Verticillium</i> spp, <i>Didymella</i> spp - Levures : <i>Candida</i> spp, <i>Rhodotorella</i> spp, <i>Endomycopsis</i> spp

2.1.2. Centres de stockage des déchets

Il n'existe qu'une étude épidémiologique sur les riverains, et un rapport concernant les concentrations en agents biologiques à proximité des centres de stockage de déchets. D'autres études concernent l'exposition des travailleurs.

L'étude épidémiologique a été réalisée en France sur une population riveraine d'un centre de stockage de déchets ménagers et assimilés du Nord-Pas-de-Calais. L'étude sanitaire montre que la population présentant les symptômes de troubles irritatifs respiratoires (toux, expectoration), une pathologie oto-rhino-laryngologique, des irritations oculaires, des nausées, des difficultés d'endormissement et de l'irritabilité est significativement plus importante que dans les communes alentours (Saint-Ouen, Camard et al. 2007).

Le rapport le plus complet relativement aux concentrations est une étude coordonnée par le Réseau Santé Déchet (RSD) réalisée en 2000 sur deux centres d'enfouissement français afin d'acquérir des données quantifiées de métrologie, d'impact environnemental et d'impact sanitaire sur les salariés (Hours and Berny 2001).

En ce qui concerne l'effet sur la santé des travailleurs, l'étude révèle une présence significativement plus importante de symptômes respiratoires tels que la toux, des troubles rhino-pharyngés ou des états grippaux plus fréquents. De plus, les salariés des centres de stockage sont deux fois plus nombreux à décrire des symptômes d'allergie des

voies respiratoires (type sinusites ou rhinorrhée allergique, mais pas d'asthme) que le groupe témoin.

L'impact des deux sites étudiés sur leur environnement n'est pas similaire : pour le site 1, les caractéristiques microbiologiques de l'air sous le vent au niveau des habitations sont en relation avec l'environnement très verdoyant où ont été effectuées les mesures et la saison. Sur le site 2, un léger impact est relevé, du fait de la présence d'une flore caractéristique de celle de l'ambiance des alvéoles (Bactéries gram positif, *A. fumigatus*), mais à des concentrations plus faibles. L'auteur remarque que le jour des mesures au niveau des habitations riveraines, le vent était changeant sur le site 1, alors qu'il était de direction constante sur le site 2, ce qui pourrait expliquer cette différence de résultats.

Enfin, les zones ressortant comme les plus contaminées sont les alvéoles en cours d'exploitation, et les zones à proximité des effluents de biogaz. Au niveau des alvéoles, les concentrations bactériennes sont variables, allant de 10^2 à 10^5 UFC/m³ avec une forte proportion de bactéries Gram positif. Les concentrations en champignons sont de l'ordre de 10^3 - 10^4 UFC/m³, avec une prédominance du genre *Penicillium*, et la présence de levures. A proximité des effluents de biogaz, la flore bactérienne est dominée par les bactéries Gram négatif, à des concentrations de 10^3 - 10^4 UFC/m³ et pour les champignons, on retrouve les mêmes caractéristiques que dans l'ambiance des alvéoles. Les concentrations en endotoxines sont basses sur les deux sites.

Les autres études ont été menées sur les travailleurs et dans l'enceinte des centres de stockage. Il semblerait que les concentrations en micro-organismes les plus importantes soient observées au niveau des alvéoles en cours d'exploitation. Les concentrations moyennes sont de l'ordre de 10^2 - 10^3 UFC/m³, mais des pics en champignons viables et en bactéries totales jusqu'à 10^5 UFC/m³ ont été observés. Les champignons présents sont le plus souvent *A. fumigatus*, *Penicillium* et *Cladosporium*, les bactéries sont des actinomycètes, des entérocoques, des corynébactéries et *Bacillus sp.* Enfin, des pics en endotoxines sont observés, supérieurs 10 ng/m³ (Déléry 2003; Hours 2003).

2.1.3. Stations de traitement des eaux usées

En station d'épuration, les caractéristiques et la quantité de bioaérosols varient suivant le type de traitement, le type et la quantité d'effluents, et si la station est ouverte ou fermée.

Différentes études ont été menées afin de connaître soit la contamination de l'atmosphère des STEP en micro-organismes suivant certaines modalités (saison, phase de traitement..), soit les effets sur la santé des employés. Elles s'accordent toutes sur le fait que la contamination diminue au fur et à mesure des étapes de traitement. Ainsi, la

phase générant le plus de bioaérosols est le pré-traitement. Le système d'aération influence également les résultats : dans le cas des boues activées, les turbines de surface produisent plus d'aérosols que l'aération des bassins par dispersion de fines bulles.

La majorité des études s'emploient à mesurer les concentrations en germes indicateurs de contamination fécale : coliformes, entérocoques. Mais très peu donnent des valeurs en bactéries totales ou en champignons. Dans son article (Schlosser and Loret 2005), Schlosser indique que les concentrations en bactéries totales varient de 10^3 à 10^5 UFC/m³, et les moisissures sont de l'ordre de 10^2 - 10^3 UFC/m³, confirmé par d'autres articles (Pascual, Pérez-Luz et al. 2003; Karra and Katsivela 2007). Les coliformes totaux et coliformes fécaux ont été mesurés à des concentrations de l'ordre de 10^3 UFC/m³, et les actinomycètes ont été mesurés à 10^4 UFC/m³. Toujours selon Schlosser, des valeurs élevées d'endotoxines ont été relevées à certains postes comme le dégrillage, au dessus des boues activées, à la déshydratation des boues ou lors du nettoyage des ouvrages, jusqu'à 3000 EU/ m³.

D'un point de vue épidémiologique, Schlosser rapporte un manque de cohérence dans les études publiées : alors que certaines rapportent un excès significatif de symptômes respiratoires au sein des travailleurs de station d'épuration (inflammation du nez, de la gorge, des bronches, toux, essoufflement), celui-ci n'est pas retrouvé dans toutes les enquêtes.

Enfin, concernant les valeurs relevées aux alentours des stations, les auteurs s'accordent sur le fait que la qualité de l'air ne semble pas être influencée par la station à partir de 100 m sous le vent de la station (Lavoie, Marchand et al. 1997; Haas, Reinthaler et al. 2002).

Cela ne signifie pas pour autant que les riverains ne sont pas exposés, puisque comme il a été précisé précédemment, l'envol d'aérosols varie suivant la météorologie, la force et la direction du vent. Deux études ne suffisent pas à affirmer l'absence totale de risque.

Pour information, un rapport transmis par la CIRE Bretagne rapporte une épidémie de gastro-entérites qui a eu lieu parmi les participants à une compétition de char à voile en mars 2006. Après investigation, il a été conclu que l'épidémie été due au franchissement par les pilotes des écoulements d'eaux usées épurées rejetées sur la plage. Cela montre qu'une contamination par aérosolisation des eaux d'une station d'épuration, même épurées, est possible (Guillois-Bécel, Briand et al. 2006).

2.2. Installations à étudier

Les risques présentés dans ce sous-chapitre sont des risques professionnels documentés, qui pourraient potentiellement affecter des riverains.

2.2.1. Tri des déchets

Comme il a déjà été mentionné précédemment pour le compostage ou les centres de stockage des déchets, les caractéristiques et la quantité de bioaérosols présents dépend du type de déchets, des caractéristiques du site...

Les centres de tri étant généralement clos, l'impact sur les riverains semble peu probable, il dépend du traitement qui est appliqué aux effluents. Cependant, il semble intéressant de répertorier les éventuels impacts sur les travailleurs.

L'INRS recense un certain nombre d'articles traitant depuis 1976 des affections respiratoires chez les travailleurs de la collecte et du tri des déchets (Rosenberg 2007). Toutes les études s'accordent sur le fait que les travailleurs présentent des symptômes respiratoires aigus ou chroniques en général à un taux significativement supérieur aux témoins. Les manifestations vont de la toux, irritations nasales ou oculaires, sensation d'oppression thoracique, à des bronchites chroniques, de l'asthme ou un ODTS. Certains auteurs rapportent également des manifestations gastro-intestinales de type nausée, diarrhée ou vomissement. Deux études montrent une influence à long terme de l'exposition sur la présence des symptômes.

Enfin, Hours a réalisé en 2002 une revue de la littérature sur les micro-organismes de la filière déchet pour le réseau RECORD (Hours 2003). Dans les centres de tri, la concentration moyenne en champignons viables est de l'ordre de 10^4 UFC/m³, avec un pic à 10^6 UFC/m³ dans une étude au Danemark. Les concentrations en bactéries viables sont plutôt de l'ordre de 10^3 UFC/m³ et les concentrations en endotoxines sont très variables, allant de 0,1 à 350 ng/m³ pour la valeur la plus élevée.

2.2.2. Agriculture et industries agroalimentaires

L'INRS propose une revue de la littérature sur la prévalence de pathologies non infectieuses dues aux agents biologiques dans les secteurs agricoles et agroalimentaires (Rosenberg 2006). Les études présentent des prévalences supérieures à la moyenne de pneumopathies d'hypersensibilité, d'ODTS et de bronchites chroniques dans les secteurs d'activités suivants : élevages de bovins, de porcs et de volailles en batterie, culture céréalière et ensilage, industries de la canne à sucre, de la betterave sucrière, de la pomme de terre, traitement du café, culture de champignons.

Elles rapportent également de nombreux cas de sensations d'oppression thoracique, de fièvre, de toux et d'irritation des voies aériennes supérieures parmi les travailleurs de ces secteurs.

Dans ces milieux de travail, il est habituellement relevé des taux atmosphériques de poussières et d'endotoxines élevés.

Dans l'industrie de la canne à sucre, l'exposition aux spores de *Thermoactinomyces sacchari* a été mise en cause. Dans l'industrie de la betterave, ce sont les moisissures *Aspergillus*, *Penicillium* et *Cladosporium* qui sont les espèces prédominantes.

Par ailleurs, certaines pathologies infectieuses sont présentes, principalement en élevages et en abattoirs puisqu'il s'agit de zoonoses. Ces dernières années, deux épidémies d'ornithose (ou psittacose ou chlamydie aviaire) ont fait l'objet d'une étude de l'INRS (Pelle-Duporte and Gendre 2001). La chlamydie aviaire est une maladie due à la bactérie *Chlamydia psittaci*, qui se transmet exclusivement par inhalation d'aérosols contaminés (poussières ou fientes). Presque toutes les espèces aviaires peuvent héberger cette bactérie. Les épidémies ont eu lieu dans le même abattoir en 1990 et 1998. A chaque fois, des employés ont dû être hospitalisés. 530 cas ont été recensés pour la période 1990-1999 par la société Groupama (assureur).

La fièvre Q est une zoonose causée par la bactérie *Coxiella burnetii*. La plupart des espèces animales peuvent être infectées, mais elle est présente surtout chez les ruminants domestiques (ovins, bovins, caprins). Cette bactérie survie dans le milieu extérieur sous une forme extrêmement résistante et peut être transportée par voie aérienne sur une grande distance. La contamination se fait par inhalation de poussières contaminées. Environ 200 cas sont recensés chaque année, mais il semblerait que ce chiffre soit sous-estimé.¹

Enfin la brucellose est également une zoonose transmise par inhalation, mais elle ne sera pas développée car son incidence annuelle en France est faible (25 cas en 2003).²

2.3. Risques émergents

Le terme de risques émergents mérite d'être précisé.

Selon l'Agence européenne pour la sécurité et la santé au travail, un risque émergent est un risque à la fois nouveau et croissant :

¹ Fiche INRS, Fièvre Q. Septembre 2005. Disponible sur Internet : [<http://www.inrs.fr>]

² Fiche INRS, Brucelloses. Septembre 2005. Disponible sur Internet : [<http://www.inrs.fr>]

- Nouveau signifie que le risque n'existait pas auparavant ou que c'est une question de longue date qui est désormais considérée comme un risque en raison de nouvelles connaissances scientifiques ou de nouvelles perceptions par le public ;
- Le risque est croissant si le nombre de causes du risque est croissant, ou que la probabilité d'y être exposé est croissante, ou que l'effet du risque sur la santé des travailleurs empire.¹

Seuls les risques pour les travailleurs pouvant atteindre les riverains seront mentionnés dans ce paragraphe.

Selon la définition précédente, les experts de l'agence précisent que les trois-quarts des maladies émergentes sont des zoonoses. C'est pourquoi les travailleurs les plus à risques sont ceux qui sont en contacts avec des animaux, vivants ou morts. Ainsi, un rapport relate le cas de travailleurs hollandais qui ont été infectés par le virus aviaire H7N7 en 2003 ou la menace du virus de l'influenza aviaire H5N1 pour les travailleurs en élevages de volailles (Brun, Van Herpe et al. 2007).

Cependant, parmi les risques émergents, il est important de souligner qu'en plus de la définition précédente, la notion de « situations à risques émergentes » doit être évoquée. En effet, l'apparition de nouveaux procédés ou le développement d'installations autrefois marginales suscitent quelques interrogations quant à leur innocuité :

- un nouveau procédé biologique de dénitrification en réacteur vertical ouvert susceptible de relarguer des micro-organismes dans l'atmosphère à une hauteur assez importante, ce qui favoriserait la dispersion de ceux-ci (une étude sur ce procédé est actuellement en cours à l'INERIS) ;
- le développement d'installations de méthanisation.

Un procédé de nettoyage par hydrocurage a également retenu l'attention des services vétérinaires de Lorraine-Alsace. Cette technique consiste à nettoyer les aires de vie des animaux au moyen d'une grosse réserve d'eau relâchée d'un seul coup. La vague ainsi créée entraîne l'ensemble des effluents. Le liquide souillé est recueilli dans une réserve puis décanté afin d'être réutilisé pour le nettoyage suivant. Ce système est efficace, mais il semblerait qu'il produise beaucoup de gaz (ammoniac en particulier) et peut-être des aérosols.

¹ Factsheet 68 FR. Prévisions des experts sur les risques biologiques émergents liés à la sécurité et à la santé au travail. Agence européenne pour la sécurité et la santé au travail. Disponible sur Internet : [<http://osha.europa.eu/en>]

Plusieurs riverains ont signalé des nuisances olfactives et des difficultés respiratoires.
Aucune information n'a été trouvée à ce sujet par les personnes en charge du dossier.

3. ACTEURS

3.1. Réseau français

3.1.1. Services de l'État

Ministère de la Santé de la Jeunesse et des Sports, Directions Régionales des Affaires Sanitaires et Sociales (DRASS) et Directions Départementales des Affaires Sanitaires et Sociales (DDASS)

Contact : Muriel Andrieu-Semmel, Ministère de la Santé de la Jeunesse et des Sports - Direction Générale de la Santé.

Au Ministère de la Santé, les préoccupations liées aux bioaérosols émis par les ICPE concernent principalement les légionelles, et en particulier le développement d'amibes dans les centrales nucléaires (saisine de l'AFSSET en 2004), mais également, les activités d'élevage, de compostage, de stockage des déchets, les STEP et le traitement des effluents aqueux des industries agroalimentaires.

Sous l'autorité des Préfets de région et de département, les DRASS et les DDASS sont des services déconcentrés de l'administration sanitaire et sociale de l'État. Leur rôle est d'assurer la mise en œuvre des politiques nationales, la définition et l'animation des actions régionales et départementales dans le domaine sanitaire, social et médico-social. Elles assurent une mission de santé publique, notamment au travers d'actions de prévention, de surveillance de l'environnement sanitaire, d'information et sensibilisation du public, et d'intervention, dès que le réseau de surveillance décèle une anomalie.

Les DRASS ont été contactées dans le cadre de leur mission de consultation des dossiers de demande d'autorisation pour les ICPE. (*cf chapitre 1.4 du rapport*)

Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de l'aménagement du territoire (MEEDDAT), Directions Régionales de l'Industrie de la Recherche et de l'Environnement (DRIRE) et Directions Départementales des Services Vétérinaires (DDSV)

Contacts : Vincent Delporte, MEEDDAT, Service de l'environnement industriel.

Joël Francart, Chef du bureau des biotechnologies et de l'agriculture, MEEDDAT, Direction générale de la prévention des risques.

Selon le MEEDDAT, les inspecteurs des services vétérinaires appliquent la Circulaire du 19 octobre 2006 concernant l'analyse des études d'impact pour les installations classées d'élevage, qui comporte un paragraphe « Gestion du risque sanitaire » (paragraphe 2.5). Aucune modification de la réglementation n'est envisagée, mais les contacts soulignent la nécessité de mettre à jour les connaissances et la réglementation, comme par exemple la liste des « agents susceptibles d'être dangereux pour l'homme » (annexe 20 de la circulaire).

Les DRIRE assurent des missions principalement pour le compte du Ministère de l'économie, de l'industrie et de l'emploi et du MEEDDAT.

Dans le domaine de l'environnement, la mission des DRIRE est une mission d'inspection des installations classées, qui s'organise autour de trois axes :

- l'encadrement réglementaire : instruire les dossiers de demande d'autorisation, proposer des prescriptions de fonctionnement de l'exploitation, instruire les dossiers de cessation d'activité ;
- la surveillance des installations classées : visites d'inspection, examen des rapports remis par des organismes vérificateurs externes, analyse des procédures de fonctionnement et d'études remises par l'exploitant ;
- l'information auprès des exploitants et du public.

Les inspecteurs des DRIRE ont été contactés, ainsi que les correspondants régionaux pour l'inspection des installations agricoles et agroalimentaires au sein des Services vétérinaires. (*cf chapitre 1.4 du rapport*)

3.1.2. Établissements publics d'appui aux services de l'État

ADEME : Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie

Contact : Isabelle Deportes, Département Animation de la Recherche Déchets et Sols (ARDESO)

L'ADEME est un établissement public à caractère industriel et commercial, placé sous la tutelle conjointe des ministères en charge de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire et de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche. Elle exerce quatre types de missions :

- animation et financement de la recherche et l'innovation
- information du public et communication
- conseil des acteurs socio-économiques
- soutien financier à la concrétisation de projets

Ses domaines d'intervention sont l'énergie, l'air et le bruit, les déchets et les sols, et le management environnemental

Pour accomplir ses missions, l'agence dispose d'une délégation dans chaque région.

En 2003, l'agence a lancé un programme d'études et recherches sur la qualité microbiologique de l'air, mais aucun renseignement n'a pu être obtenu à ce sujet.

Un autre programme est en cours sur les émissions du compostage. Dans ce cadre, une étude se poursuit, en collaboration avec Veolia et l'INRA, dont l'objet est de définir un indicateur d'exposition des populations riveraines aux bioaérosols générés par les sites de compostage. Le premier rapport conclu à « la faisabilité d'une approche moléculaire pour comparer et caractériser la microbiologie des bioaérosols ». Cependant, une seule étude n'est pas suffisante pour généraliser un indicateur, des données supplémentaires seront nécessaires.

CSTB : Centre Scientifique et Technique du Bâtiment

Contact : Mme Thi-Lan Ha, Département énergie santé environnement - Division santé bâtiment.

Le CSTB est un établissement public à caractère industriel et commercial, placé sous la tutelle conjointe du Ministère du Logement et de la Ville et du MEEDDAT.

Les missions du CSTB s'exercent dans les trois domaines suivants :

- recherches scientifiques et techniques et expertises pour le secteur de la construction et le logement ;
- amélioration de la qualité des constructions et de son environnement ;
- amélioration de l'information des professionnels.

De part sa mission initiale de recherche dans le secteur de la construction et du logement, le CSTB travaille surtout sur la qualité de l'air intérieur. Ces dernières années, les travaux de recherche se sont centrés sur la mise au point de nouvelles techniques de mesures des endotoxines et des mycotoxines.

Actuellement, deux travaux de recherche concernant les agents biologiques sont en cours :

- modélisation des panaches de bioaérosols des TAR (Tours aéro-réfrigérantes), en partenariat avec l'INERIS ;
- modélisation de la dispersion atmosphérique des bioaérosols de compostage, en partenariat avec l'INERIS, l'INRA, le CNRS et Agrodéveloppement.

INERIS : Institut National de l'Environnement industriel et des RISques

L'INERIS est un établissement public à caractère industriel et commercial placé sous la tutelle du MEEDDAT. Ses missions sont de réaliser ou faire réaliser des études et des recherches permettant de prévenir les risques que les activités économiques font peser sur la santé, la sécurité des personnes et des biens ainsi que sur l'environnement, et de fournir toute prestation destinée à faciliter l'adaptation des entreprises à cet objectif.

Actuellement, divers programmes d'études sont en cours, en partenariat avec d'autres établissements.

InVS : Institut de Veille Sanitaire

Contact : Agnès Lefranc, Responsable adjointe du Département santé environnement

L'InVS est un établissement public, placé sous la tutelle du ministère chargé de la Santé. Il œuvre dans tous les domaines de la santé publique en réunissant les missions suivantes :

- la surveillance et l'observation permanentes de l'état de santé de la population ;
- la veille et la vigilance sanitaires ;
- l'alerte sanitaire ;
- une contribution à la gestion des situations de crise sanitaire.

Selon les informations fournies, les activités de l'InVS dans le domaine des bioaérosols concernent principalement les légionelles. Des travaux de développement d'un logiciel d'aide à la détection de sources environnementales de légionelles ont également eu lieu.

3.1.3. Organismes de recherche

AFSSET : Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail

Contact : Jean-Nicolas Ormsby, adjoint du chef du département Expertises en santé environnement travail, en charge des risques sanitaires.

L'AFSSET est un établissement public administratif de l'État placé sous la tutelle des ministres chargés de la santé, de l'écologie et du travail. Elle assure différentes missions :

- évaluer les risques dans les domaines de l'environnement et du travail afin d'en assurer la sécurité sanitaire ;
- réaliser ou faire procéder à des expertises par des organismes compétents ;
- fournir aux autorités les informations et les conseils nécessaires à l'élaboration de dispositions législatives et réglementaires ;
- contribuer à la diffusion des connaissances ;

- exercer une veille scientifique et mettre en œuvre des programmes de recherche.

L'agence a rendu des avis en 2006 et 2007 sur le sujets des Légionella dans l'eau des tours réfrigérantes des centres nucléaires de production électrique d'EDF, ces avis sont disponibles sur le site Internet de l'AFSSET : [<http://www.afsset.fr/>]

En ce qui concerne les programmes en lien avec le risque biologique, voici les programmes de recherche des dernières années :

En 2004 : 2 projets retenus étaient susceptibles de concerner les bioaérosols :

- cartographie d'exposition aux risques des populations aux aérosols ;
- le lagunage naturel des eaux usées et risques infectieux.

En 2005 : le thème de recherche est la légionelle.

En 2006, l'agence place dans ses thèmes privilégiés « l'identification des sources environnementales des agents biologiques présentant un risque d'exposition pour l'homme ».

En 2007, parmi les sujets à privilégier se trouve la « caractérisation du danger lié aux moisissures dans l'air intérieur » et « le développement d'approche d'écologie moléculaire pour mieux qualifier microbiologiquement les aérosols ».

Pour les années 2006 et 2007, les projets retenus ne sont pas disponibles en ligne.

En 2008, aucun projet retenu ne concernait le risque lié aux bioaérosols.

Aucune information n'a pu être obtenue en ce qui concerne l'avancement des projets.

CNAM : Conservatoire National des Arts et Métiers

Contact : Delphine Teigné, Hygiéniste du travail et de l'environnement, Cnam IHIE-SSET Ouest

Le CNAM est un grand établissement public, à caractère scientifique, culturel et professionnel. Il est placé sous la tutelle du ministère chargé de l'Enseignement supérieur, il remplit trois missions:

- la formation professionnelle des adultes ;
- la recherche technologique et l'innovation ;
- la diffusion de la culture scientifique et technique.

Le CNAM Pays de la Loire réalise actuellement une étude financée par l'ADEME et en partenariat avec Veolia, Cnam Paris et CNRS de Lyon: les déterminants des bioaérosols bactériens et fongiques issus du compostage des déchets.

INRS : Institut National de Recherche et de Sécurité

Contact : Colette Le Bâcle, Chef de projet Risques biologiques, Département Études et assistance médicales.

L'INRS conduit des programmes d'études et recherches pour améliorer la santé et la sécurité de l'homme au travail. Le bilan de ses recherches lui permet également de déterminer les besoins futurs en matière de prévention. Il fournit aide et conseil aux entreprises et organise des sessions de formation et des actions de sensibilisation pour les animateurs de la prévention en entreprise.

Récemment, les projets de l'INRS concernant les risques des bioaérosols étaient la réalisation de documents et d'outils à l'intention des préventeurs en entreprises, ainsi que la réalisation d'un guide d'évaluation des risques opérationnels dont la sortie est prévue en octobre 2008. D'autres parts, des assistances sont en cours dans les centres de tri et dans les entreprises agroalimentaires utilisant des moisissures, comme pour la salaison ou la fabrication de saucissons secs.

Une thèse a été réalisée sur les mycotoxines en milieu du travail.

Enfin, l'INRS a participé à des rapports européens :

- une première étude sur « le risque biologique encouru par les salariés en Europe », engagée par Eurogip, à la demande de l'INRS (Eurogip 2007) ;
- une deuxième étude, réalisée par l'Agence européenne pour la sécurité et la santé au travail, sur les risques biologiques émergents liés à la sécurité et à la santé au travail (Brun, Van Herpe et al. 2007).

3.1.4. Laboratoires d'analyse

Institut Pasteur de Lille

L'Institut Pasteur de Lille est une fondation totalement autonome et indépendante. Elle a notamment pour activité le développement des Recherches fondamentales et appliquées sur toutes questions théoriques ou pratiques liées à la santé de l'Homme et de son Environnement, et de leurs conséquences sur la santé publique.

Son pôle expertise propose des services aux industries et aux collectivités en apportant des capacités d'analyses, d'expertises et de conseils dans les domaines de :

- biologie médicale spécialisée
- toxicologie génétique
- hygiène hospitalière
- microbiologie et hygiène alimentaire
- eaux et environnement
- nutrition

Il est organisé en un réseau de laboratoires, le réseau IPL.

Dans le domaine des bioaérosols, les interventions proposées sont les suivantes :

Prélèvements, identification et dénombrement de la flore aérobie revivifiante, levures et moisissures dans l'air intérieur et extérieur.

Les analyses d'endotoxines et de mycotoxines ne sont pratiquées mais les endotoxines sont en projet.

LHVP : Laboratoire d'Hygiène de la Ville de Paris

Contact : Fabien Squinazi, Directeur du LHVP

Le LHVP est le laboratoire de la ville de Paris chargé des analyses et expertises scientifiques liées à l'hygiène et à la pollution.

Ses domaines d'activités sont :

- la qualité de l'air intérieur et extérieur ;
- la microbiologie de l'environnement et l'hygiène des collectivités municipales, basées sur des études des eaux de consommation, sanitaires ou usées, des bacs à sable, des piscines... ;
- la biologie médicale et la biotoxicologie proposant des examens microbiologiques et toxicologiques dans le cadre d'une aide au diagnostic médical, par exemple lors d'épidémies.

Dans le domaine des bioaérosols, il réalise des analyses d'air intérieur sur les contaminants suivants : moisissures, endotoxines, allergènes et bactéries.

3.1.5. Entreprises privées

Suez Environnement :

Contact : Olivier Schlosser, Médecin expert au Département Santé & Environnement - Pôle Analyse & Santé

Suez Environnement est une entreprise privée qui opère dans les domaines de la gestion de l'eau, de l'assainissement et de la propreté. Suez Environnement possède également des laboratoires de recherche afin d'améliorer en permanence ses compétences opérationnelles et de construire des offres innovantes respectueuses de l'environnement. Aucune information n'a pu être obtenue sur les études en cours, mais dans les dernières années, des études confidentielles sur les bioaérosols émis par les centres de compostage et les stations d'épuration ont été réalisées.

Veolia Environnement :

Contact : Hélène Morin, Chargée d'Études en Évaluation Sanitaire R&D Santé- D.R.D.T.

Veolia Environnement est une entreprise privée qui propose des services dans les secteurs de l'eau, de la gestion des déchets, des services énergétiques et du transport.

Actuellement, le groupe s'intéresse à la thématique des bioaérosols, notamment par rapport à l'activité du compostage. Dans ce cadre, une collaboration a été mise en place avec l'ADEME et l'INRA pour la réalisation d'une étude dont l'objet est de définir un indicateur d'exposition des populations riveraines aux bioaérosols générés par les sites de compostage.

3.2. Acteurs à l'étranger

EU-OSHA: European Agency for Safety and Health at Work (Europe)

L'Eu-OSHA, ou Agence européenne pour la santé et la sécurité au travail, est l'agence chargée de la protection des travailleurs au niveau européen. Sa mission est la communication et l'information sur la prévention des risques au travail, par le biais de collecte et mise à disposition des connaissances auprès des employeurs et des travailleurs.

En 2007, l'Observatoire européen de l'Agence a publié un rapport sur les risques biologiques émergents, mais le sujet des risques biologiques n'est pas une priorité pour l'année 2008. (Rapport disponible sur le site Internet de l'Eu-OSHA : [http://osha.europa.eu/en/riskobservatory/risks/forecasts/biological_risks/])

ACGIH : American Conference of Governmental Industrial Hygienists (États-Unis)

L'ACGIH est une organisation américaine dont le premier objectif est de faire progresser la santé environnementale et la santé au travail. Elle est organisée en 11 groupes de travail qui sont en charge d'un éventail de sujets, parmi lesquels « les bioaérosols ». Parmi leurs autres objectifs figurent la collecte et la diffusion d'informations à destination des professionnels de l'hygiène industrielle. Pour cela, des rencontres, des congrès, des conférences, ainsi que des formations sont organisés, et une revue est éditée : « Journal of Occupational and Environmental Hygiène ».

Périodiquement, l'organisation publie ses « Threshold Limit Values for Chemical Substances » (Valeurs limites d'exposition aux substances chimiques, remise à jour) qui sont une référence pour les professionnels de la sécurité au travail.

Récemment l'ACGIH a publié un guide sur l'évaluation, le contrôle, le traitement et la prévention des contaminants dérivés d'agents biologiques dans les environnements

intérieurs et propose également des indices d'exposition biologique. (ACGIH. Bioaerosols : Assessment and Control. J.M.Macher, Ed ; H.M.Ammann, H.A.Burge, D.K.Milton, and P.R.Morey, Asst.Eds.ACGIH, Cincinnati, OH (1999))

CDC: Centers for Disease Control and Prevention (États-Unis)

Les CDC sont des composants du « Department of Health and Human Services », qui est lui même une agence du gouvernement des États-Unis en charge de la protection de la santé des américains. La mission des CDC est de promouvoir la santé et la qualité de vie en prévenant et contrôlant les maladies et les préjudices.

Dans ce but les CDC :

- détecte et enquête sur les problèmes de santé
- conduit des recherches pour améliorer la prévention
- développe des politiques de santé publique
- informe la population en matière de santé.

Concernant le risque biologique, la prévention est faite autour des moisissures à l'intérieur des habitations et le risque encouru.

Parmi les départements des CDC, le NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health) assure la sécurité sur les lieux de travail à travers des actions de recherche et de prévention. Il émet des recommandations sur les standards et les niveaux de sécurité d'exposition à des substances toxiques. Il conduit des recherches sur les questions de santé et sécurité au travail, éventuellement en partenariat avec d'autres agences ou des organismes privés. Il est également l'acteur de la sensibilisation et la formation des travailleurs pour la sécurité sur leur lieu de travail.

Actuellement, dans le domaine des bioaérosols, la préoccupation majeure du NIOSH est la protection des travailleurs en élevages de volailles contre le virus de la grippe aviaire.

(Ressources disponibles sur Internet : [<http://www.cdc.gov/niosh/topics/avianflu/>])

L'autre préoccupation est le risque de développement des moisissures dans les bâtiments ayant subi des inondations. Des études sont en cours sur ces sujets. (Ressources disponibles sur Internet : [<http://www.cdc.gov/mold/>])

OSHA : Occupational Safety and Health Agency (États-Unis)

Aux États-unis, l'OSHA est chargée de la protection des travailleurs. Le rôle de cette agence est de promouvoir la santé et la sécurité des travailleurs américains, en fixant et en renforçant les standards. C'est elle qui fait la réglementation en matière de Santé et Sécurité au travail. Elle propose également un appui technique et conseille les employeurs, et possède un rôle d'inspection.

En 2006, un guide pour la prévention des problèmes en relation avec les moisissures dans les environnements intérieurs a été publié. (Disponible sur Internet : [http://www.osha.gov/Publications/preventing_mold.pdf])

ASPC : Agence de la santé publique du Canada (Canada)

Les missions de l'ASPC sont de promouvoir et protéger la santé des Canadiens grâce au leadership, aux partenariats, à l'innovation et aux interventions en matière de santé publique. Sur le site Internet de l'ASPC sont disponibles des Fiches Techniques Santé/Sécurité (FTSS) ([<http://www.phac-aspc.gc.ca/msds-ftss/index-fra.php>]). Ces fiches sont conçues pour renfermer de l'information sur les dangers à la santé tels que les doses infectieuses, la dissémination, la viabilité (incluant la décontamination), de l'information sur les aspects médicaux, les dangers pour le personnel de laboratoire, etc... L'objet principal de ces documents est de fournir une ressource en sécurité pour le personnel de laboratoire qui doit composer avec ces substances infectieuses, les fiches contiennent donc de l'information spécifiquement relative au travail en laboratoire.

IRSST : Institut de Recherche Robert-Sauvé en Santé et en Sécurité du Travail (Canada)

Au Canada, l'IRSST est un organisme privé de recherche scientifique dont la mission principale est la recherche pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles. Il offre également des services de laboratoires et l'expertise nécessaires à l'action du réseau public de prévention en santé et en sécurité du travail, assure la diffusion des connaissances, et joue un rôle de référence scientifique et d'expert.

En 2001, il propose un guide pratique pour l'évaluation, le contrôle et la prévention de l'exposition aux bioaérosols (Goyer, Lavoie et al. 2001)

En 2005, l'IRSST a lancé de nombreux projets de recherche sur le thème des bioaérosols dans tous les milieux de travail (site de l'IRSST), et plus spécifiquement en centres de compostage et en STEP.

EnHealth Coucil (Australie)

En Australie, l'EnHealth (abréviation de Environmental Health) Coucil est l'organisme national responsable des questions de santé environnementale. Il fixe les priorités, coordonne les politiques et les programmes nationaux et sert de lien entre les instances internationales et les acteurs de la santé environnementale en Australie.

Il a publié deux guides concernant l'évaluation des risques sanitaires, dont l'un propose une méthode d'évaluation des risques biologiques. Il est précisé que cette méthode a d'abord été utilisée pour les risques biologiques liés à l'eau et aux aliments, mais qu'elle peut-être adaptée pour l'appliquer à l'air. Les guides sont disponibles sur le site Internet : [<http://enhealth.nphp.gov.au/council/pubs/ecpub.htm>]

4. DISCUSSION

Une évaluation des risques se déroule en quatre étapes. Voici les difficultés qui ont été identifiées à chaque étape pour la réalisation d'une évaluation des risques liés à des bioaérosols. Il est considéré que la seule voie d'exposition aux bioaérosols est l'inhalation.

Identification des dangers

Il existe aujourd'hui trop peu d'études qui ont pu mettre en relation la survenue de pathologies avec la présence de micro-organismes. Les raisons sont multiples :

- la majorité des études ont été réalisées sur des travailleurs, ce qui induit naturellement un biais du « travailleur sain » ;
- ensuite, les méthodes de prélèvement et d'analyse des bioaérosols ne sont pas encore opérationnelles, comme pour les organismes viables non cultivables qui peuvent provoquer des infections ou des réactions immuno-allergiques (par exemple spores de champignons) ;
- les méthodes de prélèvement et d'analyse actuelles sont onéreuses, il n'est pas toujours possible d'y avoir recours autant qu'il serait nécessaire lors de la réalisation d'une étude pour des raisons financières ;
- les symptômes mis en évidence sont non spécifiques (maux de tête, fatigue, toux rhinite, bronchite, asthme) ou certains cas sont asymptomatiques, ce qui provoque une sous-estimation, des cas lors de réalisation d'enquêtes ;
- enfin, seuls les effets aigus, apparaissant rapidement après l'exposition, peuvent être associés à une exposition particulière. Le plus souvent, les effets chroniques ne sont pas reconnus et peu documentés.

En conclusion, les micro-organismes présentant un danger sont encore mal connus, ainsi que le danger associé.

Relation dose-effet

Il existe actuellement un vide scientifique au niveau des relations dose-réponse concernant les agents biologiques. Une des raisons à cela peut être que cette relation dépend des caractéristiques de l'hôte : état de santé, âge, sexe...

Certains auteurs ou organismes de recherches se sont tout de même hasardés à proposer des valeurs limites d'exposition, en particulier pour les endotoxines. Les organismes opportunistes sont également un problème pour l'évaluation des risques, puisqu'ils ne sont dangereux que pour les populations sensibles. La population cible de l'évaluation doit donc être parfaitement caractérisée.

Enfin, la réaction allergique est une réaction particulière, qui est toujours précédée d'une phase de sensibilisation qui peut prendre plusieurs mois à plusieurs années, la durée de celle-ci variant d'un individu à l'autre. L'établissement d'une relation dose-réponse pour une réaction allergique paraît donc délicat à envisager.

Évaluation de l'exposition

L'occurrence et la concentration des micro-organismes sont variables dans le temps (variations journalières et saisonnières) et dans l'espace, limitant la signification de mesures ponctuelles réalisées dans les milieux environnementaux. La source de contamination peut elle-même être variable : pour les activités de traitement des déchets, la charge et le type de micro-organismes diffèrent suivant le type et l'âge des déchets et la phase de traitement. Pour une station de dépollution, c'est l'état sanitaire de la population desservie qui influe sur la qualité microbiologique des rejets. Comme il a été expliqué pour l'étape précédente, les méthodes de prélèvement et d'analyse restent encore à améliorer. De plus, étant donné l'absence de norme et l'abondance de méthodes et d'outils existant pour la réalisation de prélèvements et d'analyses, une normalisation des pratiques semble nécessaire afin de pouvoir effectuer des comparaisons d'exposition.

L'hétérogénéité des concentrations publiées dans les différentes études illustre bien la difficulté de l'évaluation de l'exposition et la question de la significativité des résultats.

Caractérisation du risque

Compte tenu des incertitudes importantes existant, tant sur les relations dose-effet que sur les données d'exposition, la caractérisation du risque semble complexe et prématurée en l'état actuel des connaissances.

De plus, un des éléments qui reste très difficile à évaluer est le risque infectieux pour la communauté. Les niveaux de risque calculés (s'ils peuvent l'être) se rapportent à un individu isolé. La prise en compte des transmissions secondaires dans une communauté paraît difficile à estimer, à moins de disposer de données sur les taux d'attaque secondaires à partir d'épidémies.

En conclusion, même en l'absence d'une quantification du risque, la prise en compte de l'aspect sanitaire doit conduire à mettre en place des mesures de réduction à la source, et de protection afin de limiter l'exposition, et donc le risque.

En complément de toutes les difficultés évoquées précédemment, les contacts établis pour cette étude ont mis en évidence le besoin de connaissances, de documents de

référence et d'une méthode appropriée aux risques biologiques pour l'évaluation des risques sanitaires.

Propositions :

Suite à ce travail, quelques propositions peuvent être suggérées :

- d'un point de vue réglementaire, les agents biologiques devraient être intégrés à la réglementation des ICPE comme risque particulier, et une liste des agents biologiques dangereux pourrait être ajoutée à la réglementation, au même titre qu'il existe une liste des substances dangereuses pour les inspecteurs des ICPE, comprenant les bactéries, mais également les fragments d'origine biologique (endotoxines, mycotoxines...);
- étant donné le grand nombre de lacunes scientifiques identifiées, les recherches sur les bioaérosols doivent se poursuivre, avec une priorité sur la métrologie afin de développer et d'harmoniser des méthodes de prélèvement et d'analyse adaptées, pour pouvoir comparer des concentrations mesurées entre elles ;
- une surveillance du personnel d'installation « à risques » (plates-formes de compostage, installations d'élevages, agriculture...) devrait être mise en place, avec en particulier un contrôle régulier des fonctions respiratoires, ce qui permettrait de mettre en évidence des dangers ;
- alors que les études aux alentours des centres de compostage commencent à être nombreuses, les environnements des STEP, des centres de stockages des déchets, des fermes d'élevages, des centres de tri et des industries agroalimentaires ne sont que très peu, voire pas du tout documentés ;
- A l'exemple du Royaume-Uni, la France a imposée une distance minimum de 50 à 200 m (suivant les étapes de traitement réalisée sur le site) entre l'installation de compostage et les habitations¹. Ce principe peut être appliqué à d'autres installations.

¹ Arrêté du 22/04/2008 fixant les règles techniques auxquelles doivent satisfaire les installations de compostage ou de stabilisation biologique aérobie soumises à autorisation en application du titre Ier du livre V du code de l'environnement. JORF n° 114 du 17 mai 2008 page 8058

CONCLUSION

Les objectifs de ce mémoire étaient de faire un bilan des connaissances sur les risques liés aux bioaérosols émis par les ICPE pour la santé des riverains et des réglementations, et dans un deuxième temps, d'identifier des acteurs qui œuvrent dans le domaine de l'évaluation des risques liés aux bioaérosols.

Au regard de la littérature qui a été consultée, les effets des agents biologiques inhalés ne sont plus à démontrer, seules les relations dose-réponse restent difficiles à évaluées. Les risques ne sont pas infectieux, mais immuno-allergiques et toxiques. Les principaux organismes en cause sont les moisissures, avec les genres *Aspergillus*, *Penicillium* et *Cladosporium*, et les bactéries de l'ordre des actinomycètes. Les sous-produits des micro-organismes sont aussi mis en cause : endotoxines, mycotoxines, glucanes, peptidoglycanes. Les principaux symptômes d'une exposition sont maux de tête, toux, asthme, infections des voies respiratoires inférieures et supérieures. Une exposition prolongée à ces composés peut conduire à des pathologies chroniques plus graves.

Les installations considérées comme propices à l'émission de bioaérosols dans l'atmosphère sont les usines de traitement des déchets (compostage, stockage, tri), les stations d'épuration des eaux usées, les fermes d'élevage et les industries agroalimentaires comme les industries céréalières. Toutefois, il n'existe que très peu d'études sur les concentrations en micro-organismes aux environs des installations, ou d'études épidémiologiques, et les résultats des études existantes sont souvent contradictoires. Les méthodes d'analyse utilisées sont diverses, il est donc difficile de comparer les niveaux d'exposition entre eux, et les études d'effets cliniques sur les travailleurs ne concernent généralement que des petit effectifs.

En Europe, contrairement aux riverains, les travailleurs disposent d'une loi qui les protège contre les risques liés à l'exposition à des agents biologiques. Aux États-Unis et au Canada, il n'existe aucune réglementation, que ce soit pour les travailleurs ou pour la population générale. Cependant, partout dans le monde, les organismes de Santé et Sécurité au travail se soucient de plus en plus des risques liés aux bioaérosols, certains publiant des guides d'évaluation, d'autres travaillant sur les relations dose-réponse et la métrologie.

En France, de nombreux organismes s'intéressent au sujet des risques sanitaires liés aux bioaérosols. Au niveau des services de l'État, la mise à jour de la réglementation, avec l'intégration des agents biologiques a été suggérée, mais aucune modification de la réglementation n'est envisagée actuellement. Pour les établissements publics d'appui à

l'État et les organismes de recherche, les programmes de recherche sont axés principalement sur les bioaérosols du compostage (modélisation, caractérisation), et sur les légionelles des TAR (modélisation du panache). Enfin, quelques laboratoires proposent des analyses des contaminants biologiques (bactéries moisissures, endotoxines) de l'air, intérieur ou extérieur. Du côté des entreprises privées, des études sont également en cours, sur les bioaérosols des centres de compostage et des STEP.

Cette étude a mis en évidence des insuffisances scientifiques et réglementaires, qui débouchent sur des propositions d'actions :

- continuer les recherches sur les bioaérosols, et en particulier en métrologie afin de normaliser les techniques de prélèvements et d'analyse ;
- mettre en place des études à long terme sur la santé des riverains d'installations à risques, et sur les travailleurs, afin de confirmer l'existence d'un risque ;
- réaliser des mesures de concentrations aux alentours des installations les moins documentées : STEP, centres de stockages des déchets, fermes d'élevages, centres de tri et industries agroalimentaires ;
- intégrer les agents biologiques à la réglementation des ICPE comme risque distinct du risque chimique, avec une méthode d'évaluation propre, qui pourrait s'appuyer sur le guide d'évaluation des risques biologiques pour les travailleurs en cours de réalisation à l'INRS.

BIBLIOGRAPHIE

Bonnard, R. (2001). Le risque biologique et la méthode d'évaluation du risque. Verneuil-en-Halatte, Ineris: 70 p.

Brun, E., S. Van Herpe, et al. (2007). Expert forecast on Emerging Biological Risks related to Occupational Safety and Health. Luxembourg, European Agency for Safety and Health at Work: 145 p.

Cochet, A. (2004). Prise en compte des effets sur la santé des installations industrielles : Description des réglementations et des pratiques en France et à l'étranger. Propositions d'évolution. Rennes, École Nationale de la Santé Publique.

Déléry, L. (2003). Données disponibles pour l'évaluation des risques liés aux bioaérosols émis par les installations de stockage des déchets ménagers et assimilés. Verneuil-en-Halatte, INERIS: 30 p.

Deloraine, A., L. Hedreville, et al. (2002). Étude bibliographique sur l'évaluation des risques liés aux bioaérosols générés par le compostage des déchets. Grenoble, ADEME/CAREPS.

Eurogip (2007). Le risque biologique encouru par les salariés en Europe. Quelle ampleur ? Quelle prévention ? Paris, Eurogip: 43 p.

Goyer, N., J. Lavoie, et al. (2001). Les bioaérosols en milieu de travail: guide d'évaluation, de contrôle et de prévention. Montréal, Québec, IRSST: 87 p.

Guillois-Bécel, Y., A. Briand, et al. (2006). Épidémie de gastro-entérites liée à une compétition de chars à voile Hermanville-sur-Mer (14), mars 2006. Rennes, InVS: 8 p.

Haas, D., F. Reinthaler, et al. (2002). "Comparative investigation of airborne culturable microorganisms in sewage treatment plants." Central European Journal of Public Health **10**(1-2): pp. 6-10.

Hours, M. (2003). État des connaissances sur les micro-organismes dans la filière déchets, RECORD: 122 p.

Hours, M. and P. Berny (2001). Étude des polluants atmosphériques émis dans deux centres de stockage des ordures ménagères; caractérisation et mesure des niveaux d'exposition; mise au point d'outils de suivi en vue de l'évaluation des risques sanitaires. Lyon, Record/ADEME: 371 p.

Karra, S. and E. Katsivela (2007). "Microorganisms in bioaerosol emissions from wastewater treatment plants during summer at a Mediterranean site." Water Research **41**(6): pp. 1355-1365.

Lavoie, J. and G. Marchand (1997). Détermination des caractéristiques à considérer d'un point de vue de santé et sécurité des travailleurs dans les centres de compostage des déchets domestiques. Montréal, IRSST: 37 p.

Lavoie, J., G. Marchand, et al. (1997). Contaminants biologiques dans les centres de traitement des eaux usées. Montréal, IRSST: 22 p.

Le Bâcle, C. – Les Risques biologiques en milieu professionnel. Point de Repère PR 28. INRS - Hygiène et Sécurité du Travail – Cahiers de Notes Documentaires, 2007, 207, 2^e trimestre 2007, pp 85-96. Disponible uniquement sur Internet : [<http://www.inrs.fr>]

Pascual, L., S. Pérez-Luz, et al. (2003). "Bioaerosol emission from wastewater treatment plants." Aerobiologia **19**(3): pp. 261-270.

Pelle-Duporte, D ; Gendre, J.C. – Épidémies d'ornithose dans un abattoir de volailles. Études et Enquêtes TF 99. INRS, Documents pour le médecin du travail, 2001, 85, 1^e trimestre 2001, pp 49-57. Disponible sur Internet : [<http://www.inrs.fr>]

Perdrix, A., N. Madon, et al. (1997). Risques biologiques autres qu'infectieux. Encyclopédie médico-chirurgicale, Toxicologie-Pathologie professionnelle. Elsevier. Paris: 6 p.

Rosenberg, N. – Affections respiratoires non infectieuses professionnelles liées aux agents biologiques. Physiopathologie et réactions syndromiques. Fiche d'allergologie-pneumologie professionnelle TR 35. INRS, Documents pour le médecin du travail, 2005, 102, 2^e trimestre 2005, pp 235-244. Disponible sur Internet : [<http://www.inrs.fr>]

Rosenberg, N. – Affections respiratoires professionnelles non infectieuses dues aux agents biologiques. Secteurs agricole et agroalimentaire. Fiche d'allergologie-pneumologie professionnelle TR 37. INRS, Documents pour le médecin du travail, 2006, 106, 2^e trimestre 2006, pp 225-238. Disponible sur Internet : [<http://www.inrs.fr>]

Rosenberg, N. – Affections respiratoires professionnelles non infectieuses dues aux agents biologiques. Secteur des déchets : collecte, tri et valorisation. Fiche d'allergologie-pneumologie professionnelle TR 39. INRS, Documents pour le médecin du travail, 2007, 110, 2^e trimestre 2007, pp 229-236. Disponible sur Internet : [<http://www.inrs.fr>]

Saint-Ouen, M., J. Camard, et al. (2007). Le traitement des déchets ménagers et assimilés en Ile-de-France: Considérations environnementales et sanitaires. ORS Ile-de-France: 210 p.

Sánchez-Monedero, M. A. and E. I. Stentiford (2003). "Generation and Dispersion of Airborne Microorganisms from Composting Facilities." Process Safety and Environmental Protection - Solid Waste Management **81**(3): pp. 166-170.

Schlosser, O. and A. Huyard (2008). "Les bioaérosols en plate-forme de compostage: exposition et risque professionnel." Environnement, Risque et Santé **7**(1): pp. 37-45.

Schlosser, O. and J. F. Loret (2005). "Dossier : Risques sanitaires et qualité de l'air - Le risque des bioaérosols dans l'environnement des stations d'épuration." Techniques Sciences et Méthodes, Génie urbain Génie rural **7-8**: pp. 43-50.

Wheeler, P. A., I. Stewart, et al. (2001). Health Effects of Composting: A Study of Three Compost Sites and Review of Past Data. Bristol, UK, Environmental Agency: 111 p.

Sites Internet :

INERIS, Aida. [visité le 27.05.2008], disponible sur Internet : <http://aida.ineris.fr/>

IRSST [visité le 17.07.2008], disponible sur Internet : <http://www.irsst.qc.ca/fr/accueil.html>

Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire, Prévention des risques et lutte contre les pollutions, Inspections des Installations classées. [visité le 27.05.2008], disponible sur Internet : <http://installationsclassees.ecologie.gouv.fr>

The Environment Agency. [visité le 10.07.2008], disponible sur Internet : <http://www.environment-agency.gov.uk/>

LISTE DES ANNEXES

Annexe I: Lettre envoyée aux correspondants des DRASS	III
Annexe II : Lettre envoyée aux correspondants des DRIRE.....	V
Annexe III : Lettre envoyée aux correspondants des DDSV.....	VII
Annexe IV : Classification des agents biologiques des groupes 2, 3 et 4	IX

Annexe I: Lettre envoyée aux correspondants des DRASS

Madame, Monsieur,

Je réalise actuellement un stage à l'Ineris, sur le thème des bioaérosols émis par les industries et le risque que cela peut représenter pour la santé des riverains.

Mon objectif est d'identifier les risques actuellement pris en compte, et les situations à risques émergentes dans ce domaine.

Dans le cadre de consultation de dossiers de demande d'autorisation pour les ICPE :

- Pour quels secteurs d'activités avez-vous rencontré des dossiers qui relèvent du risque biologique ?

- Avez-vous des suspicions pour d'autres secteurs ?

- Avez-vous reçu des plaintes de riverains relevant de risques biologiques au sujet d'ICPE ?

Si vous avez d'autres informations à me fournir en ce qui concerne le risque biologique ou les maladies émergentes, vous pouvez également les ajouter.

Annexe II : Lettre envoyée aux correspondants des DRIRE

Madame, Monsieur,

Élève ingénieur à l'École des Hautes Études en Santé Publique de Rennes (ex-ENSP), je réalise actuellement un stage à l'Ineris, à la Direction des Risques Chroniques, sous la tutelle de Laure Déléry.

Je travaille sur les bioaérosols émis par les industries et le risque que cela peut représenter pour la santé des riverains. Un de mes objectifs est d'identifier les risques actuels et émergents dans ce domaine.

En raison de la mission d'inspection des DRIRE, j'ai pensé que vous pourriez avoir quelques renseignements à me communiquer à ce sujet :

- Quelles sont les installations (ou type d'installation) que vous rencontrez le plus souvent et qui sont génératrices de bioaérosols présentant un risque pour la santé des riverains ?

- Quels risques biologiques avez-vous déjà rencontrés dans des études d'impact (volet risques sanitaires) ?

- Ces dernières années, avez-vous été confronté à de nouvelles situations? Si oui, quel(s) risque(s) et sur quel type d'installation ?

- Connaissez vous des organismes ou des personnes qui seraient susceptibles de me renseigner sur ce sujet ? Si oui, pouvez-vous m'indiquer leurs coordonnées ?

Si cela est possible, pouvez-vous me transmettre un exemple d'étude d'impact dans lequel apparaît un (ou plusieurs) des risques énoncés dans les questions précédentes ?

Si vous avez d'autres informations à me fournir en ce qui concerne le risque biologique dans les études d'impact, vous pouvez également les ajouter.

Annexe III : Lettre envoyée aux correspondants des DDSV

Madame, Monsieur,

Élève ingénieur à l'École des Hautes Études en Santé Publique de Rennes (ex-ENSP), je réalise actuellement un stage à l'Ineris, à la Direction des Risques Chroniques, sous la tutelle de Laure Déléry.

Comme vous le savez, la réglementation exige la réalisation d'une étude d'impact lors d'un projet d'implantation d'une entreprise ou d'un nouveau procédé de production (réglementation ICPE). L'évaluation des risques biologiques est une discipline encore très peu développée par rapport à l'évaluation des risques chimiques en dehors du domaine alimentaire. Dans le domaine biologique, la démarche d'évaluation des risques est beaucoup moins développée : les données pour évaluer le risque lié à des expositions environnementales font défaut. De plus, le risque biologique présente de nombreuses spécificités qui empêchent une simple transposition de la méthodologie du domaine chimique au domaine biologique.

C'est dans ce contexte que l'INERIS a proposé un sujet de stage pour un Ingénieur du Génie Sanitaire.

Les objectifs sont :

- d'identifier un réseau d'acteurs français ayant une compétence pour l'évaluation du risque lié aux bioaérosols (pour savoir à qui s'adresser lorsqu'on a besoin d'un renseignement, d'une analyse....);
- faire un bilan des risques pris en compte actuellement au cours d'inspections ou d'ERS;
- identifier les situations à risques ou des problèmes sanitaires émergents, toujours en lien avec les bioaérosols émis par des ICPE.

Les enjeux sont multiples:

- structurer un réseau grâce à l'identification des acteurs;
- l'identification des risques actuels et émergents permettra à l'INERIS de mieux répondre aux demandes qui lui sont faites dans ce domaine;
- par ailleurs, il serait cohérent avec le développement de l'INERIS dans le domaine du risque chimique de prévoir un développement dans le domaine du risque biologique;
- le recensement et la structuration des connaissances permettront de mettre en évidence les lacunes scientifiques et techniques et de proposer des projets de recherche, des axes d'étude à développer et peut-être une réglementation plus spécifique.

En raison de la mission d'inspection des services vétérinaires sur les installations agricoles et agro-alimentaires, j'ai pensé que vous pourriez avoir quelques renseignements à me communiquer en ce qui concerne l'identification des risques actuellement pris en compte, et les situations à risques, émergentes dans ce domaine :

- Prenez-vous en compte le risque sanitaire d'origine biologique lors de vos inspections ou dans la réalisation d'études d'impact ?

- Quelles sont les installations (ou type d'installation) qui sont le plus souvent génératrices de bioaérosols présentant un risque pour la santé des riverains ?

- Quels risques biologiques avez-vous déjà rencontrés dans des études d'impact (volet risques sanitaires) ?

- Ces dernières années, avez-vous été confronté à de nouvelles situations? Si oui, quel(s) risque(s) et sur quel type d'installation ?

Si vous avez d'autres informations à me fournir en ce qui concerne le risque biologique dans les ICPE, vous pouvez également les ajouter.

Annexe IV: Classification des agents biologiques des groupes 2, 3 et 4, extrait de la directive 2000/54/CE

NOTES INTRODUCTIVES

1. Conformément au champ d'application de la directive, seuls les agents connus pour provoquer des maladies infectieuses chez l'homme doivent être inclus dans la classification.

Le cas échéant, des indicateurs du risque toxique et allergique potentiel des agents sont ajoutés.

Les agents pathogènes pour l'animal et les plantes qui sont connus pour ne pas avoir d'effet sur l'homme n'ont pas été pris en considération.

Les micro-organismes génétiquement modifiés n'ont pas été pris en compte pour l'établissement de la présente liste d'agents biologiques classifiés.

2. La classification des agents biologiques repose sur les effets de ces agents sur des travailleurs sains.

Les effets particuliers sur des travailleurs dont la sensibilité pourrait être modifiée pour une ou plusieurs raisons, telles qu'une pathologie préexistante, la prise de médicaments, une immunité déficiente, une grossesse ou l'allaitement, ne sont pas pris en compte de manière spécifique.

L'évaluation des risques requise au titre de la directive devrait porter également sur le risque supplémentaire auquel ces travailleurs sont exposés.

Dans le cadre de certains procédés industriels, de certains travaux de laboratoire ou de certaines activités en locaux animaliers impliquant ou pouvant impliquer une exposition des travailleurs à des agents biologiques des groupes 3 ou 4, les mesures de prévention technique qui seront mises en place devront l'être conformément à l'article 16 de la directive.

3. Les agents biologiques qui n'ont pas été classés dans les groupes 2 à 4 de la liste ne sont pas implicitement classés dans le groupe 1.

Dans le cas d'agents comprenant de nombreuses espèces dont le pouvoir pathogène chez l'homme est connu, la liste inclut les espèces les plus fréquemment impliquées dans les maladies, et une référence d'ordre plus général indique que d'autres espèces appartenant au même genre peuvent avoir une incidence sur la santé.

Lorsqu'un genre entier est mentionné dans la classification des agents biologiques, il est implicite que les espèces et souches définies non pathogènes sont exclues de la classification.

4. Lorsqu'une souche est atténuée ou qu'elle a perdu des gènes notoires de virulence, le confinement requis par la classification de sa souche parentale ne doit pas nécessairement être appliqué, sous réserve d'évaluation appropriée du risque potentiel qu'elle représente sur le lieu de travail.

Tel est le cas, par exemple, lorsque cette souche doit être utilisée comme produit ou composant d'un produit à destination prophylactique ou thérapeutique.

5. La nomenclature des agents ayant servi à établir la présente classification reflète et respecte les derniers consensus internationaux sur la taxonomie et la nomenclature des agents en vigueur au moment de son élaboration.

6. La liste d'agents biologiques classifiés reflète l'état des connaissances au moment de sa conception.

Elle est mise à jour dès qu'elle ne reflète plus l'état des connaissances.

7. Les États membres veillent à ce que tous les virus qui ont déjà été isolés chez l'homme et qui n'ont pas été évalués et classifiés dans la présente annexe soient classés au minimum dans le groupe 2, sauf si les États membres ont la preuve qu'ils ne sont pas susceptibles de provoquer une maladie chez l'homme.

8. Certains agents biologiques classés dans le groupe 3 et indiqués dans la liste ci-jointe par un *double astérisque* peuvent présenter pour les travailleurs un risque d'infection limité parce qu'ils ne sont normalement pas infectieux par l'air.

Les États membres évaluent les mesures de confinement à appliquer à ces agents biologiques compte tenu de la nature des activités spécifiques en question et de la quantité de l'agent biologique concerné, en vue de déterminer si, dans des circonstances particulières, il peut être renoncé à certaines de ces mesures.

9. Les impératifs en matière de confinement qui découlent de la classification des parasites s'appliquent uniquement aux différents stades du cycle du parasite qui sont susceptibles d'être infectieux pour l'homme sur le lieu du travail.
10. La liste contient par ailleurs des indications séparées lorsque les agents biologiques sont susceptibles de causer des réactions allergiques ou toxiques, lorsqu'un vaccin efficace est disponible ou lorsqu'il est opportun de conserver pendant plus de dix ans la liste des travailleurs qui y sont exposés.

Ces indications sont systématisées sous forme de notes libellées comme suit:

- A: Effets allergiques possibles.
- D: Liste des travailleurs exposés à cet agent biologique à conserver pendant plus de dix ans après la fin de leur dernière exposition connue.
- T: Production de toxines.
- V: Vaccin efficace disponible.

Les vaccinations préventives devraient être effectuées compte tenu du code de conduite figurant à l'annexe VII

BACTÉRIES
et organismes apparentés

NB: Pour les agents biologiques figurant dans la présente liste, la mention «spp.» fait référence aux autres espèces qui sont connues pour être pathogènes chez l'homme.

Agent biologique	Classification	Notes
<i>Actinobacillus actinomycescomitans</i>	2	
<i>Actinomadura maduræ</i>	2	
<i>Actinomadura pellæi</i>	2	
<i>Actinomyces gerenseñæ</i>	2	
<i>Actinomyces israelii</i>	2	
<i>Actinomyces pyogenes</i>	2	
<i>Actinomyces</i> spp.	2	
<i>Arcanobacterium hæmolyticum</i> (<i>Corynebacterium hæmolyticum</i>)	2	
<i>Bacillus anthracis</i>	3	
<i>Bacæroides fragilis</i>	2	
<i>Banondia bacilliformis</i>	2	
<i>Banondia quintana</i> (<i>Rochalimaea quintana</i>)	2	
<i>Banondia</i> (<i>Rochalimaea</i>) spp.	2	
<i>Bordetella bronchiseptica</i>	2	
<i>Bordetella parapertussis</i>	2	
<i>Bordetella pertussis</i>	2	V
<i>Borrelia burgdorferi</i>	2	
<i>Borrelia duttonii</i>	2	
<i>Borrelia recurrentis</i>	2	
<i>Borrelia</i> spp.	2	
<i>Brucella abortus</i>	3	
<i>Brucella canis</i>	3	
<i>Brucella melitensis</i>	3	
<i>Brucella suis</i>	3	
<i>Burkholderia mallei</i> (<i>Pseudomonas mallei</i>)	3	
<i>Burkholderia pseudomallei</i> (<i>Pseudomonas pseudomallei</i>)	3	
<i>Campylobacter fetus</i>	2	
<i>Campylobacter jejuni</i>	2	
<i>Campylobacter</i> spp.	2	
<i>Cardiobacterium hominis</i>	2	
<i>Chlamydia pneumoniae</i>	2	
<i>Chlamydia trachomatis</i>	2	
<i>Chlamydia psittaci</i> (souches aviaires)	2	
<i>Chlamydia psittaci</i> (souches non aviaires)	3	
<i>Clostridium botulinum</i>	2	T
<i>Clostridium perfringens</i>	2	
<i>Clostridium tetani</i>	2	T, V
<i>Clostridium</i> spp.	2	
<i>Corynebacterium diphtheriæ</i>	2	T, V
<i>Corynebacterium minutissimum</i>	2	
<i>Corynebacterium pseudotuberculosis</i>	2	
<i>Corynebacterium</i> spp.	2	
<i>Coxiella burnetii</i>	3	
<i>Edwardsiella tarda</i>	2	
<i>Ehrlichia sennetsu</i> (<i>Rickettsia sennetsu</i>)	2	
<i>Ehrlichia</i> spp.	2	
<i>Eikenella corrodens</i>	2	

Agent biologique	Classification	Notes
<i>Enterobacter aerogenes/doacae</i>	2	
<i>Enterobacter</i> spp.	2	
<i>Enterococcus</i> spp.	2	
<i>Erysipelothrix rhusiopathiae</i>	2	
<i>Escherichia coli</i> (à l'exception des souches non pathogènes)	2	
<i>Escherichia coli</i> , souches cytotoxiques (par exemple, 0157:H7 ou 013)	3 (**)	T
<i>Flavobacterium meningosepticum</i>	2	
<i>Fluoribacter boemanae</i> (<i>Legionella</i>)	2	
<i>Francisella tularensis</i> (type A)	3	
<i>Francisella tularensis</i> (type B)	2	
<i>Fusobacterium necrophorum</i>	2	
<i>Gardnerella vaginalis</i>	2	
<i>Haemophilus ducreyi</i>	2	
<i>Haemophilus influenzae</i>	2	
<i>Haemophilus</i> spp.	2	
<i>Helicobacter pylori</i>	2	
<i>Klebsiella oxytoca</i>	2	
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	2	
<i>Klebsiella</i> spp.	2	
<i>Legionella pneumophila</i>	2	
<i>Legionella</i> spp.	2	
<i>Leptospira interrogans</i> (tous sérotypes)	2	
<i>Listeria monocytogenes</i>	2	
<i>Listeria ivanovii</i>	2	
<i>Morganella morganii</i>	2	
<i>Mycobacterium africanum</i>	3	V
<i>Mycobacterium avium/intracellulare</i>	2	
<i>Mycobacterium bovis</i> (à l'exception de la souche BCG)	3	V
<i>Mycobacterium chelonae</i>	2	
<i>Mycobacterium fortuitum</i>	2	
<i>Mycobacterium kansasii</i>	2	
<i>Mycobacterium leprae</i>	3	
<i>Mycobacterium mageritense</i>	2	
<i>Mycobacterium marinum</i>	2	
<i>Mycobacterium microti</i>	3 (**)	
<i>Mycobacterium paratuberculosis</i>	2	
<i>Mycobacterium scrofulaceum</i>	2	
<i>Mycobacterium simiae</i>	2	
<i>Mycobacterium szulgai</i>	2	
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	3	V
<i>Mycobacterium ulcerans</i>	3 (**)	
<i>Mycobacterium xenopi</i>	2	
<i>Mycoplasma caviae</i>	2	
<i>Mycoplasma hominis</i>	2	
<i>Mycoplasma pneumoniae</i>	2	
<i>Neisseria gonorrhoeae</i>	2	
<i>Neisseria meningitidis</i>	2	V
<i>Nocardia asteroides</i>	2	
<i>Nocardia brasiliensis</i>	2	
<i>Nocardia farcinica</i>	2	
<i>Nocardia nova</i>	2	

Agent biologique	Classification	Notes
<i>Nocardia otitidiscaviarum</i>	2	
<i>Pasteurella multocida</i>	2	
<i>Pasteurella</i> spp.	2	
<i>Peptostreptococcus anaerobius</i>	2	
<i>Plesiomonas shigelloides</i>	2	
<i>Porphyromonas</i> spp.	2	
<i>Prevotella</i> spp.	2	
<i>Proteus mirabilis</i>	2	
<i>Proteus penneri</i>	2	
<i>Proteus vulgaris</i>	2	
<i>Providencia alcalifaciens</i>	2	
<i>Providencia reiheri</i>	2	
<i>Providencia</i> spp.	2	
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	2	
<i>Rhodococcus equi</i>	2	
<i>Rickettsia akari</i>	3 (**)	
<i>Rickettsia canada</i>	3 (**)	
<i>Rickettsia conorii</i>	3	
<i>Rickettsia montana</i>	3 (**)	
<i>Rickettsia typhi</i> (<i>Rickettsia mooseri</i>)	3	
<i>Rickettsia prowazekii</i>	3	
<i>Rickettsia rickettsii</i>	3	
<i>Rickettsia tsutsugamushi</i>	3	
<i>Rickettsia</i> spp.	2	
<i>Salmonella arizonae</i>	2	
<i>Salmonella enteritidis</i>	2	
<i>Salmonella typhimurium</i>	2	
<i>Salmonella paratyphi</i> A, B, C	2	V
<i>Salmonella typhi</i>	3 (**)	V
<i>Salmonella</i> (autres variétés sérologiques)	2	
<i>Serpulina</i> spp.	2	
<i>Shigella boydii</i>	2	
<i>Shigella dysenteriae</i> (type 1)	3 (**)	T
<i>Shigella dysenteriae</i> (autre que le type 1)	2	
<i>Shigella flexneri</i>	2	
<i>Shigella sonnei</i>	2	
<i>Staphylococcus aureus</i>	2	
<i>Streptobacillus moniliformis</i>	2	
<i>Streptococcus pneumoniae</i>	2	
<i>Streptococcus pyogenes</i>	2	
<i>Streptococcus suis</i>	2	
<i>Streptococcus</i> spp.	2	
<i>Treponema carateum</i>	2	
<i>Treponema pallidum</i>	2	
<i>Treponema pertusae</i>	2	
<i>Treponema</i> spp.	2	
<i>Vibrio cholerae</i> (y inclus El Tor)	2	
<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	2	
<i>Vibrio</i> spp.	2	
<i>Yersinia enterocolitica</i>	2	
<i>Yersinia pestis</i>	3	V
<i>Yersinia pseudotuberculosis</i>	2	
<i>Yersinia</i> spp.	2	

(**) Voir la note introductive 8.

VIRUS (*)

Agent biologique	Classification	Notes
<i>Adenoviridae</i>	2	
<i>Arteriviridae</i>		
Complexe de la chorioméningite lymphocytaire-Lassa (arénavirus de l'ancien monde):		
Virus Lassa	4	
Virus de la chorioméningite lymphocytaire (souches neurotropes)	3	
Virus de la chorioméningite lymphocytaire (autres souches)	2	
Virus Mopeia	2	
Autres complexes de la chorioméningite lymphocytaire-Lassa	2	
Complexe Tacaribe (arénavirus du nouveau monde):		
Virus Guanarito	4	
Virus Junin	4	
Virus Sabia	4	
Virus Machupo	4	
Virus Flexal	3	
Autres complexes Tacaribe	2	
<i>Astroviridae</i>	2	
<i>Bunyaviridae</i>		
Belgrade (également appelé Dobrava)	3	
Bhanja	2	
Virus Bunyamwera	2	
Germiston	2	
Virus Oropouche	3	
Sin Nombre (anciennement Muerto Canyon)	3	
Virus de l'encéphalite de Californie	2	
Hantavirus:		
Hantaan (fièvre hémorragique de Corée)	3	
Séoul (Virus)	3	
Puumala-Virus	2	
Prospect Hill-Virus	2	
Autres hantavirus	2	
Nairovirus:		
Virus de la fièvre hémorragique de Crimée/du Congo	4	
Virus Hazara	2	
Phlebovirus:		
Fièvre de la vallée du Rift	3	V
Fièvre à phlébotomes	2	
Virus Toscana	2	
Autres bunyavirus connus comme pathogènes	2	
<i>Caliciviridae</i>		
Virus de l'hépatite E	3 (**)	
Norwalk-virus	2	
Autres caliciviridae	2	
<i>Coronaviridae</i>	2	
<i>Filoviridae</i>		
Virus Ebola	4	
Virus de Marbourg	4	
<i>Flaviviridae</i>		
Encéphalite d'Australie (encéphalite de la vallée Murray)	3	
Virus de l'encéphalite à tiques d'Europe centrale	3 (**)	V
Absettarov	3	
Hanzalova	3	
Hypr	3	
Kumlinge	3	
Virus de la dengue, types 1 à 4	3	
Virus de l'hépatite C	3 (**)	D

Agent biologique	Classification	Notes
Virus de l'hépatite G	3 (**)	D
Encéphalite B japonaise	3	V
Forêt de Kyasanur	3	V
Louping ill	3 (**)	
Omsk (a)	3	V
Powassan	3	
Rocio	3	
Encéphalite verno-estivale russe (a)	3	V
Encéphalite de Saint-Louis	3	
Virus Wesselsbron	3 (**)	
Virus de la vallée du Nil	3	
Fièvre jaune	3	V
Autres flavivirus connus pour être pathogènes	2	V
<i>Hepadnaviridae</i>		
Virus de l'hépatite B	3 (**)	V, D
Virus de l'hépatite D (delta) (b)	3 (**)	V, D
<i>Herpesviridae</i>		
Cytomegalovirus	2	
Virus d'Epstein-Barr	2	
Herpesvirus simiae (virus B)	3	
Herpes simplex virus, types 1 et 2	2	
Herpesvirus varicella-zoster	2	
Virus lymphotrope B humain (HBLV-HHV6)	2	
Herpesvirus haminis 7	2	
Herpesvirus haminis 8	2	D
<i>Orthomyxoviridae</i>		
Virus influenza, types A, B et C	2	V (c)
Orthomyxoviridae transmis par les tiques: virus Dhori et Thogoto	2	
<i>Papovaviridae</i>		
Virus BK et JC	2	D (d)
Papillomavirus humain	2	D (d)
<i>Paramyxoviridae</i>		
Virus de la rougeole	2	V
Virus des oreillons	2	V
Virus de la maladie de Newcastle	2	
Virus para-influenza, types 1 à 4	2	
Virus respiratoire synovial	2	
<i>Parvoviridae</i>		
Parvovirus humain (B 19)	2	
<i>Picomaviridae</i>		
Virus de la conjonctivite hémorragique (AHC)	2	
Virus Coxsackie	2	
Virus Écho	2	
Virus de l'hépatite A (entérovirus humain, type 72)	2	V
Virus poliomyélitique	2	V
Rhinovirus	2	
<i>Poxviridae</i>		
Buffalopox virus (e)	2	
Cowpox virus	2	
Elephantpox virus (f)	2	
Virus du module des trayeurs	2	
Molluscum contagiosum virus	2	
Monkeypox virus	3	V
Orf virus	2	
Rabbitpox virus (g)	2	
Vaccinia virus	2	
Variola (major et minor) virus	4	V

Agent biologique	Classification	Notes
Whitepox virus (Variola virus)	4	V
Yatapox virus (Tana et Yaba)	2	
<i>Reoviridae</i>		
Coltivirus	2	
Rotavirus humains	2	
Orbivirus	2	
Reovirus	2	
<i>Retroviridae</i>		
Virus de l'immunodéficience humaine	3 (**)	D
Virus de leucémies humaines à cellules T (HTLV), types 1 et 2	3 (**)	D
Virus SIV (h)	3 (**)	
<i>Rhabdoviridae</i>		
Virus de la rage	3 (**)	V
Virus de la stomatite vésiculeuse	2	
<i>Togaviridae</i>		
Alphavirus:		
Encéphalomyélite équine est-américaine	3	V
Virus Bebaru	2	
Virus Chikungunya	3 (**)	
Virus Everglades	3 (**)	
Virus Mayaro	3	
Virus Mucambo	3 (**)	
Virus Ndumu	3	
Virus O'nyong-nyong	2	
Virus de la rivière Ross	2	
Virus de la forêt de Semliki	2	
Virus Sindbis	2	
Virus Tonate	3 (**)	
Encéphalomyélite équine du Venezuela	3	V
Encéphalomyélite équine ouest-américaine	3	V
Autres alphavirus connus	2	
Rubivirus (rubella)	2	V
<i>Toroviridae</i>	2	
<i>Virus non classifiés</i>		
Morbillivirus équin	4	
Virus d'hépatites non encore identifiés	3 (**)	D
<i>Agents non classifiés associés avec les encéphalopathies spongiformes transmissibles (EST):</i>		
Maladie de Creutzfeldt-Jakob	3 (**)	D (d)
Variante de la maladie de Creutzfeldt-Jakob	3 (**)	D (d)
Encéphalopathie spongiforme bovine (ESB) et autres EST animales associées (i)	3 (**)	D (d)
Syndrome de Gerstmann-Sträussler-Scheinker	3 (**)	D (d)
Kuru	3 (**)	D (d)

(*) Voir la note introductive 7.

(**) Voir la note introductive 8.

(a) Encéphalite à tiques.

(b) Le virus de l'hépatite D nécessite une infection simultanée ou secondaire à celle déclenchée par le virus de l'hépatite B pour exercer son pouvoir pathogène chez le travailleur. La vaccination contre le virus de l'hépatite B protégera dès lors les travailleurs qui ne sont pas affectés par le virus de l'hépatite B contre le virus de l'hépatite D (delta).

(c) Uniquement en ce qui concerne les types A et B.

(d) Recommandé pour les travaux impliquant un contact direct avec ces agents.

(e) Deux virus peuvent être identifiés sous cette rubrique, un genre «Buffalopox» virus et une variante de «Vaccinia» virus.

(f) Variante de «Cowpox».

(g) Variante de «Vaccinia».

(h) Il n'existe actuellement aucune preuve de maladie de l'homme par les autres rétrovirus d'origine simienne. Par mesure de précaution, un confinement de niveau 3 est recommandé pour les travaux exposant à ces rétrovirus.

(i) Il n'y a pas de preuve concernant l'existence chez l'homme d'infections dues aux agents responsables d'autres EST animales. Néanmoins, les mesures de confinement des agents classifiés dans le groupe de risque 3 (***) sont recommandées par précaution pour les travaux en laboratoire, à l'exception des travaux en laboratoire portant sur un agent identifié de tremblante du mouton, pour lequel le niveau de confinement 2 est suffisant.

PARASITES

Agent biologique	Classification	Notes
<i>Acanthamoeba castellanii</i>	2	
<i>Angiostoma duodenale</i>	2	
<i>Angiostrongylus cantonensis</i>	2	
<i>Angiostrongylus costaricensis</i>	2	
<i>Ascaris lumbricoides</i>	2	A
<i>Ascaris suum</i>	2	A
<i>Babesia divergens</i>	2	
<i>Babesia microti</i>	2	
<i>Balantidium coli</i>	2	
<i>Bugia malayi</i>	2	
<i>Bugia pahangi</i>	2	
<i>Capillaria philippinensis</i>	2	
<i>Capillaria</i> spp.	2	
<i>Clonorchis sinensis</i>	2	
<i>Clonorchis viverrini</i>	2	
<i>Cyrtospondium parvum</i>	2	
<i>Cyrtospondium</i> spp.	2	
<i>Cydspona cayatanensis</i>	2	
<i>Dipetalonema streptocerca</i>	2	
<i>Diphyllobothrium latum</i>	2	
<i>Draacaulus medinensis</i>	2	
<i>Echinococcus granulosus</i>	3 (**)	
<i>Echinococcus multilocularis</i>	3 (**)	
<i>Echinococcus vogeli</i>	3 (**)	
<i>Entamoeba histolytica</i>	2	
<i>Fasciola gigantica</i>	2	
<i>Fasciola hepatica</i>	2	
<i>Fasciolopsis buski</i>	2	
<i>Giardia lamblia</i> (<i>Giardia intestinalis</i>)	2	
<i>Hymenolepis diminuta</i>	2	
<i>Hymenolepis nana</i>	2	
<i>Leishmania brasiliensis</i>	3 (**)	
<i>Leishmania donovani</i>	3 (**)	
<i>Leishmania ethiopica</i>	2	
<i>Leishmania mexicana</i>	2	
<i>Leishmania peruviana</i>	2	
<i>Leishmania tropica</i>	2	
<i>Leishmania major</i>	2	
<i>Leishmania</i> spp.	2	
<i>Lea lea</i>	2	
<i>Mansonella ozzardi</i>	2	
<i>Mansonella persians</i>	2	
<i>Naegleria fowleri</i>	3	
<i>Necator americanus</i>	2	
<i>Ondocerca volvulus</i>	2	
<i>Opistorchis felineus</i>	2	
<i>Opistorchis</i> spp.	2	
<i>Paragonimus westermani</i>	2	

Agent biologique	Classification	Notes
<i>Plasmodium falciparum</i>	3 (**)	
<i>Plasmodium</i> spp. (humain et simien)	2	
<i>Sarcocystis suis hominis</i>	2	
<i>Schistosoma haematobium</i>	2	
<i>Schistosoma intercalatum</i>	2	
<i>Schistosoma japonicum</i>	2	
<i>Schistosoma mansoni</i>	2	
<i>Schistosoma mekongi</i>	2	
<i>Strongyloides stercoralis</i>	2	
<i>Strongyloides</i> spp.	2	
<i>Taenia saginata</i>	2	
<i>Taenia solium</i>	3 (**)	
<i>Toxocara canis</i>	2	
<i>Toxoplasma gondii</i>	2	
<i>Trichinella spiralis</i>	2	
<i>Trichuris trichiura</i>	2	
<i>Trypanosoma brucei brucei</i>	2	
<i>Trypanosoma brucei gambiense</i>	2	
<i>Trypanosoma brucei rhodesiense</i>	3 (**)	
<i>Trypanosoma cruzi</i>	3	
<i>Wuchereria bancrofti</i>	2	

(**) Voir la note introductive 8.

CHAMPIGNONS

Agent biologique	Classification	Notes
<i>Aspergillus fumigatus</i>	2	A
<i>Blastomyces dermatitidis</i> (<i>Ajellomyces dermatitidis</i>)	3	
<i>Candida albicans</i>	2	A
<i>Candida tropicalis</i>	2	
<i>Cladophialophora bantiana</i> (anciennement: <i>Xylohypha bantiana</i> , <i>Cladosporium bantianum</i> ou <i>trichoides</i>)	3	
<i>Coccidioides immitis</i>	3	A
<i>Cyrococcus neoformans</i> var. <i>neoformans</i> (<i>Filobasidiella neoformans</i> var. <i>neoformans</i>)	2	A
<i>Cyrococcus neoformans</i> var. <i>gattii</i> (<i>Filobasidiella bacillispora</i>)	2	A
<i>Emmonsia parva</i> var. <i>parva</i>	2	
<i>Emmonsia parva</i> var. <i>crecens</i>	2	
<i>Epidennophyton floccosum</i>	2	A
<i>Fonsecaea compacta</i>	2	
<i>Fonsecaea pedrosoi</i>	2	
<i>Histoplasma capsulatum</i> var. <i>capsulatum</i> (<i>Ajellomyces capsulatus</i>)	3	
<i>Histoplasma capsulatum duboisii</i>	3	
<i>Madurella gnsea</i>	2	
<i>Microsporum</i> spp.	2	A
<i>Neotestudina rosatii</i>	2	
<i>Paracoccidioides brasiliensis</i>	3	
<i>Penicillium mameffi</i>	2	A
<i>Scedosporium apiospennum</i> (<i>Pseudallescheria boydii</i>)	2	
<i>Scedosporium prolificans</i> (<i>inflatum</i>)	2	
<i>Sporothrix schenckii</i>	2	
<i>Tyriophyton rubrum</i>	2	
<i>Tyriophyton</i> spp.	2	

Abstract

Biological agents and industrial plants : is there a risk for resident's health ?

In France, whereas health risks assessment related to chemicals has got its own method and several guides, the assessment of health risks associated with microorganisms is still not so far developed.

In order to establish a state of knowledge about airborne biological hazard, a literature review about current and emerging risks and about risk assessment practices has been carried out. In addition, contacts have been established to identify the main stakeholders involved in the issue of biological risks.

In France, various agencies have been identified: departments of State, whose concerns are health risk assessment and facilities inspection, public institutes and research organizations, whose programs are focused on bioaerosols from composting facilities and *Legionellae* from cooling towers, and laboratories who realize analyses for biological contaminants.

Finally, private companies are conducting studies on bioaerosols from composting facilities and wastewater treatment plants. The most important bioaerosol-associated health effects are not infectious diseases, but immuno-allergic or toxic effects. The main agents in question are fungi, with genera *Aspergillus*, *Penicillium* and *Cladosporium*, bacteria like actinomycetes, and microorganisms by-products such as endotoxins, mycotoxins, glucans and peptidoglycans. Plants who promote the presence of biological agents and their growth are waste and wastewater treatment plants, breeding farms and food plants. However, the results of the few available studies are often contradictory.

The main proposals resulting from this study are:

To continue research on bioaerosols, particularly in measurement techniques in order to standardize sampling techniques and analysis;

To establish long-term studies on the health of facilities residents and workers;

To carry out measures concentrations around facilities that are less documented;

To integrate biological agents in the regulation of ICPE as a distinct risk from chemical risk, with its own assessment method.