



EHESP

Ingénieur du Génie Sanitaire

Promotion : **2008-2009**

Date du Jury : **Septembre 2009**

**Risques sanitaires potentiels liés aux
postes d'entretien des réseaux
d'assainissement**

Agnès LANNUZEL

Lieu de stage :

Nantes Métropole

Référents professionnels :

Bertrand RIOCHET

Didier GUILLOU

Référent pédagogique :

Michèle LEGEAS

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier mes référents professionnels, M. Bertrand RIOCHET, directeur du service d'exploitation de l'assainissement de Nantes Métropole, et M. Didier GUILLOU, responsable des réseaux, pour m'avoir accueilli en stage.

Je remercie également ma référente pédagogique, Mme Michèle LEGEAS, Enseignant-Chercheur de L'EHESP, pour ses précieux conseils et son implication dans la réalisation de ce mémoire.

Je tiens à remercier l'ensemble des agents pour leur accueil et le temps qu'ils m'ont accordé afin de me faire partager leur métier. Merci tout particulièrement aux équipes d'égoutiers pour leur gentillesse et leur bonne humeur.

Merci à Mme Caroline BOUJU, médecin à la médecine du travail de Nantes Métropole, pour ses conseils et son aide.

Merci à M. Dominique MOULET, dessinateur, pour le temps qu'il m'a accordé afin de réaliser l'ensemble des cartes présentes dans ce rapport.

Enfin, je tiens à remercier toutes les personnes qui ont pu participer de près ou de loin au bon déroulement de ce stage.

Sommaire

Introduction	1
1 Le contexte	3
1.1 <i>L'évaluation des risques au poste de travail</i>	3
1.2 <i>L'état des lieux des connaissances sur les risques liés aux réseaux d'assainissement</i>	3
1.3 <i>Les populations cibles et la voie d'exposition considérée</i>	4
1.4 <i>La problématique de l'étude</i>	4
1.5 <i>Les généralités relatives à l'assainissement de la communauté urbaine de Nantes Métropole</i>	5
1.5.1 <i>La présentation de Nantes Métropole</i>	5
1.5.2 <i>La gestion de l'assainissement au niveau de la communauté urbaine</i>	5
1.5.3 <i>Le réseau</i>	5
1.5.4 <i>Les types d'effluents alimentant le réseau</i>	6
2 L'étude réalisée	8
2.1 <i>Les objectifs</i>	8
2.2 <i>La méthodologie</i>	8
2.3 <i>Les données obtenues</i>	10
2.3.1 <i>L'étude des postes de travail</i>	10
2.3.2 <i>L'inventaire des pathogènes d'intérêt potentiellement présents dans les eaux usées et l'étude des effets associés aux agents inhalables</i>	15
2.3.3 <i>La sélection des agents biologiques d'intérêt sanitaire pouvant être considérés comme prioritaires</i>	21
2.3.4 <i>L'inventaire des agents chimiques d'intérêt sanitaire présents dans les réseaux d'assainissement et l'étude des effets associés à leur inhalation</i>	26
2.3.5 <i>La détermination des agents chimiques d'intérêt sanitaire pouvant être considérés comme prioritaires</i>	37
2.3.6 <i>L'analyse des entreprises raccordées sur le réseau de Nantes Métropole</i>	39
3 L'interprétation des résultats au regard des objectifs du travail	41
3.1 <i>La mise en évidence des postes de travail particulièrement à risques</i>	41
3.1.1 <i>Les caractéristiques des risques potentiellement présents dans les réseaux</i> .	41
3.1.2 <i>Les situations à risques pour les agents d'exploitation hydrocurage</i>	42
3.1.3 <i>Les situations à risques pour les égoutiers de fond</i>	42
3.1.4 <i>Les situations à risques pour les électromécaniciens</i>	43
3.2 <i>La discussion autour de l'intérêt d'une quantification des expositions</i>	43
4 Les recommandations	45
4.1 <i>Les généralités sur la prévention des risques</i>	45
4.2 <i>L'adaptation des principes de prévention au cas de l'étude</i>	45
4.3 <i>Les mesures de protection collective</i>	46

4.3.1	La veille au respect des règles de sécurité existantes	46
4.3.2	L'augmentation de la formation	46
4.3.3	L'augmentation de la sensibilisation des agents	46
4.3.4	La prise en compte des zones identifiées par cartographie comme potentiellement à risques	47
4.3.5	L'augmentation de la sensibilisation du grand public	47
4.4	<i>Les aménagements des modalités de travail</i>	47
4.4.1	La pose d'un maximum de regards ventilés	47
4.4.2	L'investissement dans des aérateurs	47
4.5	<i>La réalisation d'études complémentaires</i>	48
4.5.1	La réalisation d'un suivi médical renforcé	48
4.5.2	La réalisation d'une enquête sur les symptômes	48
4.5.3	La réalisation de mesures d'aérosols	48
4.6	<i>L'analyse du rapport coûts/bénéfices des mesures recommandées</i>	49
Conclusion		50
Bibliographie		51
Liste des annexes		I

Liste des tableaux et des figures

Tableau 1 : EPI des agents entretenant les réseaux.....	14
Tableau 2 : Critères d'action proposés par l'IRSST pour l'exposition à des bioaérosols...	23
Tableau 3 : Effets d'une exposition aigüe au H ₂ S pour différentes concentrations.....	36
Tableau 4 : Analyse du rapport coûts/bénéfices en fonction des mesures recommandées	49
Figure 1 : Schéma de synthèse de la méthodologie employée.....	9
Figure 2 : Moyennes d'âge et d'ancienneté des agents selon leur fonction.....	15
Figure 3 : Schéma de la démarche de réflexion pour la sélection d'un agent biologique comme pathogène d'intérêt sanitaire prioritaire.....	24

Liste des sigles utilisés

Ac : Anticorps

ACGIH : American Conference of Governmental Industrial Hygienists

ADEME : Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

ADN : Acide DésoxyriboNucléique

Afssa : Agence française de sécurité sanitaire des aliments

ARI : Appareil Respiratoire Isolant

ARN : Acide RiboNucléique

CHU : Centre Hospitalier Universitaire

CIRC : Centre International de Recherche sur le Cancer

CRAM : Caisse Régionale d'Assurance Maladie

DDT : DichloroDiphénylTrichloroéthane

DREAL : Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement

ELISA : Enzyme Linked ImmunoSorbent Essay

EPI : Equipement de Protection Individuelle

HAP : Hydrocarbures Polycycliques Aromatiques

ICOH : Commission Internationale de Santé au Travail (CIST en français)

Ig : Immunoglobuline

INERIS : Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques

INRS : Institut National de Recherche et de Sécurité

InVS : Institut de Veille Sanitaire

IRSST : Institut de Recherche Robert-Sauvé en Santé et Sécurité au Travail

LAL : Lysat d'Amoebocytes de Limules

LPS : Lipopolysaccharides

MDO : Maladie à Déclaration Obligatoire

ODTS : Organic Dust Toxic Syndrom

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

PCB : PolyChloroBiphényle

PCDD : PolyChloroDibenzoDioxine

PCDF : PolyChloroDibenzoFuranne

PCR : Polymerase Chain Reaction

Spp : Species

STEP : STation d'EPuration

UE : Unité d'Endotoxine (par convention, 1 UE/m³ correspond à 0,1 ng/m³ de l'étalon d'endotoxine de référence internationale provenant d'Escherichia coli)

UFC : Unité Formant Colonie

USI : Unité du Système International

VLCT : Valeur Limite Court Terme

VLEP : Valeur Limite d'Exposition Professionnelle

VME : Valeur Moyenne d'Exposition

Glossaire

Gamma GT : gamma glutamyl transpeptidase. Enzymes provenant de plusieurs organes (foie, pancreas, rein) participant au transfert entre les cellules d'acides aminés. Un taux anormalement élevé de gamma GT peut révéler un problème au niveau de ces organes (hépatite, obstruction des voies biliaires, alcoolisme...).

Gram : technique de coloration utilisée en bactériologie pour visualiser les bactéries à l'examen microscopique. Cette technique comporte plusieurs étapes (violet de gentiane, lugol, puis bain d'alcool, puis fuschine). Les bactéries dont la coloration première résiste à l'alcool apparaissent violettes et sont dites à gram+, celles qui deviennent roses sont dites à gram-. Cette différence de coloration traduit une différence de structure de la paroi des bactéries (BONNARD R., 2001).

Isotonique : se dit d'une solution qui a la même pression osmotique que les liquides de l'organisme (plasma, par exemple).

Limule : arthropode marin.

Lysat d'amœbocytes de limules : enzymes provenant de cellules sanguines du crabe limule activées par les endotoxines.

Manifestation ébrio-narcotique : sensation d'euphorie, d'ivresse accompagnée de somnolence.

Masque FFP2 : masque de protection respiratoire ayant pour fonction de protéger celui qui le porte du risque d'inhalation de particules en suspension dans l'air pouvant contenir des agents infectieux.

Organostannique : composé organique qui tient de l'étain.

Parasite : organisme animal ou végétal vivant au dépend d'un autre (appelé hôte), lui portant préjudice mais sans le détruire.

Prévalence : nombre de cas dans une population donnée à un moment donné.

Procaryote : être vivant dépourvu de noyau cellulaire (ex : bactéries).

Saprophyte : qui vit dans l'organisme sans être pathogène.

Soluté apyrogène : soluté isotonique débarrassé de toutes les substances d'origine bactériennes capable d'élever la température du sujet à qui il est injecté (Larousse).

Spp : abréviation de « species ». Epithète provisoire donné quand le genre est connu mais l'espèce n'est pas déterminée.

Taux de mortalité : probabilité de décès d'un individu ayant contracté une maladie.

VLCT : Concentration maximale admissible pour une substance donnée, dans l'air du milieu de travail, à laquelle le travailleur peut être exposé pendant une courte durée (inférieure à 15 minutes). Le respect de la VLCT prévient des risques d'effets toxiques immédiats ou à court terme.

VME : Concentration maximale admissible pour une substance donnée, dans l'air du milieu de travail, où le travailleur est amené à travailler une journée entière (base : 8 heures/jour). Cette valeur est destinée à protéger les travailleurs des effets à moyen ou long terme. La VME peut être dépassée sur de courtes périodes, à condition de ne pas dépasser la VLCT.

Introduction

Les agents d'exploitation du service assainissement de Nantes Métropole interviennent quotidiennement sur les réseaux d'assainissement. Lors de l'entretien de ces derniers, ils sont en contact direct ou indirect avec les effluents, milieu riche en agents chimiques et biologiques.

Afin de les protéger d'éventuels risques sanitaires, ils sont équipés de protections individuelles (gants, bottes, etc.), mais qui ne préviennent pas de l'exposition respiratoire. Or, l'atmosphère des réseaux d'assainissement a des caractéristiques bien particulières : elle est confinée, chaude et l'air se renouvelle très peu. L'ensemble de ces paramètres va être propice à l'exposition des travailleurs à des agents inhalables pouvant présenter des dangers pour leur santé.

A l'heure actuelle, l'employeur doit s'assurer de la sécurité des salariés. Légalement, il lui incombe de répertorier les risques, auxquels sont exposés les agents à leur poste de travail, dans un document unique. Ce document se doit d'être le plus exhaustif possible et de prendre en compte les risques chimiques et biologiques. Or, très peu d'études ont été réalisées sur les risques professionnels des agents travaillant au contact des effluents. Nantes Métropole cherche donc à évaluer les risques auxquels ses agents sont exposés, afin de pouvoir définir des mesures de protection adaptées.

L'objet de ce mémoire est donc d'étudier les risques chimiques et biologiques, propres aux réseaux d'assainissement, auxquels sont potentiellement exposés les agents en fonction de leur poste de travail ; puis, dans un second temps, de proposer des mesures de gestion adaptées aux risques identifiés.

Après un exposé du contexte de l'étude, des objectifs et de la méthodologie utilisée, les résultats de l'étude seront présentés ainsi que les recommandations auxquelles elle a abouti visant à protéger la santé des agents d'entretien des réseaux d'assainissement.

1 Le contexte

1.1 L'évaluation des risques au poste de travail

Dans le cadre de la démarche globale de prévention des risques professionnels, l'évaluation à priori des risques constitue un moyen essentiel pour préserver la santé et la sécurité des personnels.

Légalement, l'employeur est tenu d'assurer la sécurité de ses employés. Dans ce cadre, il doit prendre les mesures appropriées afin de réduire les risques professionnels. En application des articles L.4121-1 à 3 et R.4121-1 et 2 du Code du Travail, l'employeur doit élaborer et tenir à jour un document unique d'évaluation des risques qui recense l'ensemble des risques pour la santé et la sécurité du personnel dans l'entreprise (ce document faisant l'objet d'une mise à jour au minimum annuelle).

L'inventaire des risques consiste à identifier les dangers et à réaliser une analyse des risques, via l'observation des conditions d'exposition des salariés à ces dangers et en tenant compte des mesures de protection existantes.

Les risques doivent être identifiés pour chaque unité de travail et l'évaluation doit s'appuyer sur l'étude des postes de travail ; ceci avec la participation active des agents.

La finalité du document unique est de servir à l'élaboration du bilan de la situation générale de l'hygiène, de la sécurité et des conditions de travail et du programme annuel de prévention des risques. En effet, l'examen de ce bilan va permettre de planifier des actions de prévention des risques pour chaque catégorie de poste de travail.

1.2 L'état des lieux des connaissances sur les risques liés aux réseaux d'assainissement

A l'heure actuelle, très peu d'études se sont intéressées aux risques biologiques et chimiques liés aux postes de travail en lien avec l'entretien des réseaux d'assainissement. L'exposition particulière de ces agents a très rarement fait l'objet d'études et les recommandations professionnelles sont peu nombreuses. Les obligations réglementaires de l'employeur d'avoir une démarche spécifique d'analyse de risques au poste de travail, justifient donc l'étude réalisée dans ce rapport.

Les travaux mentionnés dans la littérature se focalisent principalement sur les risques chimiques accidentels et les risques microbiologiques en stations d'épuration (STEP).

La question de savoir s'il existe des risques microbiologiques et/ou chimiques propres au réseau, pour les agents d'exploitation des réseaux d'assainissement, reste donc en suspend.

Il faut néanmoins évoquer une étude épidémiologique réalisée parmi le personnel des égouts de la ville de Paris par l'INRS (WILD et *al.*, 2004) qui met en évidence des excès statistiquement significatifs de symptômes respiratoires, digestifs et cutanés et une surmortalité par cancer broncho-pulmonaire (difficilement explicable par le seul tabagisme).

1.3 Les populations cibles et la voie d'exposition considérée

Les populations cibles de cette étude sont les différentes catégories d'agents travaillant à l'exploitation du réseau d'assainissement de Nantes Métropole et exerçant des activités impliquant une proximité fréquente avec les effluents. Dans cette étude, les populations cibles retenues sont donc les égoutiers de fond (21 agents), les agents d'exploitation hydrocurage (27 agents) et les électromécaniciens (15 agents) ; soit 63 personnes au total.

L'étude est ciblée sur les agents chimiques et biologiques dangereux présents dans les effluents des réseaux d'assainissement. La voie d'exposition retenue dans cette étude est la voie respiratoire, gaz et aérosols, qui constitue la voie la moins protégée (un aérosol étant défini par la norme NF X 43-001 comme un ensemble de particules solides ou liquides en suspension dans un milieu gazeux). En effet, l'exposition par voie cutanéomuqueuse est mieux maîtrisée au niveau des équipements de protection individuelle (si ce n'est les projections d'eaux usées au niveau du visage). De la même façon, l'exposition digestive n'est pas considérée dans cette étude. Cette dernière peut avoir lieu dans le cas du port d'éléments sales à la bouche (mains, cigarettes, aliments...) ou lorsque les sécrétions respiratoires sont évacuées vers le tube digestif (donc issue de l'exposition respiratoire).

Les types d'expositions retenus sont les expositions aiguës et chroniques. En effet, le risque infectieux et le risque chimique de type accidentel sont liés à une exposition unique, plus ou moins intense, donc de type aigu. Les risques allergiques, inflammatoires ou encore cancéreux sont, quant à eux, liés à des expositions répétées de manière plus ou moins proche dans le temps, donc plutôt de type chronique.

1.4 La problématique de l'étude

Les agents de Nantes Métropole en charge de l'entretien des réseaux d'assainissement s'interrogent régulièrement sur la nature dangereuse des agents chimiques et biologiques pouvant se trouver dans les réseaux et, par conséquent, sur la qualité de l'air respiré dans

les ouvrages souterrains ainsi qu'en surface lors de leur curage et sur les effets à terme sur la santé.

Face à ces inquiétudes, le service assainissement de Nantes Métropole cherche à évaluer, le plus objectivement possible, les risques concernant la voie d'exposition respiratoire réels et définir en conséquence les mesures de gestion à mettre en œuvre. Cette étude, s'inscrivant dans la démarche de réalisation du document unique d'évaluation des risques au poste de travail, est réalisée afin de répondre aux attentes des agents.

1.5 Les généralités relatives à l'assainissement de la communauté urbaine de Nantes Métropole

1.5.1 La présentation de Nantes Métropole

Nantes Métropole est une collectivité territoriale qui regroupe 24 communes (listées dans l'annexe 1), ce qui représente 590 000 habitants.

Le territoire est partagé entre un réseau structurant, sous la responsabilité de la direction de l'assainissement, et un réseau secondaire, sous la responsabilité des pôles de proximité (au nombre de 10 dans la collectivité territoriale).

1.5.2 La gestion de l'assainissement au niveau de la communauté urbaine

Il existe des opérateurs publics et privés (Veolia, la Lyonnaise des eaux et la SAUR, cette dernière tendant à disparaître du paysage) au niveau du réseau de Nantes Métropole qui se partagent le territoire (annexe 2). Le mode de fonctionnement du service assainissement est une régie directe.

8 communes (sur 24) sont en régie au niveau de l'assainissement, ce qui représente plus de la moitié de la population de Nantes Métropole. Les villes concernées sont : Basse-Goulaine, Bouguenais, Les Sorinières, Nantes, Orvault, Rezé, Saint-Sébastien sur Loire et Vertou.

1.5.3 Le réseau

La communauté urbaine compte environ 3 800 km de linéaire de réseau séparatif (quasiment équitablement répartis entre les réseaux d'eaux usées et ceux d'eaux pluviales) et 350 km de linéaire de réseau unitaire (situé sur la commune de Nantes). Le réseau visitable d'assainissement, en très grande partie unitaire, s'étend sur environ 120 km et est localisé uniquement sur la commune de Nantes.

Le réseau est associé à plusieurs ouvrages annexes qui vont assurer son bon fonctionnement :

- Les stations de relèvement et de refoulement :

Le territoire communautaire a un relief peu vallonné. Des stations de relèvement et de refoulement des eaux usées sont donc nécessaires pour « remonter les eaux » afin qu'elles puissent être acheminées gravitairement vers les STEP. Plus de 300 postes de refoulement existent sur Nantes Métropole dont plus de 150 sur le secteur géré en régie (annexe 3).

- Les déversoirs d'orages :

Ils vont avoir pour objectif de soulager les canalisations du réseau unitaire en période de pluie, permettant ainsi d'éviter la saturation des réseaux. Le trop plein d'eau est rejeté en milieu naturel. Ces ouvrages participent à la lutte contre les inondations.

- Les siphons :

Ils ont pour rôle de permettre le franchissement de certains « obstacles » rencontrés sur le réseau (tunnel SNCF et canal Saint Félix).

- Les chambres à sables :

Leur rôle consiste à offrir des zones de calme qui vont permettre aux sables de s'accumuler dans des lieux propices à leur enlèvement et non dans les réseaux.

1.5.4 Les types d'effluents alimentant le réseau

Il faut distinguer les eaux dites domestiques, qui ont des caractéristiques communes et correspondent aux rejets des particuliers, des eaux dites « industrielles », qui ont des caractéristiques spécifiques issues de leur utilisation au cours d'une activité. Les eaux industrielles représentent tous les rejets correspondant à une utilisation de l'eau autre que domestique. Le raccordement des eaux industrielles au réseau public n'est pas obligatoire (article L35-8 du code de la Santé Publique). Toutefois, ces eaux peuvent être acceptées dans le réseau moyennant signature d'une convention spéciale de déversement qui précise notamment la nature et les quantités de déchets acceptés.

D'après l'article L.1331-10 du Code de la Santé Publique : « Tout déversement d'eaux usées autres que domestiques dans le réseau public doit être préalablement autorisé par le maire ou le président de l'établissement public compétent en matière de collecte à l'endroit du déversement si les pouvoirs de police des maires des communes membres lui ont été transférés dans les conditions prévues par l'article L.5211-9-2 du code général des collectivités territoriales, après avis délivré par la personne publique en charge du

transport et de l'épuration des eaux usées ainsi que du traitement des boues en aval, si cette collectivité est différente ».

Par ailleurs, l'article L.1337-2 du Code de la Santé Publique stipule qu'il « est puni de 10 000 € d'amende le fait de déverser des eaux usées autres que domestiques dans le réseau public de collecte des eaux usées sans l'autorisation visée à l'article L.1337-10 ou en violation des prescriptions de cette autorisation ».

Dans le cas où la collectivité accepte le raccordement d'un industriel ou d'un artisan au réseau public d'assainissement, une convention ou une autorisation est signée entre l'industriel et Nantes Métropole. Le nombre d'industriels à autoriser ou à conventionner est estimé à 3 600 sur le territoire de la communauté urbaine.

La convention de rejet va concerner les entreprises ayant une activité industrielle. 94 conventions ont été signées avec les industriels sur 170 dossiers ouverts. Les plus gros pollueurs sont identifiés et suivis régulièrement au cours des campagnes de contrôle.

L'autorisation de rejet va, quant à elle, concerner les entreprises qui ont une activité commerciale ou artisanale qui génère des eaux usées industrielles, ce qui représente entre 90 et 95% des industriels. La procédure d'autorisation a été mise en place en 2004. Jusqu'en 2007, 267 autorisations ont été signées (sur 1757 dossiers ouverts). Ces dernières concernent principalement les garages, les laboratoires d'analyses, les cabinets de dentistes, les pressings et les restaurants. Fin 2007, 10% des industriels de Nantes Métropole étaient autorisés ou conventionnés.

L'étude de ces conventions et autorisations est un outil qui va permettre de mieux connaître les sources d'alimentation du réseau et les risques potentiels qui leurs sont liés.

2 L'étude réalisée

2.1 Les objectifs

Ce mémoire va s'articuler autour de deux principaux axes afin de déterminer les risques microbiologiques et/ou chimiques existants pour la voie d'exposition respiratoire (aérosols ou gaz), propres au réseau, pour les agents d'exploitation des réseaux d'assainissement :

- identifier d'éventuels risques particuliers, liés soit à des agents chimiques et/ou biologiques dangereux spécifiques, soit à des situations d'exposition particulières,
- proposer des mesures de gestion, si besoin, allant de la quantification des expositions à des recommandations diverses.

2.2 La méthodologie

La méthodologie utilisée lors de cette étude s'articule autour de six étapes d'analyse et d'une étape de recommandation (présentées dans la figure 1).

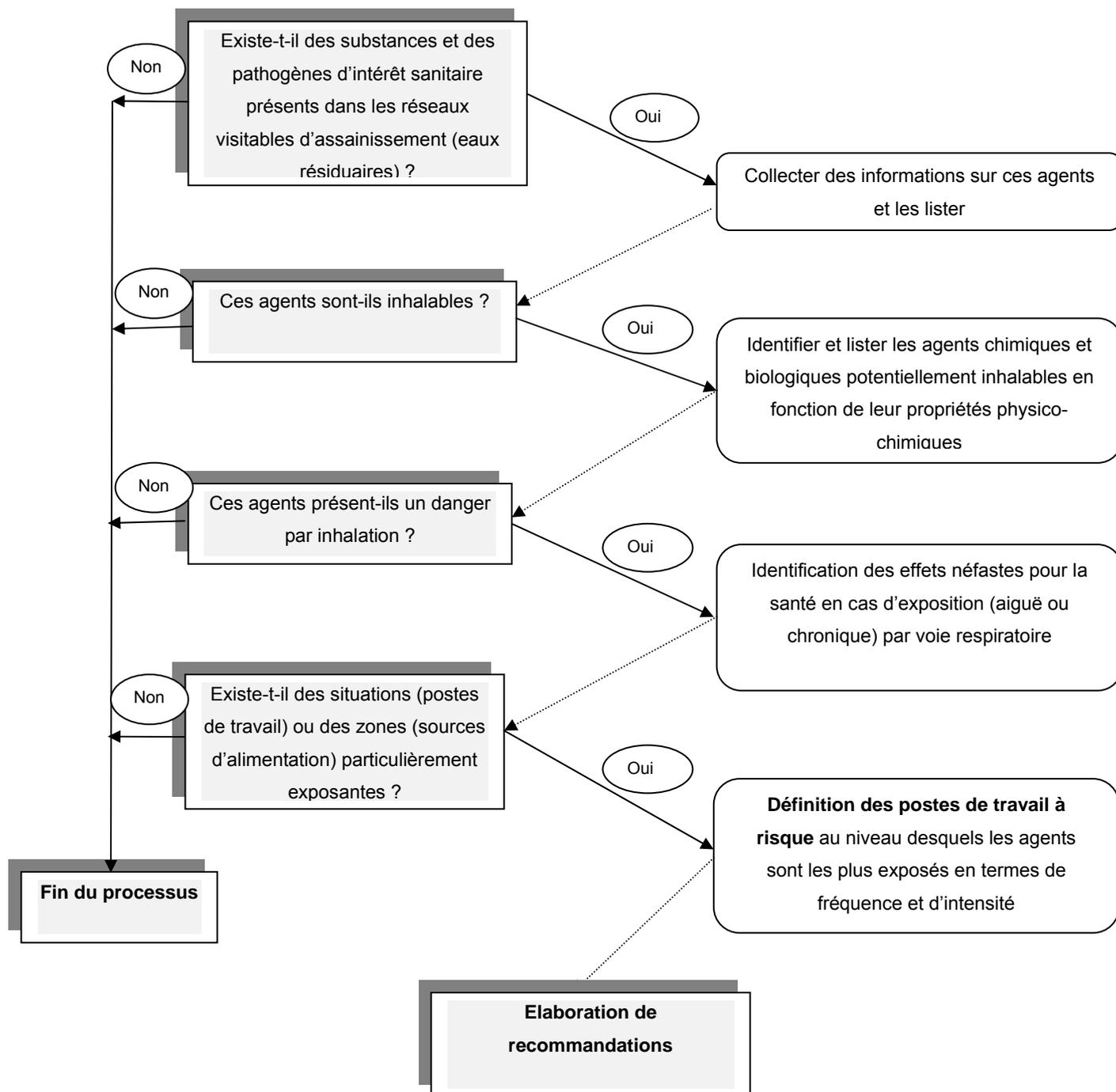
Les étapes d'analyse comprennent :

- La description des postes de travail, dont l'objectif est de déterminer des profils de poste afin d'investiguer ensuite les modalités et les niveaux d'exposition correspondants.
- L'identification des substances et des pathogènes d'intérêt pouvant être présents dans les eaux résiduaires et, parmi eux, de ceux potentiellement inhalables (soit parce qu'ils sont volatils, soit parce qu'ils peuvent être présents dans des aérosols).
- L'étude des effets sur la santé associés aux agents inhalables en cas d'exposition (aiguë ou chronique) par voie respiratoire.
- La sélection des agents d'intérêt sanitaire prioritaires via une réflexion, selon le type d'agents retenus (chimiques ou biologiques), sur leur hiérarchisation, si cette dernière est jugée opportune après l'étude des caractéristiques des expositions au poste de travail.
- L'étude de la structure du réseau et de ses sources d'alimentation à travers une analyse approfondie du réseau, l'objectif étant de mettre en évidence des portions potentiellement à risque. Pour cela, une cartographie des entreprises présentant des risques potentiels (entreprises conventionnées et autorisées) sera réalisée afin d'analyser leur répartition sur le réseau.

- La définition de postes de travail à risque au niveau desquels les personnels d'exploitation sont les plus exposés.

L'élaboration de recommandations est une des finalités de cette étude. Elle consistera à proposer, si besoin, des mesures à mettre en place afin de protéger la santé des personnels d'exploitation.

Figure 1 : Schéma de synthèse de la méthodologie employée



2.3 Les données obtenues

2.3.1 L'étude des postes de travail

A) Les objectifs de l'étude des postes de travail

L'observation des étapes d'un procédé est l'outil le plus efficace pour identifier les situations pouvant présenter une exposition problématique aux aérosols.

L'inspection visuelle va permettre de localiser les sources ou réservoirs potentiels d'aérosols et d'évaluer la présence et l'ampleur de la croissance fongique visible sur les surfaces.

Elle permet également d'identifier les mécanismes de propagation des aérosols dans l'air et les actions de brassage d'air ou de substrat favorisant la dispersion, l'aérosolisation et la projection de liquides ou de poussières (GOYER N, 2001).

B) La description des postes de travail des égoutiers de fond

a) *Les généralités concernant l'activité*

L'objectif de leur activité est le maintien du réseau d'assainissement (visitable) dans un état permettant la collecte et le transport des eaux usées, afin d'éviter la mise en charge et l'élévation anormale du niveau des effluents dans les réseaux.

Les équipes travaillent normalement de 6 heures à 13 heures, heures auxquelles le niveau d'eau dans le réseau est suffisamment bas pour permettre les interventions. Il arrive régulièrement que les équipes commencent plus tôt, voir travaillent de nuit, afin de mettre des portions de réseau totalement à sec (dans le cas où leur isolation par dérivation n'est pas possible).

Les agents passent entre 3 et 4 heures par jour à l'intérieur du réseau. Cependant, cette durée est très variable d'une tâche à l'autre et est très météo-dépendante.

Lors des différentes opérations, l'atmosphère de travail est contrôlée (H₂S, O₂ et CO).

Les postes de travail décrits par la suite sont ceux engendrant les expositions les plus importantes aux aérosols. Les autres opérations telles que les opérations de maintenance, d'accompagnement d'entreprises dans les réseaux ou encore de dératisation ne seront pas détaillées. En effet, en ce qui concerne la dératisation, elle est effectuée à l'aide de blocs de rodenticides contenant de la chlorophacinone et du benzoate de dénatonium à des concentrations ne présentant pas de toxicité pour la voie d'exposition respiratoire.

b) Le curage du réseau

Le curage du réseau peut être effectué de différentes façons : à l'aide de « têtes » hydrocureuses ou grâce à une mitrailleuse (sorte de charrue hydrodynamique).

Deux tuyaux sont placés dans le réseau : l'un va envoyer de l'eau à très haute pression à travers une « tête » et l'autre va aspirer l'eau au fur et à mesure. Afin de fonctionner de façon optimale, la tête doit être placée dans un minimum d'eau, ce qui suppose l'isolement du réseau avant son utilisation. La pression va chasser les sables, effectuant ainsi le curage du réseau. Ces « têtes » sont commandées à distance par les équipes d'agents d'exploitation hydrocurage.

Lorsque le réseau ne peut être isolé hydroliquement, une mitrailleuse va être préférentiellement employée. La mitrailleuse va avancer, poussée par le courant des effluents, chassant les sables devant elle vers la chambre la plus proche, afin que ces derniers soient pompés à ce niveau. Des agents vont rester en permanence à son côté afin de contrôler la vitesse de son avancée. Si la chambre est trop éloignée, les sables sont pompés au niveau des regards.

c) Le curage des chambres à sables

Elles sont au nombre de 6 ou 7 par secteurs et sont nettoyées 1 à 2 fois par an.

Une chambre à sable est un ouvrage destiné à créer une zone de calme afin de permettre le dépôt (décantation) de matières et éviter ainsi qu'il ne se fasse dans les canalisations.

Les chambres à sables sont de tailles très variables. Le temps passé à les nettoyer va donc différer. Afin d'effectuer le curage, la chambre va être isolée des effluents par la pose de vannes, les effluents étant déviés soit dans la chambre adjacente (si l'ouvrage est doublé), soit dans un « bipasse » (canal de dérivation adjacent) lorsque l'ouvrage n'est pas doublé. En ce qui concerne l'opération de curage proprement dite, les eaux usées de l'ouvrage isolé vont être pompées, à l'aide de camions hydrocureurs, par les égoutiers, puis ces derniers vont descendre dans la chambre pour aspirer les sables présents dans le fond à l'aide de tuyaux provenant d'un camion hydrocureur.

d) Le nettoyage des branchements de particuliers

Régulièrement, l'ensemble des raccordements siphonnés branchés sur le réseau visitable sont nettoyés à l'aide d'une « gratte ». Cette opération est nécessaire pour éviter leur obstruction qui provoquerait des problèmes d'évacuation chez les particuliers et des remontées d'odeurs.

Les agents se déplacent le long du réseau (le plus à sec possible) et nettoient au fur et mesure les siphons rencontrés. Lors de cette opération, les agents vérifient également l'état du réseau (présence de fissures, par exemple).

e) *Le pompage des surnageants*

Lorsqu'un réseau est isolé pour permettre les opérations de curage, une pompe va aspirer l'eau et la rejeter en aval. Une grille est alors posée en amont de la pompe afin de la protéger. Les agents descendent alors nettoyer la grille et pomper les surnageants venant s'accumuler afin d'éviter son obstruction.

Le pompage des surnageants est également effectué au niveau de certains ouvrages, comme des siphons, au niveau desquels les graisses ont tendance à s'accumuler. En durcissant, ces graisses forment une croûte très difficile à pomper, il est donc nécessaire pour certains ouvrages d'intervenir tous les 3 mois.

f) *Le curage des ouvrages siphonnés*

Afin de contourner certains obstacles (tunnel SNCF, canal Saint Félix) d'imposants siphons existent. Ces ouvrages sont systématiquement doublés, facilitant ainsi leur isolation pour les opérations de curage. Afin de nettoyer ces derniers, des chasses d'eau sont effectuées permettant de pousser et de regrouper les débris du siphon et d'évacuer les gaz, s'étant formés dans des poches, sur la partie aval de l'ouvrage. L'ouvrage est ensuite isolé, les effluents aspirés, puis les agents descendent au fond pour pomper les sables et les boues.

C) *La description des postes de travail des agents d'exploitation hydrocurage*

Parmi les trois équipes d'agents d'exploitation hydrocurage (27 personnes au total), deux travaillent en horaires réguliers (de 8h à 12h et de 13h30 à 17h) et une en horaires du matin (de 6 h à 13 h). Cette dernière travaille conjointement avec les équipes d'égoutiers de fond, contrairement aux deux autres qui effectuent l'entretien des réseaux séparatifs non visitables (opération présentant moins de contraintes horaires).

Leur activité principale est de nettoyer des ouvrages d'assainissement. Ce travail s'effectue à l'aide de camions hydrocureurs.

Les agents font descendre une « tête » hydrocureuse dans les réseaux qui va s'engager, grâce à la pression de l'eau envoyée, sur plusieurs dizaines de mètres dans les canalisations. La « tête » est ensuite tirée par le camion. Le « parapluie » d'eau envoyée sous pression émanant de la « tête » va ramener les sables et les boues qui sont simultanément pompés par le camion. L'eau sous pression crée un brouillard d'aérosols dans le réseau auquel les agents sont exposés au niveau des regards.

D) *La description des postes de travail des électromécaniciens*

Les électromécaniciens sont au nombre de 15 à travailler au service assainissement de Nantes Métropole. Ils travaillent selon des horaires réguliers (de 7h45 à 12h et de 13h00 à 16h15).

Parmi l'ensemble des tâches incombant aux électromécaniciens, certaines, effectuées de façon ponctuelle, supposent un contact direct avec les effluents. Ce contact s'effectue principalement à l'occasion du nettoyage des bâches des postes de relèvement et de refoulement. Ce nettoyage représente environ 10% de l'activité des électromécaniciens.

Ces agents peuvent également se trouver au contact des effluents lors de l'entretien de certaines pompes (celles présentes dans les stations avec des fosses immergées).

E) Les équipements de protection individuelle

a) *La réglementation*

Les équipements de protection individuelle (EPI) relèvent de dispositions du Code du Travail, quatrième partie « Santé et Sécurité au Travail », livre III « Equipements de travail et moyens de protection » :

- Partie législative : art. L. 4311-1 et suivants
- Partie réglementaire : art. R. 4311-1 et suivants

D'après l'article R. 4311-12 du Code du Travail, « Les équipements de protection individuelle, (...), sont des dispositifs ou des moyens destinés à être portés ou tenus par une personne en vue de la protéger contre un ou plusieurs risques susceptibles de menacer sa santé ou sa sécurité. »

L'employeur doit veiller à l'utilisation effective des EPI par les travailleurs (art. R.4321-4 du Code du Travail).

« L'employeur fait bénéficier les travailleurs devant utiliser un équipement de protection individuelle d'une formation adéquate comportant, en tant que de besoin, un entraînement au port de cet équipement. Cette formation est renouvelée aussi souvent que nécessaire pour que l'équipement soit utilisé conformément à la consigne d'utilisation. » (Art. R. 4323-106 du Code du Travail).

b) Les EPI des agents entretenant les réseaux

Tableau 1 : EPI des agents entretenant les réseaux

EPI	Buts	Obligations
<u>Casque</u>	Protège des chutes d'objets et des heurts de la tête.	Port obligatoire dans le réseau souterrain des égouts.
<u>Lunettes de protection</u>	Protègent contre les projections de sable, de boue et d'effluent.	Port obligatoire lors des travaux d'hydrocurage ou de nettoyage au pistolet à haute pression.
<u>Vêtement de travail</u>	Protège de l'environnement salissant et des pathogènes qui lui sont associés.	Port obligatoire dans le réseau d'assainissement et dans les ouvrages annexes, ainsi que pour les travaux d'hydrocurage.
<u>Gants</u>	Protègent contre les risques mécaniques et le contact avec les effluents et les produits chimiques.	Port obligatoire dans le réseau d'assainissement, les ouvrages annexes et les opérations de manutention.
<u>Chaussures de sécurité</u>	Protègent de l'écrasement des orteils.	Port obligatoire lors des opérations de manutention.
<u>Bottes, cuissardes, grenouillères</u>	Protègent des effluents.	Port obligatoire dans le réseau et les ouvrages annexes.
<u>Protecteur anti-bruit</u>	Permet l'affaiblissement du niveau sonore. Ramène le bruit dans les limites non dangereuses pour l'ouïe.	Port obligatoire lorsque l'environnement sonore de travail dépasse les 80 décibels.
<u>Harnais et dispositifs anti-chute</u>	Permettent d'arrêter les chutes de hauteur, d'éviter d'être entraîné par le courant et de permettre la remontée d'une victime.	Port obligatoire pour la descente dans les puits des siphons et des bâches de station de relèvement et de refoulement, dans les regards profonds ou d'accès difficiles et face au risque d'être entraîné par le courant.
<u>Gilet « Haute Visibilité »</u>	Permet aux agents intervenant à pied sur le domaine routier, à l'occasion d'un chantier, d'être repérés plus facilement par les usagers de la route.	Port obligatoire lors des interventions à pied sur le domaine routier.
<u>Auto-sauveteurs (appareils d'évacuation à oxygène chimique)</u>	Protège les voies respiratoires de l'utilisateur contre les gaz, poussières et aérosols toxiques ou lorsque l'atmosphère est appauvrie en oxygène (moins de 17%).*	Port obligatoire à la ceinture ou présence à proximité immédiate des agents intervenant dans les réseaux.
<u>Détecteur tri-fonction</u>	Contrôle et alerte. Détecte les concentrations de trois gaz : H ₂ S, O ₂ et CO.	Port obligatoire en cas de descente dans le réseau.
<u>Appareils Respiratoires Isolants (ARI)</u>	Prodiguer une protection respiratoire (isolation totale) et permettre l'évolution des agents dans une atmosphère toxique ou asphyxiante (similaires aux scaphandres autonomes utilisés en plongée sous-marine).	Utilisation par les égoutiers de fond lorsqu'il est impossible de faire diminuer le niveau d'hydrogène sulfuré dans le réseau et lors des chasses d'eau effectuées au niveau des siphons.

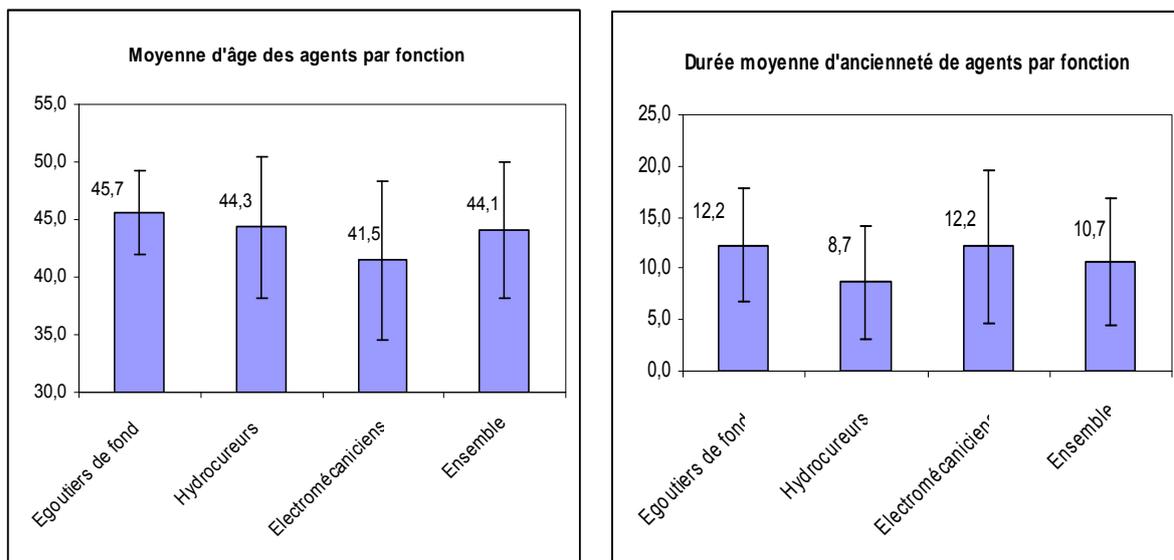
* L'appareil respiratoire fonctionne en circuit fermé permettant la fuite et la survie en cas d'accident entraînant une atmosphère irrespirable. Sa durée d'utilisation dépend à la fois de l'intensité de l'effort fourni par le porteur et de son flux respiratoire. Pour des efforts moyens et un débit respiratoire d'environ 35 litres/minutes, l'appareil a une autonomie d'environ 20 minutes. Son utilisation nécessite un entraînement fréquent du personnel.

F) La description de la population cible

Les données qui ont servi à décrire la population cible ont été fournies par la médecine du travail de Nantes Métropole et sont issues des dossiers médicaux de 54 agents (les agents de maîtrise n'étant pas pris en compte).

La moyenne d'âge des agents s'élève à environ 44 ans et l'ancienneté est, en moyenne, proche de 11 ans.

Figure 2 : Moyennes d'âge et d'ancienneté des agents selon leur fonction



L'absentéisme est particulièrement important chez les égoutiers de fond et les agents d'exploitation hydrocurage (35,8 jours par agent et par an en moyenne pondérée sur les 5 dernières années, contre 12,1 jours par agents de l'atelier et du magasin). Les pathologies recensées comme donnant lieu à un arrêt de travail ne sont pas liées à des agents chimiques ou biologiques mais des pathologies musculo-squelettiques.

2.3.2 L'inventaire des pathogènes d'intérêt potentiellement présents dans les eaux usées et l'étude des effets associés aux agents inhalables

A) La synthèse bibliographique des agents biologiques d'intérêt sanitaire présents dans les réseaux d'assainissement

Les agents biologiques d'intérêt sanitaire pouvant être retrouvés dans les réseaux d'assainissement sont nombreux et variés : champignons, parasites, bactéries et virus.

Ce paragraphe reprend des informations principalement issues du rapport de l'INERIS « Le risque biologique et la méthode d'évaluation du risque » (BONNARD R., 2001) et du guide technique réalisé par l'IRSST « Les bioaérosols en milieu de travail : guide d'évaluation, de contrôle et de prévention » (GOYER N. *et al.*, 2001).

a) *Les champignons*

Les champignons sont des organismes eucaryotes qui dépendent pour leur nutrition carbonée de la matière en décomposition. Ils vont assurer leur propagation via la diffusion de spores. Les champignons microscopiques mesurent de 1 à 100 microns.

Les moisissures présentent, quant à elles, la particularité d'avoir des organes de fructification possédant une structure filamenteuse. Elles peuvent se trouver partout où il y a une température adéquate, de l'humidité, de l'oxygène, une source de carbone, d'azote et les minéraux dont elles ont besoin.

b) *Les parasites*

Les helminthes

Les helminthes (mesurant de 50 microns à 8 m) sont des vers parasites ayant un cycle de développement complexe avec passage, ou non, dans le milieu extérieur et par un ou plusieurs hôtes. Ils comprennent les cestodes (ex : le tænia), les trématodes (ex : les ascaris) et les nématodes (ex : la douve).

Les protozoaires

Les protozoaires (mesurant de 10 microns à 2 cm) sont des organismes unicellulaires eucaryotes, dont un certain nombre est pathogène pour l'homme. Leur taille varie de quelques microns à plusieurs millimètres. Ils comprennent les Rhizopodes, les Flagellés, les Sporozoaires et les Ciliés.

c) *Les bactéries*

Les bactéries sont des organismes procaryotes (mesurant de 1 à 10 microns) dont la pathogénicité peut être liée à la libération de toxines ou à leur caractère invasif.

Elles sont classées en deux groupes selon la composition de leur membrane cellulaires : les gram positives et les gram négatives.

d) *Les virus*

Les virus (mesurant autour de 0,1 microns) sont des parasites obligatoires d'une cellule vivante. Ils sont incapables de se multiplier hors d'une cellule hôte car ils ne possèdent pas les systèmes enzymatiques, énergétiques et de synthèses nécessaires. Leur matériel génomique est composé soit d'ARN soit d'ADN entouré d'une capsid. Ils sont, ou non, recouverts d'une enveloppe lipoprotéique, les virus sans enveloppe étant plus résistants dans l'environnement. Ils sont relativement spécifiques d'un hôte (animaux, homme, plantes, etc.).

B) L'identification des dangers liés à l'inhalation des agents biologiques

a) *Les généralités*

Les risques liés aux micro-organismes présents dans le milieu des égouts sont théoriquement importants. En effet, les agents travaillant au contact des eaux usées sont exposés à une large gamme d'agents biologiques infectieux (virus, bactéries, parasites et champignons) et non- infectieux (endotoxines, mycotoxines, etc.) (DOUWES *et al.*, 2001). De plus, les eaux usées constituent non seulement un vecteur pour de nombreux microorganismes, mais également un milieu de prolifération pour certains d'entre eux.

Par ailleurs, le milieu chaud et humide des égouts peut être favorable au développement de la flore mycélienne et à l'inhalation de spores. L'atmosphère confinée est également propice au contact avec des virus aéroportés. De façon générale, l'ambiance des réseaux d'assainissement est donc favorable à la contamination respiratoire par des microorganismes aéroportés (ALTEMEYER *and al.*, 1990).

Des travaux réalisés en STEP montrent une prévalence des symptômes liés à la voie d'exposition respiratoire chez les agents travaillant au contact des eaux usées. Chez ces agents, des études notent la prévalence de symptômes gastro-intestinaux, de douleurs articulaires, de symptômes respiratoires et de symptômes au niveau du système nerveux central. Une proportion plus importante de neutrophiles dans le sang est également retrouvée, pouvant être liée à une exposition à des agents inflammatoires tels que l'inhalation d'endotoxines (THORN *et al.*, 2004).

L'agent biologique qui est inhalé va se trouver sur des particules solides ou liquides dispersées dans l'air, l'ensemble constituant un bioaérosol. Les bioaérosols se définissent comme des particules aéroportées constituées d'organismes vivants, tels que des microorganismes, ou provenant d'organismes vivants, par exemple les métabolites, les toxines ou les fragments de microorganismes. Pour la majorité d'entre eux, la relation dose-effet par inhalation n'a pas été établie, cependant la communauté scientifique s'entend sur le fait que certains bioaérosols peuvent causer des problèmes de santé (GOYER *et al.*, 2001).

Les aérosols vont donc pouvoir contenir des agents infectieux et leur rôle de vecteur de ces agents pathogènes vers les voies respiratoires va dépendre de plusieurs facteurs (ALTEMEYER *et al.*, 1990) :

- la viabilité des germes dans ces aérosols,
- les caractéristiques propres des germes (ex : les parasites, étant donné leur taille, ne peuvent pas être véhiculés par de fines gouttelettes),

- le diamètre des gouttelettes, qui doit être inférieur à 3 µm pour atteindre les alvéoles pulmonaires (si leur diamètre est supérieur, elles vont être captées par l'épithélium cilié, évacuées vers le carrefour aéro-digestif, puis dégluties),
- les conditions locales, qui vont intervenir dans la diffusion de l'aérosol (température ambiante, hygrométrie, aération, etc.),
- la voie de pénétration des pathogènes dans l'organisme biologiquement efficace.

Les agents biologiques peuvent induire des effets par inhalation de plusieurs natures : il convient de distinguer le risque infectieux du risque toxique. Un agent infectieux est un agent capable de se multiplier dans l'organisme hôte (une infection se traduisant, ou non, par une maladie). Le risque toxique, quant à lui, se rapporte aux effets liés à la sécrétion ou à l'excrétion dans le milieu d'une toxine par le microorganisme.

Les effets produits sont variés, pouvant être aigus, chroniques, de nature cancérogène ou encore allergène. Il faut noter que, sauf pathologies particulières, il est souvent difficile d'associer une maladie à son agent étiologique. En particulier, les effets à long terme des agents biologiques sont très mal connus (BONNARD R., 2001).

b) L'état des connaissances sur les risques infectieux

Le risque infectieux lié aux champignons

Actuellement, les études épidémiologiques ne permettent pas de mettre en évidence une relation causale entre l'ampleur de la présence fongique et l'exposition aux moisissures présentes dans l'air avec des effets spécifiques sur la santé ou avec la fréquence et la gravité des symptômes rapportés. Cependant, elles tendent à montrer l'existence d'une association entre l'exposition aux moisissures et le développement de certains symptômes, notamment respiratoires.

En conséquent, la nature de la relation dose-réponse entre l'exposition aux moisissures et l'effet sur la santé n'est pas connue, pas plus que l'existence d'un seuil d'exposition sous lequel il n'y a pas de risque.

Les infections par les champignons sont regroupées en trois classes : systémiques, opportunistes et superficielles. Les infections systémiques sont causées par l'inhalation de spores. Les infections fongiques opportunistes se limitent aux personnes ayant un système immunologique déficient (GOYER N. *et al.*, 2001), donc théoriquement pas aux agents occupant les postes de travail étudiés.

Le risque infectieux lié aux bactéries (BONNARD R. et al., 2001)

Les eaux usées sont propices à la présence et à la croissance bactérienne, qui nécessite beaucoup d'humidité. Certaines bactéries sont reconnues comme étant des agents responsables de maladies infectieuses.

Les bactéries peuvent être transmises dans l'air par la projection de gouttelettes d'eau qui en contiennent.

Le risque infectieux lié aux virus

Les virus principalement concernés sont les virus entériques aéroportés (*échovirus, coxsackies, etc.*), mais aussi les virus non entériques (*adénovirus, réovirus, etc.*). Il a été montré que les taux d'anticorps anti-adénovirus et anti-parainfluenzae virus type 1 étaient plus élevés chez les travailleurs en contact avec les eaux usées (ALTEMYER *et al.*, 1990).

c) Etat des connaissances sur les risques non infectieux (INRS, 2005)

Les risques infectieux ne sont pas les seuls risques liés à l'exposition aux agents biologiques. D'autres pathologies, en particulier immunoallergiques et toxiques, sont également décrites.

Les affections respiratoires non infectieuses d'origine professionnelle peuvent être de plusieurs types :

- des pathologies immunoallergiques : des rhinites et asthme et des pneumopathies d'hypersensibilité,
- des affections toxiques : des symptômes respiratoires aigus non allergiques et le syndrome toxique des poussières organiques.

Les principaux agents biologiques en cause lors de ces pathologies non infectieuses sont des métabolites, des toxines ou des fragments de micro-organismes.

Les pathologies immuno-allergiques

Au niveau des pathologies respiratoires engendrées par les moisissures, les manifestations allergiques occupent une place prépondérante (rhinites, asthme et alvéolites allergiques intrinsèques). Par ailleurs, les métabolites secondaires synthétisés par les moisissures telles que les mycotoxines peuvent être des facteurs d'activation, voire d'aggravation de la réaction allergique. Ces mycotoxines sont libérées par les moisissures lors du processus de dégradation de la matière nutritive. Elles servent de défense contre les autres micro-organismes. Une même espèce fongique va être capable de produire différentes toxines en fonction du substrat et des facteurs environnementaux locaux. Les mycotoxines sont des composés non volatils qui vont se retrouver dans l'air

en cas d'agitation du milieu où elles sont produites. Les effets sur la santé induits par ces mycotoxines ne sont pas bien connus (irritation des muqueuses, effets systémiques tels que étourdissements, nausées, maux de tête, etc.), mais ces métabolites apparaissent comme potentiellement dangereux (effet immunosuppresseur) et certaines, comme l'alfatoxine, sont classées cancérigènes par le Centre International de Recherche contre le Cancer (CIRC) (annexe 4) (GOYER *et al.*, 2001).

Les rhinites et l'asthme sont observés lors d'inhalation de spores fongiques et d'éléments mycéliens, émis dans l'air en quantité, plus rarement de bactéries. Les mécanismes allergiques des rhinites et de l'asthme font intervenir des IgE. La réaction spécifique entre les antigènes et ces derniers va induire une cascade d'évènements responsables de l'activation des cellules inflammatoires. Cette réaction inflammatoire se produit au niveau de la muqueuse nasale dans le cas de la rhinite et au niveau des voies respiratoires dans le cas de l'asthme.

Pour engendrer la survenue d'une pneumopathie d'hypersensibilité, les antigènes doivent être respirables. Pour cela, ils doivent avoir un diamètre aérodynamique inférieur à trois micromètres, être capables de fixer le complément et d'agir comme adjuvant pour initier la réaction immunologique. Ces propriétés sont le fait de micro-organismes bactériens et fongiques.

En ce qui concerne les bactéries, celles à l'origine de pathologies respiratoires allergiques sont les actinomycètes thermophiles. Ces bactéries sont à l'origine de pneumopathies d'hypersensibilité et plus rarement d'asthme. En effet, leur paroi cellulaire est composée de peptidoglycanes qui sont soupçonnés d'être un agent causal potentiel de l'inflammation pulmonaire associée à l'inhalation de bactéries gram positives.

Le seuil de déclenchement de ces pathologies immuno-allergiques est très variable d'un individu à l'autre et, pour un même individu, ce seuil peut varier au cours du temps (INRS, 2009).

Les affections toxiques

Des manifestations bronchiques aiguës sont trouvées parmi les professionnels exposés aux poussières organiques. Elles relèvent de mécanismes inflammatoires (plutôt qu'allergiques) et seraient dues aux toxines bactériennes et fongiques. En effet, il a été montré que les endotoxines bactériennes étaient susceptibles d'entraîner une libération non IgE-dépendante d'histamine et de leucotriènes avec une relation de type dose-effet.

Le syndrome toxique des poussières organiques (Organic Dust Toxic Syndrom) est une affection provoquée par les endotoxines des bactéries gram négatives (dans la mesure où elles sont présentes en quantité importante dans l'environnement de travail). Il s'agit de constituants de la membrane cellulaire extérieure des bactéries gram négatives. Les

bactéries gram négatives libèrent ces lipopolysaccharides (LPS) constitutives de leur membrane externe de façon massive lors de la mort cellulaire (lyse de la cellule). La partie lipidique (lipide A) correspond à l'endotoxine bactérienne responsable de manifestations toxiques. Les LPS vont stimuler l'immunité via l'activation du système du complément et entraîner des phénomènes inflammatoires.

Il faut cependant noter qu'il n'est pas certain que les effets des endotoxines bactériennes soient la cause première de l'ODTS. En effet, Les moisissures et les levures pourraient également contribuer à ces réactions inflammatoires pulmonaires, de par la présence au niveau de leurs membranes cellulaires de substances pro-inflammatoires, telles que l'ergostérol et les (1,3)- β -D-glucanes (INRS, 2005). Les glucanes (β -(1-3)-D-glucanes) sont des polymères de glucose présents dans les parois cellulaires des moisissures, des bactéries et des plantes. Il s'agirait d'agents irritants pour les voies respiratoires. L'ergostérol est, quant à lui, un composant de la membrane cellulaire des moisissures semblant intervenir dans les manifestations toxiques (GOYER et *al.*, 2001).

D'autres substances, telles que les exotoxines, peuvent être inflammatoires ou immunomodulatrices. Les exotoxines sont des protéines (généralement associées à des risques infectieux comme le choléra, le botulisme ou encore le tétanos) habituellement sécrétées pendant la croissance des bactéries et sont également libérées pendant la lyse des bactéries (GOYER et *al.*, 2001).

Le syndrome des égoutiers

Une place à part est à réserver à ce syndrome. Il est rapporté, dans la littérature, que les endotoxines aéroportées peuvent provoquer des troubles physiologiques chez les égoutiers, appelés « syndrome des égoutiers ». Ce syndrome pseudo-grippal associe frissons, malaise général, fièvre et troubles gastro-intestinaux avec diarrhées. Les endotoxines auraient un effet stimulant de la prolifération des lymphocytes B et activeraient la voie alterne du complément. La pathologie s'installe brutalement mais disparaît au bout de 24 heures (RYLANDER, 1999). Ce syndrome semble s'apparenter à l'ODTS, mais le lien entre les deux n'est pas clairement établi dans la littérature.

2.3.3 La sélection des agents biologiques d'intérêt sanitaire pouvant être considérés comme prioritaires

A) Les généralités sur le choix des agents biologiques d'intérêt

Dans le domaine biologique, les agents dangereux sont innombrables (champignons, bactéries, virus, etc.). Par ailleurs, leur concentration et leur présence vont être variables dans le temps (au niveau d'une journée, d'une saison, etc.). Il s'avère donc quasiment impossible d'établir une liste exhaustive d'agents biologiquement dangereux dans le

cadre d'une évaluation des risques microbiologiques. D'après l'INERIS, la sélection des agents et des effets à prendre en compte dans l'évaluation des risques passe par un travail qui doit se baser sur l'épidémiologie, l'étude des cas cliniques et la microbiologie environnementale.

Dans le cas présent, aucun cas clinique n'a été détecté ces dernières années chez les agents de Nantes Métropole travaillant à l'entretien des réseaux d'assainissement.

Cependant, cette absence de cas est à interpréter avec précaution car les agents ont tendance à consulter préférentiellement leur médecin généraliste et non leur médecin du travail. Par exemple, le diagnostic d'ODTS est peu connu des généralistes et ne se différencie d'une grippe que par son évolution. Il est donc fort probable que des cas passent inaperçus et que leur nombre soit sous-estimé.

Aucune étude épidémiologique n'a, non plus, été réalisée chez les agents de Nantes Métropole. Il existe néanmoins une étude épidémiologique, ayant décrit des symptômes respiratoires, qui a été effectuée chez les égoutiers de la ville de Paris (WILD *et al.*, 2004) et qui pourra servir ici de base de travail.

B) Les seuils et valeurs guides (GOYER N, 2001)

De manière générale, il n'existe pas de normes sur les limites d'exposition aux bioaérosols. Cette absence s'explique par diverses raisons :

- Les relations dose-effet ne sont pas suffisamment documentées (de plus, la susceptibilité individuelle semble très importante).
- Les effets rapportés concernent une espèce spécifique, alors que dans l'environnement la diversité des espèces est élevée. Les effets synergiques d'une exposition multiple à des bioaérosols n'ont pas été étudiés.
- Il est difficile de conduire des études épidémiologiques rigoureuses chez des groupes de travailleurs suffisamment nombreux.
- Les niveaux de base de bioaérosols fluctuent beaucoup. En effet, la composition et la concentration des espèces constituant la flore microbienne d'un environnement sont très fluctuantes en fonction des conditions ambiantes et du cycle de vie des espèces.
- Les études réalisées reposent sur des prélèvements ambiants de courte durée. Aucune mesure de dose d'exposition cumulative n'est possible.
- Il n'existe pas de méthode permettant de mesurer l'ensemble des bioaérosols présents et il existe parfois d'importantes différences entre les méthodes employées.

L'ensemble de ces raisons explique le manque important d'informations permettant d'établir des valeurs limites d'exposition.

Cependant, malgré ces lacunes, il existe certaines valeurs et certains critères sur lesquels la communauté scientifique tend à s'entendre afin de juger de l'importance de l'exposition aux bioaérosols (voir tableau 1).

Tableau 2 : Critères d'action proposés par l'IRSST pour l'exposition à des bioaérosols

Paramètre	Critère d'action
Bactéries totales	Milieu agricole ou industriel : 10 000 UFC/m ³ d'air (8 heures) Milieu non industriel ventilé mécaniquement : 1 000 UFC/ m ³
Bactéries Gram négatives	Milieu agricole ou industriel : 1 000 UFC/m ³ d'air (8 heures) Milieu non industriel : présence
Endotoxines	Concentration > 30 fois la concentration de base dans l'air au site de référence Concentration > 10 fois la concentration de base dans l'air au site de référence (en cas de symptômes respiratoires)
Moisissures	Croissance visible sur une surface Détection d'une odeur caractéristique
Moisissures	Concentration > concentration de base dans l'air au site de référence Espèces différentes du site de référence (dans l'air)
Bioaérosols	Présence excessive d'humidité Présence d'eau (infiltration, inondation, accumulation, etc)

En l'absence de valeurs limites d'exposition et de données toxicologiques concluantes, l'interprétation des résultats d'une évaluation environnementale de bioaérosols s'avère complexe.

Par ailleurs, la présence de microorganismes est normale dans l'environnement des réseaux visitables d'assainissement. La démarche employée par la suite de sélection d'agents biologiques « prioritaires » semble donc plus adaptée que la réalisation d'un échantillonnage dans le but de connaître l'ensemble des agents présents dans l'air.

C) La démarche de sélection retenue dans l'étude

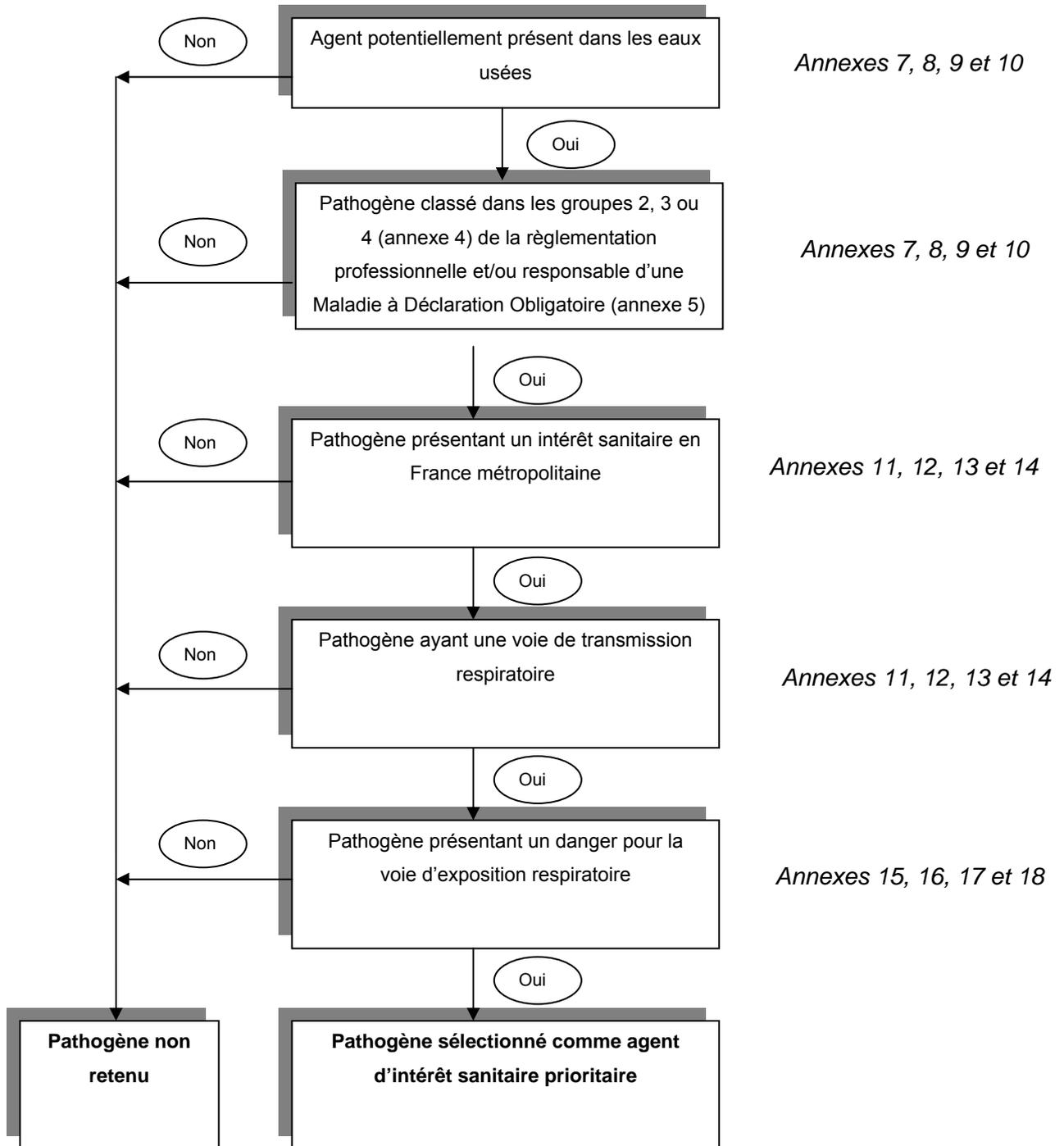
Au vu du nombre et de la diversité des pathogènes présentant un risque infectieux pouvant être retrouvés dans les eaux usées, une sélection a été réalisée afin de dégager les principaux agents d'intérêt sanitaire en France. Il faut ajouter à ces agents retenus, les agents responsables d'affections toxiques (endotoxines, principalement) et de pathologies immuno-allergiques (mycotoxines, principalement) précédemment décrits.

Dans un premier temps, l'ensemble (liste non exhaustive) des agents biologiques potentiellement présents dans les réseaux d'assainissement a été listé (annexe 7, 8, 9 et 10). Cette liste s'appuie principalement sur la publication d'Altmeyer N. (1990) et sur une étude épidémiologique réalisée chez les égoutiers de Paris (WILD P., 2004).

Les critères de sélection utilisés par la suite sont présentés sur la figure 3, il s'agit du caractère infectieux du microorganisme (les autres risques de types allergiques ou toxiques ne sont pas pris en compte dans cette sélection), de la voie de transmission et

de la répartition géographique du pathogène (présence en France métropolitaine autre qu'anecdotique). Au final, les pathologies ne présentant pas de danger pour des personnes non immunodéprimées sont écartées. En effet, théoriquement, dans le cas où un agent est immunodéprimé, un changement de poste de travail doit lui être proposé.

Figure 3 : Schéma de la démarche de réflexion pour la sélection d'un agent biologique comme pathogène d'intérêt sanitaire prioritaire



D) Les pathogènes sélectionnés

a) *Les bactéries sélectionnées*

La liste, non exhaustive, des bactéries potentiellement présentes dans les eaux usées compte 34 agents. 17 appartiennent au groupe 2 selon le classement dans la réglementation professionnelle, 2 au groupe 3 et 1 aux groupes 2 ou 3 selon l'espèce considérée. Parmi eux, 8 sont à l'origine d'une maladie à déclaration obligatoire (MDO). Cinq bactéries présentent à la fois un intérêt sanitaire en France métropolitaine et une voie de transmission par inhalation : *Légionella pneumophila*, *Mycobactérium tuberculosis*, *Actinomyces israeli*, *Pseudomonas aeruginosas* et *Leptospira interrogans*.

Si le danger lié à ces pathogènes est pris en compte, uniquement *Légionella pneumophila* est à l'origine de maladies graves. *Mycobactérium tuberculosis* ressort également de la sélection. Cependant, même s'il est cité par Altmeyer (1990) comme susceptible d'être présent dans les eaux usées et les boues, une infection liée aux eaux usées est peu probable car, d'après le médecin du travail, il est transmis directement de personne à personne par les crachats (les bacilles étant éliminés dedans). *Actinomyces israeli* et *Pseudomonas aeruginosas* ne sont dangereuses que pour des personnes immunodéprimées. Enfin, *Leptospira interrogans* est exclue car les agents d'entretien des réseaux d'assainissement de Nantes Métropole sont systématiquement vaccinés contre la leptospirose.

b) *Les virus sélectionnés*

La liste, non exhaustive, des virus potentiellement présents dans les eaux usées compte 11 agents appartenant tous au groupe 2 selon le classement dans la réglementation professionnelle, 2 d'entre eux étant également à l'origine de MDO. L'ensemble de ces virus est présent en France métropolitaine, à l'exception du *Poliovirus* qui a été éradiqué en Europe de l'Ouest grâce à la vaccination. Cinq d'entre eux peuvent être transmis par inhalation d'aérosols : le coronavirus, les virus coxsackie A et B, l'adénovirus et le virus grippal. La grande majorité des coronavirus engendrent des pathologies bénignes ; ce qui est également généralement le cas pour les virus coxsackie A et B. Les infections liées aux adénovirus sont, le plus souvent, peu graves sauf chez des personnes immunodéprimées où elles peuvent être mortelles. Il reste donc l'*Influenzae virus*.

Ce dernier semble néanmoins pouvoir être écarté en règle générale, sauf dans le cas du virus H5N1. En effet, d'après l'Affset (saisine n°2005/011) et l'Affsa (saisine n°2005-SA-0332), les personnes contaminées par le virus H5N1 peuvent présenter une diarrhée dans laquelle le génome viral a été mis en évidence chez certains patients. En cela, le comportement du virus H5N1 est atypique par rapport aux virus influenza A humains de type A H3N2 ou A H1N1. Il faut néanmoins prendre en compte que, même si l'observation

d'une excrétion fécale de virus infectieux par l'homme est confirmée, elle n'est pas forcément liée à l'existence d'une transmission oro-fécale. Cependant, à la vue de ces éléments, il n'est pas possible d'exclure la production d'eaux usées potentiellement contaminées en cas d'excrétion fécale (même si cette situation n'a jamais été constatée lors des pandémies de 1918, 1957 et 1968, ni lors des épidémies hivernales).

c) *Les parasites sélectionnés*

La liste, non exhaustive, des parasites potentiellement présents dans les eaux usées compte 14 agents dont 4 protozoaires et 10 métazoaires. Deux d'entre eux appartiennent au groupe 3 selon le classement dans la réglementation professionnelle et 10 au groupe 2. La plupart de ces parasites est répandue dans le monde entier. Aucun de ces parasites n'a de voie de contamination respiratoire.

d) *Les levures et les champignons sélectionnés*

La liste, non exhaustive, des levures et des champignons potentiellement présents dans les eaux usées compte 2 levures et 8 champignons. A l'issue de la première étape de sélection, 6 agents, appartenant au groupe 2 selon le classement dans la réglementation professionnelle, ont été retenus. L'ensemble de ces pathogènes peut être présent en France métropolitaine, mais uniquement deux, *Cryptococcus neoformans* et *Aspergillus spp*, peuvent être transmis par inhalation. Ces deux agents présentent un danger quasiment uniquement chez des personnes immunodéprimées.

2.3.4 L'inventaire des agents chimiques d'intérêt sanitaire présents dans les réseaux d'assainissement et l'étude des effets associés à leur inhalation

Ce paragraphe reprend des informations issues de l'ouvrage « Les micropolluants organiques dans les boues résiduaire des stations d'épuration urbaines » paru aux éditions ADEME (JAUZEIN *et al.*, 1995). Il est considéré que les micropolluants organiques retrouvés dans les boues de STEP sont à fortiori présents dans le réseau.

Ces données sont complétées avec les dossiers sur les solvants de l'INRS et des fiches de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques de l'INERIS.

a) *Les solvants*

Un solvant est un produit qui se caractérise par sa capacité à dissoudre, diluer ou extraire d'autres substances sans modifier leur composition chimique et sans se modifier lui-même.

Les solvants organiques sont des hydrocarbures (molécules formées, entre autres, de carbone et d'hydrogène).

Huit principaux groupes sont distingués auxquels s'ajoutent quelques solvants particuliers : les hydrocarbures aromatiques, les solvants pétroliers, les alcools, les cétones, les esters, les éthers, les éthers de glycol, les hydrocarbures halogénés et les solvants particuliers

La toxicité est très variable d'un solvant à l'autre mais aucun n'est inoffensif. Ils vont pouvoir pénétrer dans l'organisme via trois voies : respiratoire (grâce à leur volatilité), cutanée et digestive (absorption accidentelle).

De façon générale, tous les solvants organiques sont irritants pour la peau (dermite d'irritation) et les muqueuses.

L'inhalation de vapeurs de solvants entraîne une irritation des voies aériennes supérieures (bouche, nez, pharynx, larynx). Une atteinte du système nerveux peut également se produire en cas d'inhalation d'air contenant une concentration élevée en solvants. Il s'agira de manifestations ebrio-narcotiques (sensations d'ivresse, vertiges, maux de tête, nausées). Si l'exposition est massive, des troubles de la conscience peuvent apparaître (anesthésie, somnolence, voire coma).

Une exposition chronique peut conduire à des désordres neurologiques et psychiatriques (fatigue, troubles de l'humeur, troubles de la mémoire, voire démence) réunis sous le terme « syndrome psycho-organique aux solvants ». Ces troubles sont réversibles après l'exposition, en ce qui concerne les premiers stades.

Par la suite, les différents solvants vont être détaillés ainsi que leurs propriétés toxiques propres à la voie d'exposition respiratoire, voie d'exposition d'intérêt dans cette étude.

Les solvants pétroliers

Exemples de composés :

Hexane, heptane, cyclohexane, etc.

Origine :

3 sources potentielles sont distinguées :

- Les carburants et lubrifiants automobiles retrouvés dans les eaux de ruissellement urbaines principalement à proximité des stations services, des zones de stationnement et des axes de circulation.
- Les hydrocarbures utilisés comme solvant au niveau domestique ou artisanal (ex : « white spirit ») retrouvés dans les eaux usées ou les eaux de ruissellement.
- Les produits pétroliers des sites industriels de production, de stockage ou de transformation retrouvés anormalement dans les eaux usées (raccordements industriels) ou le ruissellement (déversements accidentels).

Toxicité :

Leur toxicité est commune à celle des solvants avec en plus, parmi les alcanes, des effets neurologiques spécifiques de l'hexane sur le système nerveux périphérique conduisant à une paralysie des membres inférieurs.

Il faut noter, qu'en ce qui concerne les gaz, le risque est plus souvent lié à l'asphyxie par manque d'oxygène qu'à leur toxicité propre.

Propriétés physico-chimiques :

Les hydrocarbures sont des substances lipophiles, plus ou moins volatiles et biodégradables, très peu solubles dans l'eau.

Les hydrocarbures aromatiques

Exemples de composés :

Benzène, toluène, xylène, cumène, etc.

Origine :

3 sources potentielles sont distinguées :

- Le benzène qui était associé aux supercarburants retrouvé dans les eaux de ruissellement urbaines principalement à proximité des stations services, des zones de stationnement et des axes de circulation. Cependant, ce type de carburant est en voie de disparition à l'heure actuelle.
- Les composés benzéniques utilisés comme solvant au niveau domestique ou artisanal retrouvés dans les eaux usées ou les eaux de ruissellement.
- Les composés benzéniques produits ou utilisés dans l'industrie retrouvés anormalement dans les eaux usées (raccordements industriels) ou les eaux de ruissellement (déversements accidentels).

Toxicité :

Les hydrocarbures aromatiques possèdent les mêmes caractéristiques toxiques que l'ensemble des solvants.

Deux d'entre eux présentent des toxicités particulières :

- le benzène, qui est classé comme cancérigène de catégorie 1 « cancérigène certain pour l'homme » par le CIRC (hématotoxicité). Néanmoins, son utilisation est strictement réglementée (interdiction de commercialiser des solvants contenant plus de 0,1% de benzène).
- le toluène, qui est classé reprotoxique de catégorie 3 (risque possible) par l'Union Européenne.

Propriétés physico-chimiques :

Les composés benzéniques sont lipophiles, volatils à température ambiante et modérément biodégradables, tout en restant un peu solubles dans l'eau.

Les hydrocarbures aromatiques chlorés

Exemples de composés :

Chlorobenzènes.

Origine :

3 sources potentielles et de chlorobenzènes peuvent être distinguées :

- Les chlorobenzènes générés par l'utilisation domestique de solvants, de pesticides ou de désodorisants et désinfectants sanitaires.
- Les chlorobenzènes produits ou utilisés dans l'industrie et se retrouvant anormalement dans les eaux usées urbaines (effluents, ruissellements).
- Les solvants chlorés utilisés dans des unités de nettoyage à sec, des laboratoires, des ateliers de peinture ou des ateliers de mécanique.

Toxicité :

Les hydrocarbures benzéniques chlorés présentent des toxicités aiguës communes aux solvants. Ils sont également suspectés d'avoir des actions similaires au benzène (cancérogène de la moelle osseuse).

Propriétés physico-chimiques :

Ces composés sont volatils et légèrement solubles dans l'eau malgré leur caractère lipophile. Ils sont assez peu biodégradables surtout pour les degrés de chloration élevés.

Les hydrocarbures aliphatiques halogénés

Exemples de composés :

Cette dénomination regroupe les hydrocarbures chlorés, bromés ou fluorés.

Origine :

4 sources potentielles sont distinguées :

- Les hydrocarbures halogénés générés par l'utilisation domestique de solvants, de pesticides, d'aérosols ou d'équipements ménagers contenant ces composés.
- Les hydrocarbures halogénés produits ou utilisés dans l'industrie et se retrouvant anormalement dans les eaux usées urbaines (effluents, ruissellement).
- Les solvants chlorés utilisés dans les unités de nettoyage à sec, des laboratoires, des ateliers de peinture ou des ateliers mécaniques.
- Les composés pesticides utilisés en agriculture, ou pour l'entretien des espaces verts et des jardins privés.

Toxicité :

Ces composés présentent une toxicité commune aux solvants. En plus, certains sont mutagènes, cancérogènes et/ou tératogènes, suspectés ou avérés, (Exemples : trichloroéthylène, chloroforme et tétrachlorure de carbone, perchloéthylène, dichlorométhane (employé comme décapant de graffitis, mais en cours de substitution à Nantes Métropole), etc.)

Propriétés physico-chimiques :

Les hydrocarbures aliphatiques halogénés sont souvent très volatils et légèrement solubles dans l'eau malgré leur caractère lipophile.

Les alcools, les cétones, les esters, les éthers et les éthers de glycol et les aldéhydes

Origine :

3 sources potentielles peuvent être distinguées :

- Les composés générés par l'utilisation domestique de solvants, de médicaments, de produits alimentaires ou des produits manufacturés contenant ces composés.
- Les composés produits ou utilisés dans l'industrie (en particulier les solvants et les intermédiaires de synthèse) se retrouvant anormalement dans les eaux usées urbaines (effluents, ruissellements).
- Les solvants utilisés dans des unités artisanales, des laboratoires, des ateliers de peinture ou des ateliers mécaniques.

Toxicité :

Les cétones, les éthers et les esters présentent des effets aigus communs aux solvants, comme l'action irritante sur les voies respiratoires. Il faut noter que les éthers de glycols sont des cas particuliers car certains sont classés reprotoxiques de catégorie 2.

Parmi les alcools, le plus toxique est le méthanol qui présente des dangers d'effets irréversibles très graves par inhalation (il peut provoquer la cécité, voire la mort).

Le formaldéhyde est un cancérogène classé dans la catégorie 1 par le CIRC.

Propriétés physico-chimiques :

La plupart de ces composés est hydrosoluble, volatil et biodégradable rapidement.

Les solvants particuliers

Il s'agit de solvants organiques particuliers tels que les terpènes, les amides, certains dérivés nitrés, etc.

Exemple de composés :

Hydrocarbures nitrés (nitrobenzène), diméthylformamide, diméthylsulfoxyde, etc.

Origine :

3 sources potentielles peuvent être distinguées :

- Les composés générés par l'utilisation domestique de solvants, de médicaments, de produits alimentaires ou des produits manufacturés contenant ces composés.
- Les composés produits ou utilisés dans l'industrie se retrouvant anormalement dans les eaux usées urbaines (effluents, ruissellements).
- Les solvants utilisés dans des unités artisanales, des laboratoires, des ateliers de peinture ou des ateliers mécaniques.

Toxicité :

Ils présentent les effets communs aux solvants. Certains possèdent en plus une toxicité spécifique par voie d'exposition respiratoire. Il s'agit, par exemple, du nitrobenzène qui crée, suite à son absorption par inhalation, des atteintes hématologiques, hépatiques ou neurologiques pouvant aller jusqu'au coma. Le sulfure de carbone va engendrer des symptômes psychiatriques regroupés sous l'appellation de « folie sulfocarbonée » pouvant aller également jusqu'au coma. Le 2-nitropropane est, quant à lui, toxique pour le foie en cas d'exposition chronique par voie respiratoire.

Propriétés physico-chimiques :

Ces solvants ne forment pas une famille homogène d'un point de vue physico-chimique et ne possèdent que peu de propriétés communes. Ils se présentent sous la forme de liquides, volatils à température ambiante et sont incolores pour la plupart.

b) Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

Les HAP simples

Exemple de composés :

Naphtalène, bi- et polyphénols, benzo(a)pyrène, etc.

Origine :

3 sources potentielles sont distinguées :

- Les HAP liés aux gaz d'échappement des automobiles retrouvés dans les eaux de ruissellement urbaines associés à ceux générés par l'usure des pneumatiques et de l'asphalte, en particulier à l'aval des zones de stationnement et des axes de circulation.
- Les HAP générés par les unités thermiques industrielles au niveau des fumées et qui se retrouvent de manière diffuse au sol par les précipitations. Ils seront retrouvés dans les eaux de ruissellement.
- Les HAP associés à des déchets ou rejets industriels retrouvés anormalement dans les eaux usées (raccordements industriels) ou le ruissellement (déversements accidentels).

Toxicité :

Beaucoup de HAP sont cancérigènes en nécessitant une activation par des enzymes type monooxygénase présentes dans l'organisme ou par des agents chimiques. Cette activation biochimique va rendre les HAP actifs au niveau de l'ADN cellulaire par l'intermédiaire de métabolites cancérigènes (HAP diol époxyde). Par exemple, le naphtalène est cancérigène pour le rat au niveau des localisations de l'inflammation déclenchée par inhalation ; ce qui vaut son classement dans la catégorie 2B par le CIRC.

Propriétés physico-chimiques :

Les HAP sont généralement des liquides visqueux ou des solides peu volatils.

Le naphthalène est l'HAP le plus soluble dans l'eau, le plus volatil et le mieux biodégradable. Les autres HAP ne sont quasiment pas solubles dans l'eau et ont une grande affinité pour les matières organiques.

Les HAP halogénés de type PolyChloroBiphényles (PCB)

Exemples de composés :

Naphtalines, polychlorobiphényles, et polybromobiphényles.

Origine :

Leur utilisation est actuellement interdite, mais ils présentent une forte rémanence, en particuliers dans les sédiments.

Avant leur interdiction, 2 sources potentielles de PCB pouvaient être distinguées :

- Les PCB produits ou utilisés dans l'industrie et se retrouvant anormalement dans les eaux usées urbaines (effluent ou ruissellement contenant des huiles usagées, fuites de transformateurs ou de condensateurs...).
- Les PCB présents de manière diffuse dans les produits manufacturés (photocopies sur papier) et l'environnement, qui vont se retrouver dans les effluents urbains de manière systématique.

Toxicité :

Ils ont des effets chroniques par une action cancérogène et tératogène et des actions au niveau du foie et de la thyroïde.

Propriétés physico-chimiques :

Les PCB sont stables physiquement, chimiquement et biologiquement. De plus, ils sont lipophiles et auront tendance à se concentrer dans les boues. Ils sont classés dans les composés semi-volatils.

Les HAP chlorés de type PolyChloroDibenzoDioxines et Furannes (PCDD et PCDF)

Exemples de composés :

PCDD et PCDF.

Origine :

3 sources potentielles peuvent être distinguées :

- Les PCDD et les PCDF produits dans les procédés industriels et se retrouvant anormalement dans les eaux usées industrielles (effluents ou ruissellement contenant des huiles usagées ou des résidus contaminés, fuites ou incendies de transformateurs ou de condensateurs, fuites ou accidents dans des installations de production de pesticides).

- Les PCDD et les PCDF présents de manière diffuse dans les produits manufacturés et l'environnement (par la pollution atmosphérique provenant d'installations thermiques, comme les incinérateurs, en présence de composés chlorés) qui se retrouvent dans les effluents urbains de manière systématique.
- Les PCDD et les PCDF présents dans les préparations commerciales de composés pesticides utilisés en agriculture, ou pour l'entretien des espaces verts et des jardins privés.

Toxicité :

Les diverses dioxines chlorées se distinguent au niveau de leur toxicité. La toxicité des furannes est comparable à celle des dioxines. Certains PCDD peuvent être hépatotoxiques, tératogènes et cancérigènes. De plus, de par des demi-vies importantes de certaines de ces substances dans l'organisme, elles peuvent être des toxiques cumulatifs.

Propriétés physico-chimiques :

Ces composés sont stables physiquement, chimiquement et biologiquement. Ils sont lipophiles et auront tendance à se concentrer dans les boues.

c) *Les pesticides*

Les pesticides organochlorés

Utilisation :

Il s'agit d'insecticides (DDT, Chlordane, Lindane, Aldrine, Dieldrine, Heptachlore, Toxaphène, hydrocarbures aliphatiques chlorés ou bromés, paradichlorobenzène), d'herbicides (acides aromatiques chlorés, acides aliphatiques chlorés) et de fongicides (tétrachlorophénols et pentachlorophénols, hexachlorobenzène).

Cependant, leur utilisation est désormais interdite et, même si leur rémanence est importante, les pesticides organochlorés ne devraient plus être retrouvés dans les réseaux visitables d'assainissement.

Toxicité :

Les insecticides chlorés produisent généralement une stimulation du système nerveux central, entraînant des convulsions de type épileptique lors d'une exposition aiguë. En revanche, leur toxicité chronique pour l'Homme n'est pas clairement définie (même si certains d'entre eux induisent des cancers chez l'animal).

Les herbicides chlorés entraînent, pour des expositions chroniques, les effets habituels des composés organiques chlorés, à savoir l'acné chlorée et des effets tératogènes voire cancérigènes.

Les autres substances organiques pesticides

Utilisation :

Il s'agit d'insecticides (composés organophosphorés ou carbamates), d'herbicides (composés azotés dérivés des carbamates, de l'urée, du dinitrophénol ou du bipyridilium, et des triazines) et de fongicides (carbamates).

Origine des pesticides :

3 sources potentielles de pesticides peuvent être distinguées :

- Les pesticides générés par l'utilisation domestique (insecticides domestiques et herbicides pour les jardins ou les plantes d'intérieur).
- Les pesticides générés par les installations de production et qui se retrouvent anormalement dans les eaux usées urbaines suite à des fuites ou des accidents au cours des procédés, du stockage ou du transport.
- Les composés pesticides utilisés en agriculture, pour l'entretien des espaces verts et des jardins privés, ou pour le contrôle des espèces nuisibles pour l'Homme.

Toxicité :

Les insecticides organophosphorés peuvent être considérés comme de l'acide phosphorique. Ils vont inhiber l'action de l'acétylcholinestérase (enzyme jouant un rôle primordiale au niveau du système nerveux).

Les carbamates ont également une action inhibitrice sur l'acétylcholinestérase, mais leur action est plus réversible que celle des organophosphorés.

Les dérivés de l'urée ont des toxicités aiguës faibles. Par contre, ils peuvent réagir avec des nitrites pour former des nitrosamines aromatiques fortement cancérigènes. Les triazines (comme l'atrazine ou la simazine) sont interdites en France car elles présentent des risques cancérigènes.

Propriétés physico-chimiques :

La diversité physico-chimique des pesticides se retrouve dans leur comportement en ce qui concerne leur solubilité, leur volatilité ou leur affinité pour les matières organiques.

d) Les composés organominéraux

Exemple de composés :

Triméthylarsine, trialkylétains, plomb tétraéthyle, etc.

Origine :

Actuellement, 2 sources potentielles peuvent être distinguées :

- Les composés organominéraux produits ou utilisés dans l'industrie (pesticides, matières plastiques, produits pétroliers) et se retrouvant anormalement dans les eaux usées urbaines (effluents ou ruissellements).

- Les composés organostanniques ou organomercuriels utilisés comme pesticides en agriculture, pour l'entretien des espaces verts et des jardins privés, ou pour la conservation de produits comme le papier, les textiles, les peintures, etc.

Il faut noter, qu'avant, une des sources potentielles était les composés organiques du plomb présents dans les carburants qui étaient retrouvés dans les eaux de ruissellement urbaines, en particulier à proximité des stations services, des zones de stationnement et des axes de circulation. Ceci n'est plus d'actualité car l'essence utilisée maintenant est uniquement sans plomb.

Toxicité :

Les composés organiques ont une toxicité différente de celle des composés minéraux. Par exemple, les toxicités aiguës des composés organomercuriels et des dérivés organiques du plomb sont de nature neurotoxique.

Propriétés physico-chimiques :

La plupart des composés organominéraux est assez volatile, mais ils pourront également être retenus par les matières organiques des boues.

e) *Les cyanures et composés apparentés*

Exemple de composés :

Acide cyanhydrique, dérivés halogénés (chlorure ou bromure de cyanure), nitriles, etc.

Origine :

L'origine principale de ces composés est industrielle. Diverses sources de composés cyanurés ou nitrilés peuvent être distinguées :

- Les composés produits, utilisés ou générés dans l'industrie (pesticides, effluents ou déchets de l'industrie du charbon ou de l'acier, production de matières plastiques, solvants) et se retrouvant anormalement dans les eaux usées urbaines (effluents ou ruissellement).
- Les composés présents dans certaines matières plastiques, ou générés lors de leur pyrolyse accidentelle ou volontaire, qui sont susceptibles d'être relargués dans les eaux usées.
- Les composés utilisés comme pesticides quand il ne s'agit pas de composés gazeux.

Toxicité :

Ces composés ont une toxicité aiguë importante : ils ont une action rapide sur le système respiratoire (les dérivés halogénés étant, en plus, des irritants intenses).

Une exposition chronique à de faibles doses a un effet sur la fonction thyroïdienne.

Propriétés physico-chimiques :

Ces composés sont biodégradables.

f) *Le cas particulier du H₂S*

L'hydrogène sulfuré est un cas à part parmi les agents chimiques d'intérêt sanitaire présents dans les réseaux d'assainissement. En effet, sa présence est due à un phénomène naturel de décomposition et non à un rejet comme les autres agents chimiques. Les taux de H₂S sont mesurés en permanence par les agents lorsqu'ils interviennent dans les réseaux à l'aide de détecteurs tri-fonction, les protégeant ainsi d'une exposition à des concentrations présentant des risques pour leur santé.

Origine :

Il se forme dans les réseaux d'assainissement par fermentation anaérobie des substances organiques.

Toxicité :

- Toxicité suraiguë et aiguë sur l'homme

L'hydrogène sulfuré est un gaz toxique qui pénètre par les voies respiratoires. C'est un gaz asphyxiant dont les effets sont identiques à ceux observés pour le cyanure. Il agit au niveau de la respiration cellulaire comme inhibiteur de la cytochrome c-oxydase et bloque ainsi l'utilisation tissulaire d'oxygène. Il possède également une action paralysante des centres nerveux respiratoires induisant une apnée (pouvant être réversible en cas de traitement par oxygénothérapie, sinon mortelle) (TISSOT *et al.*, 2000).

L'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) (WHO, 2000) indique les valeurs suivantes :

Tableau 3 : Effets d'une exposition aiguë au H₂S pour différentes concentrations

Concentration en H₂S (en ppm)	Effets
1000-2000	Collapse immédiat avec paralysie respiratoire (mort)
530-1000	Forte stimulation du Système nerveux central, hyperapnée suivie d'un arrêt respiratoire
320-530	Œdème pulmonaire avec risque de mort
150-250	Perte du sens olfactif
50-100	Dommages sérieux aux yeux
10-20	Seuil d'irritation des yeux

Remarque : pour des concentrations supérieures à 150 ppm, le H₂S a des effets paralysants sur la perception olfactive. L'odeur de peut donc pas longtemps être un signal d'alerte.

- Toxicité subaiguë et chronique

Les informations sur les expositions à long terme au H₂S sont limitées.

Certaines données épidémiologiques ont mis en évidence que 70% des travailleurs exposés quotidiennement au H₂S (souvent à 20 ppm et plus) se plaignent de symptômes

tels que de la fatigue, de la somnolence, des maux de tête, de l'irritabilité, des pertes de mémoire, d'anxiété, de vertiges et d'irritation des yeux (WHO, 2000).

D'autres études indiquent des observations d'apparition de signes cliniques non spécifiques et intéressant divers organes (ceci sans préciser pour quelle concentration en H₂S) (INRS, 1997) :

- Le système nerveux : céphalée, fatigue, insomnie, perte de la libido, troubles de la mémoire...
- L'œil : irritation oculaire avec sensation de brûlure, inconfort, photophobie... Ces signes apparaissent quelques heures après le début d'une exposition à faibles doses et régressent 24 à 72 heures après l'arrêt de l'exposition.
- Le système digestif : nausée, douleurs abdominales...
- Divers : bronchites irritatives et irritation cutanée.
- Effets cancérigènes

Il n'existe pas d'informations disponibles sur les effets cancérigènes, mutagènes et tératogènes au niveau de l'expérimentation animale.

L'US EPA (agence de protection de l'environnement des Etats-Unis) stipule que les données disponibles sont inadéquates avec une évaluation du potentiel cancérigène du sulfure d'hydrogène. Il n'existe pas de données pertinentes sur lesquelles se baser pour développer une évaluation.

Propriétés physico-chimiques :

A température ambiante et pression atmosphérique, le H₂S est un gaz incolore, plus lourd que l'air, possédant une odeur fétide caractéristique (« œufs pourris ») (INRS, 1997).

2.3.5 La détermination des agents chimiques d'intérêt sanitaire pouvant être considérés comme prioritaires

A) La caractérisation de l'exposition aux agents chimiques

a) *Les généralités sur l'exposition aux agents chimiques (Wild et al., 2004)*

Il existe trois origines pour les agents chimiques rencontrés dans l'atmosphère des réseaux d'assainissement : les eaux usées (origine principale), l'air extérieur et les activités humaines à l'intérieur des canalisations.

Dans les eaux usées, des variations importantes de la nature des produits chimiques et de leur concentration vont être rencontrées selon le lieu et le moment où les mesures vont être effectuées.

Aux produits contenus dans les effluents vont s'ajouter ceux formés lors de la dégradation aérobie et anaérobie des matières présentes dans les effluents. La dégradation anaérobie conduit à l'apparition de composés soufrés (hydrogène sulfuré, mercaptans, méthylsulfures), d'aldéhydes et d'acides organiques. Cette dégradation est favorisée par la stagnation et l'accumulation des matières.

Lors de la manipulation des « sables », c'est-à-dire principalement lors des opérations de curage et d'extraction, la libération des produits chimiques dans l'air est favorisée.

Le devenir des micro-polluants organiques va être fonction des facteurs physico-chimiques et biologiques (voir l'explication dans l'annexe 19).

b) Les exemples d'épisodes d'exposition chimique aigüe (GARVEY, 2005)

D.J. Garvey a regroupé au sein d'une même étude différents épisodes d'expositions chimiques relatés dans la littérature impliquant des travailleurs en contact avec des eaux usées.

En 1977, de l'hexachloropentadiène, un intermédiaire dans la fabrication de plusieurs pesticides, a été jeté négligemment dans le réseau d'eaux usées du Kentucky. A Cincinnati, un mélange de solvants et d'acide chlorhydrique ont été impliqués dans un accident concernant des réparateurs d'égouts. Les travailleurs signalèrent des nausées, des maux de tête, des vomissements et des irritations des yeux et de la gorge. A la STEP de la ville de New York, les employés se sont plaints d'odeurs inhabituelles. L'analyse de l'air quand ces odeurs étaient présentes détecta des concentrations de toluène supérieures à 200 ppm et des concentrations en benzène dans la gamme allant de 30 à 300 ppm (la valeur seuil fixée par l'ACGIH pour le toluène étant de 50 ppm et pour le benzène de 0,5 ppm).

B) Les valeurs limites d'exposition professionnelle aux agents chimiques (INRS, 2008)

Dans le cadre de la prévention des maladies professionnelles, l'exposition des travailleurs aux polluants présents dans l'air des lieux de travail doit être évitée ou réduite le plus possible. Des concentrations atmosphériques à ne pas dépasser ont été définies correspondant à des valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP). L'existence de ces dernières suppose que soient connues les méthodes pour l'échantillonnage, l'analyse et le dosage des substances.

Une valeur limite d'un composé chimique va représenter « sa concentration dans l'air que peut respirer une personne pendant un temps déterminé sans risque d'altération pour sa santé, même si des modifications physiologiques sont parfois tolérées ». Ces valeurs limites prennent essentiellement en compte la voie d'exposition respiratoire dans leur définition.

Il existe deux types de valeurs limites :

- la valeur limite court terme (VLCT) qui est destinée à protéger des pics d'exposition. Elle se rapporte à une durée de référence de 15 minutes,
- la valeur limite moyenne d'exposition (VME) qui est destinée à protéger les travailleurs des effets à termes. Elle est mesurée ou estimée sur la durée d'un poste de travail de 8 heures.

A titre d'exemple, en France, la VLCT fixée par le ministère de travail (pour l'air des locaux de travail) pour le sulfure d'hydrogène est de 10 ppm. La VME est, quant à elle, de 5 ppm.

L'existence d'une valeur limite, pour une substance donnée, signifie que cette substance pose des problèmes d'ordre sanitaire en milieu professionnel. Les substances concernées seront donc à retenir parmi les substances d'intérêt sanitaire prioritaires.

C) Le choix des substances à retenir dans le cadre d'une analyse de risque

Face à la multitude d'agents chimiques inhalables potentiellement présents dans le réseau, une hiérarchisation des substances chimiques, mises en évidence précédemment comme d'intérêt sanitaire pour une voie d'exposition respiratoire, n'apparaît pas opportune. En effet, le risque chimique est de type plutôt ponctuel et sera fonction des caractéristiques propres aux entreprises raccordées sur le réseau (par exemple, un risque de pollution accidentelle par des solvants pétroliers à proximité d'un garage).

Ce constat est renforcé par les résultats de nombreux travaux effectués sur la caractérisation des eaux usées urbaines qui ont mis en évidence des centaines de composés à des concentrations pouvant aller de simples traces à plusieurs milligrammes par litre. Il a également été observé de grandes variations dans la nature et les concentrations des produits rencontrés dans les eaux usées selon le lieu et le moment de la mesure (WILD *et al.*, 2004).

L'étude du risque chimique doit donc passer par une étape d'analyse des sources potentielles de rejets d'agents chimiques.

2.3.6 L'analyse des entreprises raccordées sur le réseau de Nantes Métropole

Une cartographie localisant les entreprises actuellement autorisées et conventionnées sur les réseaux de Nantes Métropole a été réalisée. Cette dernière a été complétée avec une dizaine d'autres établissements ciblés par la DREAL et l'agence de l'eau dans le cadre de la lutte contre les rejets d'agents dangereux.

Des exemples de cartes ainsi obtenues sont présentés dans l'annexe 20.

De façon prévisible, les entreprises autorisées (dentistes, laboratoires d'analyses, garages...) sont, la plupart du temps, regroupés dans les centres des villes. Leurs raccordements au réseau d'assainissement est, par conséquent, souvent localisé sur les

mêmes tronçons. Il faut cependant noter que pour les villes plus grandes telles que Nantes et Saint-Herblain, les entreprises autorisées sont plus éparpillées sur le territoire et, logiquement, en plus grand nombre.

En ce qui concerne les entreprises conventionnées, elles sont présentes de façon anecdotique sur la majeure partie des villes de la communauté urbaine. Deux villes possèdent, à elles seules, plus de la moitié des entreprises conventionnées raccordées sur leur réseau : il s'agit de Nantes (28 entreprises) et de Saint-Herblain (21 entreprises). En ajoutant les villes de Carquefou (12 entreprises conventionnées), de Vertou (8 entreprises), de Saint-Aignan-de-Grand-Lieu (5 entreprises) et de Rezé (5 entreprises), plus de 80% des entreprises conventionnées sont retrouvées. Ces entreprises sont relativement regroupées géographiquement parlant, généralement sur un ou plusieurs pôles par ville.

Les activités de ces entreprises sont multiples et, par conséquent, la nature de leurs rejets également (solvants, HAP, pesticides, composés organominéraux, etc.). Les activités les plus répandues sont les supermarchés et les hypermarchés (25% des entreprises conventionnées), les hôpitaux et les cliniques (10%), les entreprises agroalimentaires (10%) et les piscines (6%). Sont également concernées des usines de production ayant une large gamme d'activité (miroirs, emballages, engrais, etc.), les centres de gestions de déchets (décharges et incinérateurs) et des entreprises de transport.

3 L'interprétation des résultats au regard des objectifs du travail

3.1 La mise en évidence des postes de travail particulièrement à risques

À la vue de l'étude des postes de travail et des agents d'intérêt sanitaire potentiellement présents dans le réseau et de leurs caractéristiques, certains postes, apparaissant comme plus à risque car plus exposant, peuvent être mis en évidence. Ces derniers sont principalement ceux présentant des tâches génératrices d'aérosols.

3.1.1 Les caractéristiques des risques potentiellement présents dans les réseaux

Les expositions aux deux types de risques abordés dans cette étude (chimique et biologique) sont différentes. En effet, le risque biologique est un risque à priori plutôt diffus dans le réseau, hormis peut-être sous les hôpitaux et les cliniques. La quasi-totalité des hôpitaux et des cliniques se trouve sur les communes de Nantes et de Saint-Herblain. Il faut noter que le CHU de Nantes est raccordé au niveau du réseau visitable et les égoutiers de fond interviennent directement dessous.

Les effluents générés par l'activité hospitalière contiennent des substances de natures spécifiques : résidus médicamenteux, réactifs chimiques, antiseptiques, produits de traitement anticancéreux, détergents, etc. L'hôpital rejette également des germes pathogènes issus des personnes malades pouvant avoir développé une résistance aux antibiotiques (JEHANNIN, 2009).

Globalement, les effluents hospitaliers présentent des caractéristiques très proches des eaux résiduaires urbaines, hormis toutefois des concentrations significativement plus élevées en détergents. En effet, les liquides spécifiques présentant des risques sont dilués de part l'importance des volumes produits (750 litres/lit/jour en moyenne dans les hôpitaux, contre 100 litres/jour/habitant de consommation domestique moyenne) (EMMANUEL *et al.*, 2005). La présence de faibles concentrations en flore bactérienne est également probablement due à la présence de concentrations élevées en substances chlorées et autres substances toxiques (conséquence de l'utilisation importante de produits de désinfection à l'hôpital) (EMMANUEL *et al.*, 2005). Cependant, le niveau de contamination des effluents rejetés peut être très variable selon l'heure, le jour ou encore le débit ; une vigilance doit donc être conservée au niveau du réseau.

Le risque chimique peut, lui aussi, être diffus, mais semble plus ponctuel et présent dans le cas d'une pollution accidentelle. Cette observation est renforcée par les mesures de

concentrations en agents chimiques effectuées dans l'air lors de l'étude réalisée par WILD et *al.* (2004) dans les réseaux parisiens. Ces dernières étaient toujours très largement inférieures aux valeurs de références de chacun des composés et souvent inférieures aux limites de détection des techniques d'analyse. De plus, la recherche d'aldéhydes et d'acides organiques s'est avérée négative.

3.1.2 Les situations à risques pour les agents d'exploitation hydrocurage

Le curage des réseaux par les agents d'exploitation hydrocurage apparaît être exposant par la génération d'aérosols qu'il entraîne. En effet, malgré un poste de commande à distance pour la manipulation de la tête hydrocureuse, les agents ont besoin de rester présents au dessus du regard lors de son arrivée. Il faut noter que, sous l'effet de la pression, l'arrivée de la tête génère un brouillard d'aérosols auquel est directement exposé l'agent.

3.1.3 Les situations à risques pour les égoutiers de fond

Au niveau des tâches effectuées par les égoutiers de fond, un grand nombre sont exposantes. Il faut tout d'abord considérer qu'ils évoluent dans un milieu extrêmement confiné qui est déjà exposant par lui-même, mais qui, en plus, favorise la stagnation des aérosols formés lors des diverses tâches effectuées. Le paramètre clé de l'exposition est le confinement.

Parmi les tâches principalement génératrices d'aérosols, peuvent être citées : l'extraction des sables des chambres à sable et des siphons et le curage des réseaux de faibles diamètres. Cette observation est confirmée par les mesures effectuées par l'INRS dans les égouts parisiens. Ces dernières ont montré que les concentrations dans l'air en bactéries et en moisissures sont plus élevées lors du curage des petites lignes et des opérations d'extraction (WILD et *al.*, 2004).

Une étape créant également une remise en suspension dans l'air d'agents est celle dite de décantation. Lorsqu'un camion hydrocureur pompe les boues, il remplit sa cuve. Le mélange présent dans les cuves va décanter, les sables se retrouvant au fond et l'eau en surface. Afin de pouvoir remplir au maximum les camions, l'eau va être renvoyée de façon gravitaire dans le réseau.

Un autre cas de figure engendrant une création d'aérosols est lors du refoulement des effluents présents dans les tuyaux d'aspiration des hydrocureurs en cas d'obturation de ces derniers. Ce cas se présente régulièrement, les tuyaux pouvant être bouchés par les déchets présents dans les sables (canettes, branchages, etc.) ou lors d'un manque d'air nécessaire au processus d'aspiration dû au pompage de sables trop compacts.

Enfin, lors du curage des branchements siphonnés de particuliers, les agents sont régulièrement confrontés à des rejets de produits toxiques (white spirit, peinture, etc.) qui stagnent dans les siphons.

3.1.4 Les situations à risques pour les électromécaniciens

Les électromécaniciens sont, quant à eux, principalement exposés lorsqu'ils nettoient les bâches des postes de relèvement et de refoulement. En effet, les parois des bâches sont nettoyées à l'aide d'un jet d'eau à haute pression qui remet en suspension les éléments présents sur les parois et forme un brouillard d'aérosols. Au niveau de l'exposition aux agents chimiques, ces postes peuvent être potentiellement à risques car ils accumulent d'importantes quantités d'eaux usées qui peuvent stagner. La possibilité de réaction entre des substances chimiques et la formation de composés secondaires n'est alors pas à exclure.

Néanmoins ce phénomène semble faiblement probable car les postes sont dimensionnés pour que le pompage se déclenche de façon régulière (au minimum une fois par jour, sur les réseaux d'eaux usées) ; ceci évite une stagnation trop importante des effluents.

Par ailleurs, avant chaque intervention, une ventilation forcée est effectuée à l'aide d'un ventilateur jusqu'à temps que la concentration mesurée en H₂S soit en dessous de la VLEP.

3.2 La discussion autour de l'intérêt d'une quantification des expositions

L'évaluation de risques peut se réaliser de façon qualitative ou quantitative. Dans ce rapport, l'approche qualitative a été retenue, mais une réflexion peut être menée sur l'opportunité de la réalisation d'une évaluation quantitative.

En effet, avant d'entreprendre la réalisation de mesures d'exposition, il faut s'interroger sur leur pertinence.

Comme expliqué précédemment, il apparaît que les risques chimiques et biologiques ne présentent pas le même type de caractéristiques : le risque biologique apparaît comme diffus, au contraire du risque chimique qui semble être présent de façon plus localisée.

Il sera donc très difficile de caractériser une exposition chimique représentative d'une exposition à long terme pour des travailleurs intervenant sur de multiples portions des réseaux. Par contre, des mesures pour des expositions aiguës peuvent être envisagées. Les points de mesures pourraient alors concerner soit les sites identifiés par cartographie comme au cœur de zones regroupant des entreprises autorisées ou conventionnées, soit des sites ressentis par les agents comme à risques (zones industrielles, CHU, etc.).

Parmi les risques chimiques, il faut néanmoins traiter à part le risque lié au H₂S qui est un risque de type plutôt diffus dans le réseau de part sa formation issue de la fermentation des matières présentes dans les effluents.

De son côté, la quantification de l'exposition biologique présente d'importantes limites ; en grande partie pour les mêmes raisons que celles évoquées pour expliquer l'absence de normes sur les limites d'exposition aux bioaérosols (voir sous paragraphe B de la partie 2.3.3 : fluctuation des niveaux de base de bioaérosols, différences entre les méthodes de mesure employées, manque d'informations sur les relations doses-effets, etc.).

Les études menées sur la réalisation de mesures d'exposition à des agents biologiques dans les réseaux (WILD *et al.*, 2004) ou au niveau de STEP (RYLANDER, 1999) ont été confrontées à un grand nombre de limites, dont principalement la représentativité des mesures effectuées.

En ce qui concerne le cas particulier de l'étude des expositions aux endotoxines, l'INRS conjointement avec la CRAM effectuent, à l'heure actuelle, des mesures dans les réseaux parisiens et finissent le développement et l'ajustement des techniques de prélèvement et d'analyse. Il serait opportun d'attendre l'avancée de leurs travaux avant de mettre en place, éventuellement, un protocole de mesure pour le réseau de Nantes Métropole.

En conséquent, étant donné le stade actuel des connaissances scientifiques (absence de valeurs guides, variabilité des mesures, etc.), il n'apparaît pas pertinent de réaliser des mesures d'émissions dans les réseaux si l'objectif visé est de quantifier des expositions de type chronique. Néanmoins, la réalisation de mesures apparaît intéressante si elle est effectuée dans une optique de comparaison des expositions en fonction des postes de travail, de recensement des agents présents dans les réseaux (présentant un intérêt de prévention pour la médecine du travail) ou pour une exposition chimique ponctuelle.

4 Les recommandations

4.1 Les généralités sur la prévention des risques

De façon générale, la prévention des risques biologiques et chimique doit être intégrée à la démarche globale de prévention des risques de l'entreprise (au même titre que les risques physiques, par exemple). Le développement des connaissances des dangers et des expositions en milieu professionnel, en particulier aux substances chimiques, est d'ailleurs un des objectifs structurant du Plan Santé Travail 2005-2009 (Ministère de l'emploi, du travail et de la cohésion sociale, 2005).

D'après les recommandations élaborées par l'INRS, « à court terme, il s'agit de faire mieux avec ce qu'il y a déjà en place, c'est-à-dire d'obtenir le maximum d'efficacité avec les mesures existantes, ou de mettre en œuvre des solutions simples de prévention. Pour le moyen terme, une étude technique, organisationnelle et financière permet de planifier les actions de prévention à mener dans le temps en fonction de leur complexité de mise en œuvre et des moyens à mettre en place ».

Que les agents dangereux considérés soient chimiques ou biologiques, la prévention et le contrôle de l'exposition repose sur trois niveaux d'intervention : soit l'élimination à la source, soit le contrôle de la source et, en dernier lieu, le contrôle de l'exposition (GOYER N, 2001).

4.2 L'adaptation des principes de prévention au cas de l'étude.

La théorie citée précédemment est difficilement applicable au milieu des réseaux. En effet, dans les réseaux d'assainissement, la source de contamination biologique ne peut pas être éliminée ou contrôlée. La contamination chimique est, quant à elle, plutôt de type accidentelle (ou malveillante) et ses sources sont également difficilement maîtrisables.

Le levier de prévention restant pour ces deux types de contamination dans le réseau est donc le contrôle des expositions.

Le port de masques, type FFP2, peut d'ores et déjà être écarté de l'étude car il n'est pas adapté au travail des agents. En effet, ce travail est physique et nécessite d'avoir les voies respiratoires dégagées ; or, le port de masques engendre une gêne respiratoire. Par ailleurs, l'organe olfactif est également cité par les agents comme un outil d'alerte en cas d'odeurs suspectes caractéristiques de substances chimiques (hydrocarbures, par exemple). Le port d'un masque atténuerait ce sens et limiterait la perception de ces signaux d'alerte.

4.3 Les mesures de protection collective

4.3.1 La veille au respect des règles de sécurité existantes

La première recommandation qui peut être apportée suite à la réalisation de cette étude, vis-à-vis des risques liés à la voie d'exposition respiratoire, est le respect et l'application des règles de sécurité déjà existantes.

En effet, le principe de base selon lequel un agent ne doit jamais descendre seul dans le réseau doit toujours être respecté, ceci même pour des tâches étant ressenties comme présentant peu de risques, et il est fortement recommandé qu'une personne reste en surface.

Trois regards de visite doivent être ouverts, au minimum, lors d'un travail non statique dans le réseau, cette procédure permettant, outre d'offrir un lieu d'évacuation rapide en cas de problème, une meilleure aération et ventilation du réseau lors des différentes tâches.

Les auto-sauveteurs doivent être systématiquement portés par les agents, malgré le fait qu'ils n'aient jamais été utilisés en situation réelle et qu'ils soient lourds et encombrants.

De la même façon, les détecteurs tri-fonctions doivent être portés en permanence (ce point là étant plus largement respecté).

4.3.2 L'augmentation de la formation

Afin de permettre une utilisation adéquate de ces EPI en cas de problème, il est nécessaire d'effectuer des formations régulières sur leur mode d'utilisation. Or, actuellement, une seule formation est effectuée à l'entrée de l'agent dans le service, qu'il s'agisse de l'utilisation des auto-sauveteurs ou des ARI. Malgré la non-utilisation de ce matériel, des séances d'entraînement seraient nécessaires car leur utilisation ne semble pas très aisée, la complexité de la mise en place de l'appareil pouvant être accrue en cas de situations dangereuses risquant d'engendrer de la précipitation et du stress.

4.3.3 L'augmentation de la sensibilisation des agents

Une sensibilisation particulière devrait être effectuée pour les agents en contact avec les effluents vis-à-vis des pathologies pouvant être liées à leur milieu de travail. Ceci pourrait permettre une meilleure déclaration à la médecine du travail et un meilleur suivi.

Des présentations des agents chimiques et biologiques d'intérêt sanitaire et des dangers qui leurs sont associés, identifiés précédemment comme potentiellement présents dans les réseaux d'assainissement, pourraient être réalisées. Ce type d'intervention pourrait

être effectué par le service en charge de la prévention des risques ou par le médecin du travail.

4.3.4 La prise en compte des zones identifiées par cartographie comme potentiellement à risques

Une attention toute particulière pourra être portée lors de l'entretien des portions de réseau identifiées comme potentiellement plus à risques.

Ces portions de réseau pourront également être retenues dans le cas de ciblage de campagnes de mesures d'agents chimiques, par exemple.

4.3.5 L'augmentation de la sensibilisation du grand public

Il faut poursuivre la sensibilisation du grand public sur les caractéristiques de leurs rejets. Il est nécessaire de continuer à communiquer sur le terme utilisé de façon erronée du « tout à l'égout », en insistant sur la présence d'agents travaillant dans les réseaux d'assainissement. En effet, lors du curage des branchements de particuliers, les égoutiers de fond sont régulièrement confrontés à des rejets de substances interdites (peinture, white spirit, etc.). Des rappels sur les règles de gestion et de collecte de ce type de déchets devraient être effectués.

4.4 Les aménagements des modalités de travail

4.4.1 La pose d'un maximum de regards ventilés

L'idéal serait de poser des regards ventilés sur l'ensemble du réseau visitable d'assainissement. Les réseaux seraient alors aérés en permanence et le confinement diminuerait grandement ainsi que les risques qui lui sont associés.

Si la pose de ces tampons ventilés n'est pas acceptée par la population (à cause de nuisances olfactives), il pourrait être envisagé de les poser uniquement la semaine précédant l'intervention et la semaine de l'intervention.

Les risques sanitaires étant principalement dus au confinement des réseaux, l'objectif premier doit être de diminuer ce confinement.

4.4.2 L'investissement dans des aérateurs

Des machines existent permettant l'aération forcée des réseaux en insufflant de l'air venant de l'extérieur. Une seule est disponible à Nantes Métropole et est rarement utilisée. Ce type d'appareil pourrait être utilisé en routine lors d'intervention dans des portions du réseau visitable potentiellement à risques (de part leur confinement ou les

caractéristiques de leur alimentation). Ceci dans l'optique de ventiler au maximum le réseau avant l'intervention des égoutiers de fond.

4.5 La réalisation d'études complémentaires

4.5.1 La réalisation d'un suivi médical renforcé

A l'heure actuelle, les agents de l'assainissement, travaillant au contact des effluents, effectuent une visite médicale à la médecine du travail une fois par an. Une prise de sang est effectuée en complément tous les 6 mois, permettant de disposer d'une numération sanguine pouvant indiquer un déficit immunitaire ou une infection. Un bilan hépatique est également réalisé à cette occasion au cours duquel seuls les gammas GT sont recherchés. La recherche de transaminases (pouvant servir de marqueur de disfonctionnement hépatique, comme lors d'une pollution chimique) n'est pas jugée pertinente dans le cadre d'un suivi de routine par la médecine du travail car trop coûteuse.

Il serait intéressant de réaliser des tests sur l'appareil respiratoire des agents. Il existe déjà un débitmètre (mesurant le débit expiratoire de pointe) à Nantes Métropole, mais qui n'est pas utilisé de façon systématique. Par ailleurs, afin d'effectuer des mesures complètes, il serait plus judicieux d'investir dans un spiromètre (mesurant l'ensemble des paramètres respiratoires). Les tests seraient réalisés par le médecin du travail lors des visites annuelles des agents. A l'heure actuelle, de telles mesures sont jugées intéressantes par le médecin du travail, mais l'investissement dans ce type d'appareil n'est pas considéré comme prioritaire.

4.5.2 La réalisation d'une enquête sur les symptômes

Les pathologies, même si elles semblent bénignes, devraient être déclarées à la médecine du travail. Il faudrait répertorier, en parallèle, la zone d'activité ou les tâches des jours précédents l'apparition de symptômes. Le pistage des pathologies pourrait permettre de mettre en évidence des lieux et/ou des tâches particulièrement exposants et de mettre en place des préconisations de protections à utiliser ou des mesures de précaution à prendre adaptées.

L'outil utilisé dans ce cadre pourrait se présenter sous la forme d'une enquête avec un questionnaire préalablement codé afin de faciliter son exploitation. Ce questionnaire pourrait être rempli par les agents sur une durée déterminée.

4.5.3 La réalisation de mesures d'aérosols

Sous certaines conditions évoquées dans le paragraphe 3.2., une analyse quantitative des expositions pourrait être effectuée qui nécessiterait la réalisation de mesures d'aérosols.

Les mesures les plus pertinentes à effectuer, dans un premier temps, sont celles portant sur les principaux risques identifiés précédemment (agents biologiques et agents chimiques d'intérêt sanitaire identifiés comme potentiellement présent dans les réseaux d'assainissement).

En ce qui concerne le risque biologique, des normes existent pour le mesurage des micro-organismes dans l'atmosphère des lieux de travail : la norme NF EN 13098 pour la mesure des micro-organismes dans l'air et la norme EN 14031 pour la mesure des endotoxines (DUQUENNE et al., 2005).

Les techniques de mesure des bioaérosols sont développées dans l'annexe 21 de ce rapport.

4.6 L'analyse du rapport coûts/bénéfices des mesures recommandées

Les mesures précédemment recommandées sont diverses et n'impliquent pas toutes les mêmes critères de faisabilité et les mêmes engagements financiers. L'analyse du rapport coût/bénéfices est synthétisée dans le tableau 4, ci-dessous.

Tableau 4 : Analyse du rapport coûts/bénéfices en fonction des mesures recommandées

Mesure	Faisabilité	Coût	Délais du bénéfice
Veille au respect des règles de sécurité existantes	+++	Faible	Court terme
Augmentation de la formation	+++	Modéré	Court terme
Augmentation de la sensibilisation des agents	+++	Faible	Court terme
Augmentation de la sensibilisation du grand public	++	Elevé	Long terme
Pose de regards ventilés	++	Modéré*	Court terme
Investissement dans des aérateurs	++	Elevé	Court terme
Réalisation d'un suivi médical renforcé	+/-	Elevé	Moyen/Long terme
Réalisation d'une enquête sur les symptômes	+/-	Modéré	Moyen/Long terme
Réalisation de mesures de bioaérosols	+/-	Elevé	Long terme

* car il existe un stock de plaques ventilées non-utilisées.

Conclusion

L'étude réalisée au cours de ce mémoire avait pour objectif de déterminer les risques microbiologiques et chimiques, propres aux réseaux d'assainissement, pour les agents d'exploitation. La voie d'exposition considérée était la voie respiratoire.

Les agents chimiques et biologiques identifiés comme potentiellement présent dans les réseaux se sont avérés nombreux et variés. Plusieurs d'entre eux possèdent la capacité d'être inhalables et dangereux en cas d'exposition aiguë ou chronique par voie respiratoire. L'analyse de la structure du réseau et de ses sources d'alimentation a montré un risque biologique probablement de type diffus (hormis peut-être sous les hôpitaux et les cliniques) et un risque chimique plus localisé sur certains secteurs identifiés via l'étude des conventions de rejet.

L'étude des postes de travail a mis en évidence que les tâches les plus exposantes sont celles générant le plus d'aérosols et celles effectuées dans les endroits les plus confinés. Les égoutiers de fond sont les agents qui semblent les plus exposés de part leur évolution dans un milieu extrêmement confiné et leurs activités de curage et d'extraction génératrices d'aérosols. Cependant, certaines tâches des agents d'exploitation hydrocurage sont fortement génératrices d'aérosols et par conséquent également exposantes. L'exposition des électromécaniciens apparaît, quant à elle, moindre, mais non négligeable.

Les recommandations élaborées, au vue des risques identifiés, à l'issue de cette étude s'articulent autour de mesures de protection collective (veille au respect des règles de sécurité, augmentation de la formation, augmentation de la sensibilisation, etc.), d'aménagements des modalités de travail (pose de regards ventilés et investissement dans des aérateurs) et de réalisation d'études complémentaires (suivi médical renforcé, enquête sur les symptômes et mesures d'aérosols).

Bibliographie

ALTMAYER N., ABADIA G., SCHMITT S., LEPRINCE A., 1990. Risques microbiologiques et travail dans les stations d'épuration des eaux usées. Fiche médico-technique INRS n°34.

Affsa, 2006. Avis de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments relatif à l'évaluation qualitative du risque sanitaire pour l'homme lié à la présence dans l'eau destinée à la consommation humaine et dans divers effluents aqueux de virus influenza hautement pathogène dans le cas d'une épizootie ou dans le cas d'une épidémie humaine. Saisine n°2005-SA-0332, 35 p.

Affset, 2007. Evaluation du risque sanitaire pour l'Homme lié à la présence de virus *Influenza* aviaries hautement pathogènes de sous-type H5N1 ou d'un virus pandémique dérivé de ce sous-type dans divers effluents aqueux et eaux de surface. Saisine n°2005/011, 85p.

BONNARD R., 2001. Le risque biologique et la méthode d'évaluation du risque, rapport de l'INERIS. [en ligne], 79 p., [visité le 07/05/09], disponible sur internet : http://www.sante.gouv.fr/htm/dossiers/etud_impact/risqbio-ei72.pdf.

BROUILLARD C., 2003. Sélection des agents biologiques prioritaires à prendre en compte dans l'évaluation des risques liés au retour au sol des déchets organiques d'origine urbaine en France métropolitaine et dans les DOM-TOM. *Mémoire de fin d'étude de l'Ecole Nationale de Santé Publique*, 49 p.

DELERY L., 2007. INERIS. Rapport d'étude. Endotoxines. Eléments disponibles pour une évaluation des risques sanitaires en lien avec les émissions des installations classées pour la protection de l'environnement. 60 p.

DOUWES J., MANNETJE A., HEEDERIK D., 2001. Work related symptoms in sewage treatment workers. *Ann. Agric. Environ. Med.*, **8**, 39-45.

DUQUENNE P., GREFF-MIRGUET G., 2005. L'échantillonnage et l'analyse des aérosols microbiens. INRS-Hygiène et sécurité au travail-Cahier de notes documentaires, **198**, 23-28 (téléchargeable sur le site www.inrs.fr).

EMMANUEL E., PERRODIN Y., KECK G., BLANCHARD J-M., VERMANDE P., 2005. Ecotoxicological risk assessment of hospital wastewater : a proposed framework for raw

effluents discharging into urban sewer network. *Journal of Hazardous Materials*, **A 117**, 1-11.

EPA. Hydrogen sulfide (CASRN 7783-06-4). Disponible en ligne sur <http://www.epa.gov/ncea/iris/subst/0061.html>.

GARVEY D.J., 2005. Exposure to biohazards. An emerging concern for construction workers in sewer lines and wastewater treatment plants. *Professional Safety*, August 2005, 26-31.

GOYER N., LAVOIE J., LAZURE L., MARCHAND G., 2001. Les bioaérosols en milieu de travail : guide d'évaluation, de contrôle et de prévention. [en ligne], 60 p., [visité le 07/05/09], disponible sur internet : http://www.irsst.qc.ca/fr/projet_2983.html.

INRS, 1997. Sulfure d'hydrogène. Fiche toxicologique n°32, 6 p.

INRS, 2005. Affections respiratoires professionnelles liées aux agents biologiques - Physiopathologie et réactions syndromiques. *Documents pour le médecin du travail n°102*, 235-244.

INRS, 2008. Valeurs limites d'exposition professionnelle aux agents chimiques en France. *Aide mémoire technique ED 984*, 20 p.

INRS, 2009. Risque biologique en milieu professionnel. [en ligne], 25 p., [visité le 07/05/09], disponible sur internet : [http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/intranetobject-accesparreference/ED%206034/\\$file/ed6034.pdf](http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/intranetobject-accesparreference/ED%206034/$file/ed6034.pdf).

IRSST, 2005. Guide d'échantillonnage des contaminants de l'air en milieu de travail.[en ligne], 200 p., [visité le 15/06/09], disponible sur internet : [http://www2.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/IntranetObject-accesParReference/Metropol%20089/\\$File/089.pdf](http://www2.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/IntranetObject-accesParReference/Metropol%20089/$File/089.pdf).

JAUZEIN M., FEIX I., WIART J., 1995. Les micropolluants organiques dans les boues résiduares des stations d'épuration urbaines. ADEME éditions, 221 p.

JEHANNIN P., 1999. Caractérisation et gestion des rejets liquides hospitaliers – Etude particulière de la situation du C.H. de Hyères (Var). *Mémoire de fin d'étude de l'Ecole Nationale de Santé Publique*, 69 p.

Ministère de l'emploi, du travail et de la cohésion sociale, 2005. Plan Santé au travail 2005-2009. [en ligne], 90 p., [visité le 04/08/09], disponible sur internet : http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/214727598284694264375525428886/pst_plan_sante_travail.pdf.

RYLANDER R., 1999. Health effects among workers in sewage treatment plants. *Occupational and Environmental Medicine*, **56**, 354-357.

SMIT L. A.M., SPAAN S., HEEDERIK D., 2005. Endotoxin exposure and symptoms in wastewater treatment workers. *American journal of industrial medicine*, **48**, 30-39.

THORN J., BEIJER L., RYLANDER R., 2002. Work related symptoms among sewage workers : a nationwide survey in Sweden. *Occupational and Environmental Medicine*, **59**, 562-566.

THORN J., BEIJER L., 2004. Work-related symptoms and Inflammation among Sewage Plant Operatives. *International Journal of Occupational and Environmental Health*, **10**, 85-89.

TISSOT S., PICHARD A., 2000. Seuils de toxicité aigüe Hydrogène Sulfuré. Rapport final de l'INERIS, 39 p.

WATT M., WATT S., SEATON A., 1997. Episode of toxic gas exposure in sewer workers. *Occupational and Environmental Medicine*, **54**, 277-280.

WHO (OMS), 2000. Hydrogen sulfide. Air Quality Guidelines, second edition, chapter 6.6., 7p.

WILD P., AMBROISE D., MASSIN N., 2004. Etudes épidémiologiques parmi le personnel des égoutiers de la ville de Paris. Rapport d'études, 86 p.

Liste des annexes

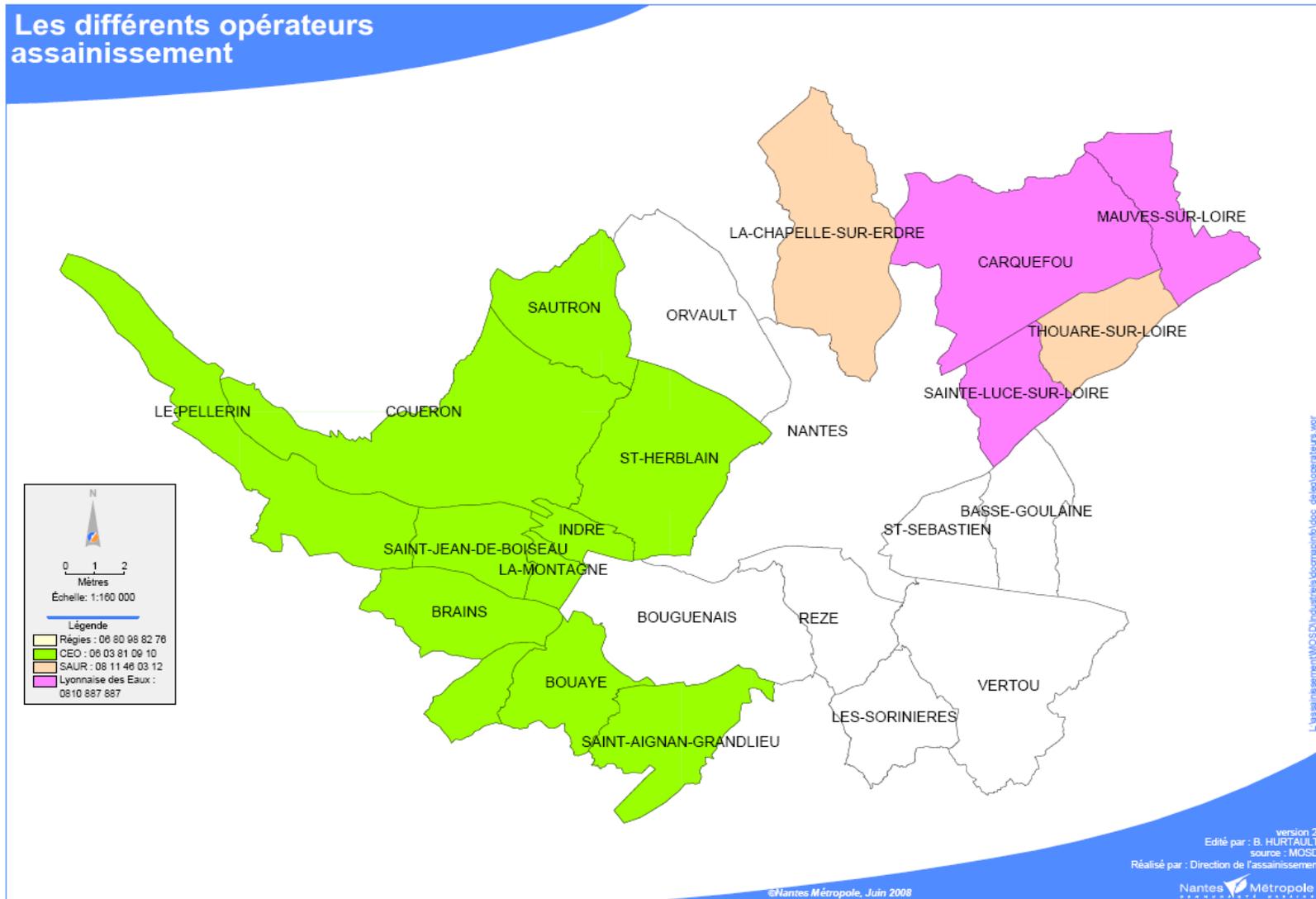
Annexe 1 : Présentation du linéaire de réseau d'assainissement collectif pour chacune des 24 communes de Nantes Métropole.....	I
Annexe 2 : Les différents opérateurs de l'assainissement sur le territoire de Nantes Métropole.....	II
Annexe 3 : Les stations de refoulement et les stations d'épuration sur le territoire de Nantes Métropole	III
Annexe 4 : Classification du risque cancérigène par le CIRC	IV
Annexe 5 : Le classement des agents biologiques.....	V
Annexe 6 : Les maladies à déclaration obligatoire	VI
Annexe 7 : Liste des bactéries pathogènes potentiellement présentes dans les eaux usées	VII
Annexe 8 : Liste des virus pathogènes potentiellement présents dans les eaux usées ..	VIII
Annexe 9 : Liste des parasites pathogènes potentiellement présents dans les eaux usées	IX
Annexe 10 : Liste des levures et des champignons pathogènes potentiellement présents dans les eaux usées	X
Annexe 11 : Les pathologies associées aux bactéries pathogènes, leurs voies de transmission et leur répartition géographique.....	XI
Annexe 12 : Les pathologies associées aux virus pathogènes, leurs voies de transmission et leur répartition géographique.....	XIV
Annexe 13 : Les pathologies associées aux parasites pathogènes, leurs voies de transmission et leur répartition géographique.....	XVI
Annexe 14 : Les pathologies associées aux levures et aux champignons pathogènes, leurs voies de transmission et leur répartition géographique	XVIII
Annexe 15 : Dangers associés aux bactéries pathogènes.....	XIX
Annexe 16 : Dangers associés aux virus pathogènes.....	XXI
Annexe 17 : Dangers associés aux parasites pathogènes.....	XXII
Annexe 18 : Dangers associés aux levures et aux champignons pathogènes.....	XXIII
Annexe 19 : Les facteurs physico-chimiques et biologiques importants pour le devenir des micro-polluants organiques.....	XXIV
Annexe 20 : Exemples de cartographies des entreprises autorisées et conventionnées pour quelques villes appartenant à la communauté urbaine de Nantes Métropole.....	XXV
Annexe 21 : Les techniques de mesure d'aérosols	XXXVII

Annexe 1 : Présentation du linéaire de réseau d'assainissement collectif pour chacune des 24 communes de Nantes Métropole.

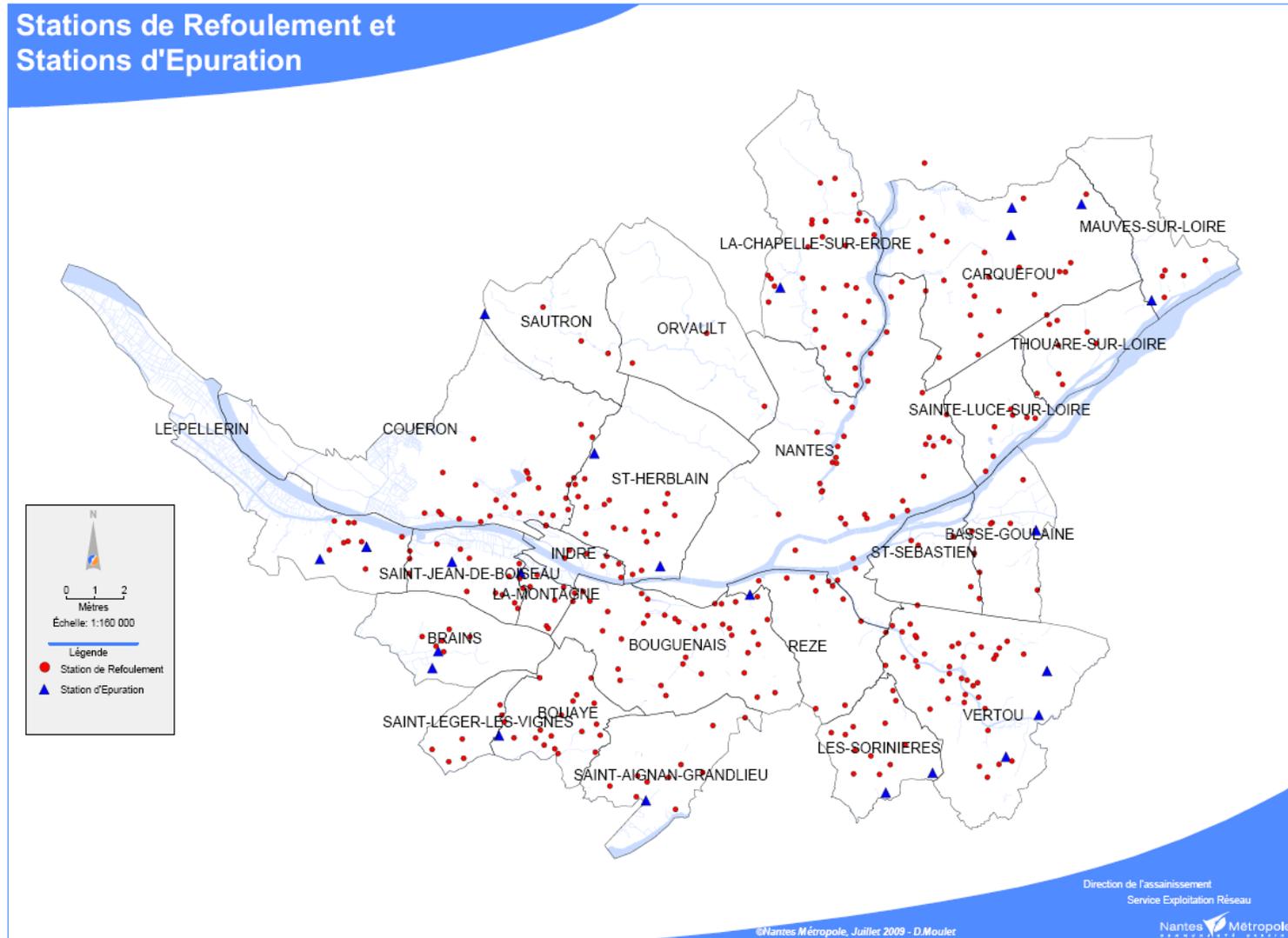
Communes	Linéaire de réseau eaux usées (en km)	Linéaire de réseau eaux pluviales (en km)	Linéaire de réseau unitaire (en km)
Basse-Goulaine	55,1	60,4	-
Bouaye	39,5	51,4	-
Bouguenais	109,7	111,0	-
Brains	14,2	23,9	-
Carquefou	116,9	100,5	-
La Chapelle-sur-Erdre	100,3	78,2	-
Couëron	89,4	57,2	-
Indre	21,6	5,3	-
La Montagne	26,0	38,7	-
Le Pellerin	22,4	32,3	-
Mauves-sur-Loire	14,1	20,0	-
Nantes	355,6	307,8	344,3
Orvault	117,9	102,7	-
Rezé	145,7	173,1	-
Saint-Aignan-de- Grand-Lieu	30,6	53,1	-
Saint-Herblain	162,8	97,2	0,9
Saint-Jean-de-Boiseau	31,2	35,9	-
Saint-Léger-les-Vignes	12,1	11,6	-
Sainte-Luce-sur-Loire	76,5	67,7	-
Saint-Sébastien-sur- Loire	94,0	127,7	-
Sautron	51,4	48,1	-
Les Sorinières	47,7	57,7	-
Thouaré-sur-Loire	43,2	52,2	-
Vertou	129,4	132,0	-
Total	1907,3	1845,7	345,2

Source : Rapport annuel sur le prix et la qualité du service de l'assainissement – Exercice 2007- Nantes Métropole Communauté Urbaine.

Annexe 2 : Les différents opérateurs de l'assainissement sur le territoire de Nantes Métropole



Annexe 3 : Les stations de refoulement et les stations d'épuration sur le territoire de Nantes Métropole



Annexe 4 : Classification du risque cancérigène par le CIRC

Le classement du Centre International de Recherche sur le Cancer est établi par des commissions d'experts internationaux en cancérogénèse. Il porte sur différents agents chimiques, biologiques ou physiques.

Les 5 catégories du CIRC sont les suivantes :

- le groupe 1 : l'agent (ou le mélange) est cancérogène pour l'homme,
- le groupe 2A : l'agent (ou le mélange) est probablement cancérogène pour l'homme,
- le groupe 2B : l'agent (ou le mélange) est un cancérogène possible pour l'homme,
- le groupe 3 : l'agent (ou le mélange) ne peut être classé du point de vue de sa cancérogénicité pour l'homme,
- le groupe 4 : l'agent (ou le mélange) est probablement non cancérogène pour l'homme (remarque : ce groupe ne contient qu'une seule substance).

Annexe 5 : Le classement des agents biologiques

L'article R 4421-3 (anciennement R 231-61-1 du code du travail) classe les agents pathogènes en 4 groupes selon la gravité de la maladie provoquée, du pouvoir épidémiogène de l'agent biologique, de l'existence d'une prophylaxie ou d'un traitement efficace.

Le groupe 1 comprend les agents biologiques non susceptibles de provoquer une maladie chez l'homme (ces agents ont initialement été exclus de l'étude).

Le groupe 2 comprend les agents biologiques pouvant provoquer une maladie chez l'homme et constituer un danger pour les travailleurs ; leur propagation dans la collectivité est peu probable ; il existe généralement une prophylaxie ou un traitement efficace.

Le groupe 3 comprend les agents biologiques pouvant provoquer une maladie grave chez l'homme et constituer un danger sérieux pour les travailleurs ; leur propagation dans la collectivité est possible, mais il existe généralement un traitement ou une prophylaxie efficace.

Le groupe 4 comprend les agents biologiques qui provoquent des maladies graves chez l'homme et constituent un danger sérieux pour les travailleurs ; le risque de leur propagation dans la collectivité est élevé ; il n'existe généralement ni prophylaxie, ni traitement efficace.

Annexe 6 : Les maladies à déclaration obligatoire

Le dispositif de surveillance des maladies à déclaration obligatoire consiste en un recueil exhaustif de données afin de permettre l'analyse de la situation et de l'évolution d'une trentaine de maladies ; ceci dans l'optique de mettre en place des actions préventives et de conduire des programmes adaptés aux besoins de santé publique.

L'inscription d'une maladie sur la liste des MDO fait l'objet d'une décision du ministre de la Santé rendue publique par décret après avis Haut Conseil de la Santé Publique (ex-Conseil Supérieur d'Hygiène Publique des France (CSHPF)).

A l'époque, le CSHPF avait défini deux types de critères, qui sont toujours d'actualité, pour qu'une maladie figure sur la liste.

D'une part des critères principaux qui sont, par ordre d'importance :

- Les maladies qui justifient des mesures exceptionnelles à l'échelon international (telles que la peste, le choléra et la fièvre jaune) que le ministère de la Santé doit déclarer à l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS).
- Les maladies qui justifient une intervention urgente à l'échelon local, régional ou national, dont le signalement enclenche des enquêtes, des mesures préventives (méningite à méningocoque, poliomyélite, etc.) et des mesures correctives pour agir sur la source de contamination (toxi-infection alimentaire collective, légionellose, etc.).
- Les maladies qui nécessitent une évaluation de l'efficacité des programmes de prévention et de lutte (sida, tuberculose, etc.).
- Les maladies graves dont il est nécessaire d'évaluer et de suivre la létalité, la morbidité et le risque de séquelles (sida, légionellose, etc.).
- Les maladies pour lesquelles il existe un besoin de connaissances telles que les maladies émergentes ou mal connues (maladie de Creutzfeldt-Jakob).

D'autre part des critères de faisabilité :

- La maladie ne doit pas être trop fréquente afin de garantir un bon niveau de notification et de permettre une réponse rapide des services déconcentrés.
- Une définition ou une classification des cas simple et spécifique doit être disponible pour que la déclaration soit facile.
- La déclaration doit être acceptée par le milieu médical et la société.
- Le coût de la surveillance pour les acteurs doit rester proportionné aux enjeux de santé publique que présente la surveillance de la maladie.

Source : <http://www.invs.sante.fr/surveillance/mdo/declaration.html>

Légende

 Agent éliminé par le critère de sélection pris en compte dans le tableau
 Agent éliminé par un critère de sélection antérieur

Annexe 7 : Liste des bactéries pathogènes potentiellement présentes dans les eaux usées

Bactéries potentiellement présentes dans les effluents		Classement dans la réglementation professionnelle	Pathogène responsable d'une Maladie à Déclaration Obligatoire
Genre	Espèce		
<i>Acinetobacter</i>	<i>A.junii</i>	/	/
	<i>A.lwoffii</i>	/	/
<i>Actinomyces</i>	<i>A.israeli</i>	Groupe 2	MDO
<i>Alcaligenes</i>	<i>A.faecalis</i>	/	/
<i>Bacillus</i>	<i>B.anthraxis</i>	Groupe 3	/
<i>Brevundimonas</i>	<i>B.vesicularis</i>	/	/
<i>Campylobacter</i>	<i>C.spp</i>	Groupe 2	/
<i>Chryseobacterium</i>	<i>C.meningosepticum</i>	/	/
<i>Clostridium</i>	<i>C.perfringens</i>	Groupe 2	/
	<i>C.botulinum</i>	Groupe 2	MDO
	<i>C.tetani</i>	Groupe 2	MDO
<i>Comamonas</i>	<i>C.acidovorans</i>	/	/
<i>Enterobacter</i>	<i>E.amnigenus</i>	Groupe 2	/
<i>Escherichia</i>	<i>E.coli</i>	Groupe 2	/
<i>Flavimonas</i>	<i>F.oryzihabitans</i>	/	/
<i>Klebsiella</i>	<i>K.pneumoniae</i>	Groupe 2	/
<i>Legionella</i>	<i>L.pneumophila</i>	Groupe 2	MDO
<i>Leptospira</i>	<i>L.interrogans</i>	Groupe 2	/
<i>Listeria</i>	<i>L.monocytogenes</i>	Groupe 2	MDO
<i>Micrococcus</i>	<i>M.spp</i>	/	/
<i>Mycobacterium</i>	<i>M.tuberculosis</i>	Groupe 3	MDO
<i>Ochrobactrum</i>	<i>O.anthropi</i>	/	/
<i>Pseudomonas</i>	<i>P.aeruginosa</i>	Groupe 2	/
	<i>P.fluorescens</i>	/	/
	<i>P.putida</i>	/	/
	<i>P.alcaligenes</i>	/	/
<i>Ralstonia</i>	<i>R.pickettii</i>	/	/
<i>Salmonella</i>	<i>S.spp</i>	Groupe 2	MDO
<i>Shigella</i>	<i>S.spp</i>	Groupe 2 ou 3	/
<i>Sphingobacterium</i>	<i>S.spiritivorum</i>	/	/
<i>Staphylococcus</i>	<i>S.aureus</i>	Groupe 2	/
<i>Streptococcus</i>	<i>S.pneumoniae</i>	Groupe 2	/
<i>Vibrio</i>	<i>V.cholerae</i>	Groupe 2	MDO
<i>Yersinia</i>	<i>Y.entérocolitica</i>	Groupe 2	/

Annexe 8 : Liste des virus pathogènes potentiellement présents dans les eaux usées

Virus pathogènes pour l'homme		Classement dans la réglementation professionnelle	Pathogène responsable d'une Maladie à Déclaration Obligatoire
Genre	Espèce		
<i>Coronavirus</i>	<i>Coronavirus humains</i>	Groupe 2	/
<i>Entérovirus</i>	<i>Poliovirus</i>	Groupe 2	MDO
	<i>Virus coxsackie A</i>	Groupe 2	/
	<i>Virus coxsackie B</i>	Groupe 2	/
	<i>Echovirus</i>	Groupe 2	/
<i>Hépatovirus</i>	<i>Virus de l'hépatite A</i>	Groupe 2	MDO
<i>Mastadénovirus</i>	<i>Adénovirus humains</i>	Groupe 2	/
<i>Parvovirus</i>		Groupe 2	/
<i>Réovirus</i>	<i>Réovirus humains</i>	Groupe 2	/
<i>Rotavirus</i>	<i>Rotavirus humains</i>	Groupe 2	/
<i>Influenzaevirus</i>	<i>Virus grippal</i>	Groupe 2	/

Annexe 9 : Liste des parasites pathogènes potentiellement présents dans les eaux usées

Parasites pathogènes pour l'homme			Classement dans la réglementation professionnelle	Pathogène responsable d'une Maladie à Déclaration Obligatoire
Sous-règne	Genre	Espèce		
Protozoaires	<i>Balantidium</i>	<i>B. coli</i>	Groupe 2	/
	<i>Entamoeba</i>	<i>E. histolytica</i>	Groupe 2	/
	<i>Giardia</i>	<i>G. lamblia</i>	Groupe 2	/
	<i>Toxoplasma</i>	<i>T. gondii</i>	Groupe 2	/
Métazoaires	<i>Ascaris</i>	<i>A.lumbricoïdes</i>	Groupe 2	/
	<i>Ancylostoma</i>	<i>A.duodenale</i>	Groupe 2	/
	<i>Anguillula</i>	<i>A.intestinalis</i>	/	/
	<i>Echinococcus</i>	<i>E. spp</i>	Groupe 3	/
	<i>Fasciola</i>	<i>F. hepatica</i>	Groupe 2	/
	<i>Trichuris</i>	<i>T. trichuria</i>	Groupe 2	/
	<i>Toxocara</i>	<i>T. cani</i>	Groupe 2	/
		<i>T. cati</i>	/	/
	<i>Taenia</i>	<i>T. saginata</i>	Groupe 2	/
		<i>T. solium</i>	Groupe 3	/

Annexe 10 : Liste des levures et des champignons pathogènes potentiellement présents dans les eaux usées

Levures et champignons pathogènes pour l'homme		Classement dans la réglementation professionnelle	Pathogène responsable d'une Maladie à Déclaration Obligatoire
Levures	<i>Candida albicans</i>	Groupe 2	/
	<i>Cryptococcus neoformans</i>	Groupe 2	/
Champignons	<i>Aspergillus spp</i>	Groupe 2 pour <i>Aspergillus fumigatus</i>	/
	<i>Cladosporium spp</i>	/	/
	<i>Epidermophyton spp</i>	Groupe 2 pour <i>Epidermophyton floccosum</i>	/
	<i>Trichophyton spp</i>	Groupe 2	
	<i>Fusarium spp</i>	/	/
	<i>Geotrichum spp</i>	/	/
	<i>Penicillium spp</i>	/ sauf pour <i>Penicillium marneffe</i> appartenant au groupe 2 mais non identifié précisément dans la littérature comme potentiellement présent dans les réseaux.	/
	<i>Trichoderma spp</i>	/	/

Annexe 11 : Les pathologies associées aux bactéries pathogènes, leurs voies de transmission et leur répartition géographique

Bactéries pathogènes pour l'homme		Pathologie, symptômes	Voies de transmission	Pathogène d'intérêt sanitaire en France métropolitaine Epidémiologie	Source bibliographique
Genre	Espèce				
<i>Actinomyces</i>	<i>A.israeli</i>	Actinomycosis	Transmission de personne à personne par contact buccal, inhalation d'aérosols ou vecteurs passifs	Répandu dans le monde entier (saprophytes habituels de la cavité buccale)	Fiche technique santé/sécurité de l'agence de santé publique du Canada http://www.phac-aspc.gc.ca/msds-ftss/msds2f-fra.php - 1999
<i>Bacillus</i>	<i>B.anthraxis</i>	Charbon bactérien	Air (inhalation de spores), aliments	Rare et sporadique dans les pays industrialisés	Fiche technique santé/sécurité de l'agence de santé publique du Canada http://www.phac-aspc.gc.ca/msds-ftss/msds29f-fra.php - 1999
<i>Campylobacter</i>	<i>C.spp</i>	Campylobactérioses (diarrhées)	Ingestion d'aliment et d'eau, contact avec des animaux domestiques infectés	Importante cause d'infections diarrhéiques dans le monde	Fiche technique santé/sécurité de l'agence de santé publique du Canada http://www.phac-aspc.gc.ca/msds-ftss/msds29f-fra.php - 1999
<i>Clostridium</i>	<i>C.perfringens</i>	Entérotoxémies, gangrènes...	Ingestion d'aliments contaminés par le sol ou des matières fécales	Très répandu et relativement fréquent dans les pays où les méthodes de cuisson favorises la multiplication des clostridies	Fiche technique santé/sécurité de l'agence de santé publique du Canada http://www.phac-aspc.gc.ca/msds-ftss/msds37f-fra.php - 1999
	<i>C.botulinum</i>	Botulisme	Ingestion d'aliments contaminés par la toxine	Cas sporadiques survenant dans le monde entier	Fiche technique santé/sécurité de l'agence de santé publique du Canada http://www.phac-aspc.gc.ca/msds-ftss/msds35f-fra.php - 1999
	<i>C.tetani</i>	Tétanos	Contact cutanéomuqueux (spores tétaniques pénètrent par une plaie)	Répandu dans le monde entier	Fiche technique santé/sécurité de l'agence de santé publique du Canada http://www.phac-aspc.gc.ca/msds-ftss/msds38f-fra.php - 2000
<i>Enterobacter</i>	<i>E. spp</i>	Infections diverses (voies urinaires, poumons, plaies, sang)	Transmission par voie oro-fécale. Contact des muqueuses avec des fournitures médicales contaminées.	Répandu dans le monde entier, souvent lié à des infections hospitalières.	Fiche technique santé/sécurité de l'agence de santé publique du Canada http://www.phac-aspc.gc.ca/msds-ftss/msds59f-fra.php - 2001

<i>Escherichia</i>	<i>E.coli</i>	Gastro-entérites, septicémies, infections des voies urinaires et de la vésicule biliaire	Ingestion d'aliments contaminés, transmission par la voie oro-fécale	Cas sporadiques d'épidémies de diarrhées sanguinolentes dues à <i>E. coli</i> O157 : H7	Fiche technique santé/sécurité de l'agence de santé publique du Canada http://www.phac-aspc.gc.ca/msds-ftss/msds63f-fra.php - 2001
<i>Klebsiella</i>	<i>K.pneumoniae</i>	Pneumonie	Sol, eau, aliments	Répandu dans le monde entier, les 2/3 des infections étant acquises en milieu hospitalier	Fiche technique santé/sécurité de l'agence de santé publique du Canada http://www.phac-aspc.gc.ca/msds-ftss/msds90f-fra.php - 2001
<i>Legionella</i>	<i>L.pneumophila</i>	Légionellose	Transmission par les aérosols	Maladie observée en Amérique du Nord, en Afrique, en Australie et en Europe. Cas sporadiques.	Fiche technique santé/sécurité de l'agence de santé publique du Canada http://www.phac-aspc.gc.ca/msds-ftss/msds93f-fra.php - 2001
<i>Leptospira</i>	<i>L.interrogans</i>	Leptospirose	Contact de la peau ou des muqueuses avec eau, sol, végétation contaminée. Contact direct avec l'urine ou les tissus d'animaux contaminés. Ingestion d'aliments contaminés ou inhalation de gouttelettes de liquides contaminés	Répandu dans le monde entier	Fiche technique santé/sécurité de l'agence de santé publique du Canada http://www.phac-aspc.gc.ca/msds-ftss/msds95f-fra.php - 2001
<i>Listeria</i>	<i>L.monocytogenes</i>	Listériose	Transmission materno-fœtale, contact direct avec du matériel infectieux ou du sol contaminé par des matières fécales, ingestion d'aliments contaminés	Infection rarement diagnostiquée, habituellement sporadique	Fiche technique santé/sécurité de l'agence de santé publique du Canada http://www.phac-aspc.gc.ca/msds-ftss/msds96f-fra.php - 2001
<i>Mycobacterium</i>	<i>M.tuberculosis</i>	Tuberculose	Inhalation de particules en suspension dans l'air	Répandu dans le monde entier	Fiche technique santé/sécurité de l'agence de santé publique du Canada http://www.phac-aspc.gc.ca/msds-ftss/msds103f-fra.php - 2001
<i>Pseudomonas</i>	<i>P.aeruginosa</i>	Surinfections, suppurations, infections urinaires	Contact direct avec de l'eau, des aérosols ou des inhalations contaminées	Répandu dans le monde entier, infection nosocomiale	Fiche technique santé/sécurité de l'agence de santé publique du Canada http://www.phac-aspc.gc.ca/msds-ftss/msds123f-fra.php - 2001
<i>Salmonella</i>	<i>S.spp</i>	Salmonellose	Ingestion d'aliments contaminés, transmission fécale-orale d'une personne à une autre	Répandu dans le monde entier	Fiche technique santé/sécurité de l'agence de santé publique du Canada http://www.phac-aspc.gc.ca/msds-ftss/msds135f-fra.php - 2001

<i>Shigella</i>	<i>S.spp</i>	Dysenterie bacillaire	Eau, aliments, transmission directe ou indirecte par voie oro-fécale	Répandu dans le monde entier	Fiche technique santé/sécurité de l'agence de santé publique du Canada http://www.phac-aspc.gc.ca/msds-ftss/msds139f-fra.php - 2001
<i>Staphylococcus</i>	<i>S.aureus</i>	Infections staphylococciques (grande variété des manifestations cliniques)	Transmission de personne à personne par contact, ingestion d'aliments	Répandu dans le monde entier (pathogène opportuniste de la flore normale)	Fiche technique santé/sécurité de l'agence de santé publique du Canada http://www.phac-aspc.gc.ca/msds-ftss/msds143f-fra.php - 2001
<i>Streptococcus</i>	<i>S.pneumoniae</i>	Pneumonie pneumococcique	Transmission par propagation de gouttelettes, par contact oral direct, transmission de personne à personne	Epidémie continue, particulièrement chez les nourrissons, les vieillards et les alcooliques	Fiche technique santé/sécurité de l'agence de santé publique du Canada http://www.phac-aspc.gc.ca/msds-ftss/msds147f-fra.php - 2001
<i>Vibrio</i>	<i>V.cholerae</i>	Choléra	Ingestion d'eau ou d'aliments contaminés par les fèces des malades	Rare, pas d'épidémie récente	Fiche technique santé/sécurité de l'agence de santé publique du Canada http://www.phac-aspc.gc.ca/msds-ftss/msds164f-fra.php - 2001
<i>Yersinia</i>	<i>Y.entérocolitica</i>	Entérocolite, septicémie	Transmission fécale-orale, eau, aliments	Répandu dans le monde entier. 2/3 des infections surviennent chez les nourrissons et les jeunes enfants	Fiche technique santé/sécurité de l'agence de santé publique du Canada http://www.phac-aspc.gc.ca/msds-ftss/msds168f-fra.php - 2001

Annexe 12 : Les pathologies associées aux virus pathogènes, leurs voies de transmission et leur répartition géographique

Virus pathogènes pour l'homme		Pathologie, symptômes	Voie de transmission	Pathogène d'intérêt sanitaire en France métropolitaine Epidémiologie	Source bibliographique
Genre	Espèce				
<i>Coronavirus</i>	<i>Coronavirus humains</i>	Affection respiratoire (rhume)	Inhalation d'aérosols, transmission respiratoire d'une personne à une autre ; indirectement, par contact avec des objets hébergeant des agents pathogènes.	Répandu dans le monde entier, principale cause d'affections respiratoires de la fin de l'automne et du début de l'hiver, à l'origine de 10-30% des rhumes.	Fiche technique santé/sécurité de l'agence de santé publique du Canada http://www.phac-aspc.gc.ca/msds-ftss/msds83f-fra.php - 2001
<i>Entérovirus</i>	<i>Poliovirus</i>	Paralysie, méningite, fièvre, poliomyélite	Voie fécale-orale, eau, aliments	Eradiquée de l'ensemble du continent américain, de la région du Pacifique occidental et de la région européenne de l'OMS.	http://www.sante.gouv.fr/htm/dossiers/polio_anter_aigue/epidemiologie.pdf - 2008
	<i>Virus coxsackie A</i>	Méningite, infection respiratoire, herpangine	Contact direct avec des sécrétions nasopharyngiennes d'une personne infectée, voie fécale-orale, inhalation d'aérosols infectés.	Répandu dans le monde entier. Enfants de moins de 10 ans particulièrement vulnérables (épidémies dans garderies)	Fiche technique santé/sécurité de l'agence de santé publique du Canada http://www.phac-aspc.gc.ca/msds-ftss/msds44f-fra.php - 2000
	<i>Virus coxsackie B</i>	Myocardite, éruption cutanée, méningite, fièvre, diarrhée			
	<i>Echovirus</i>	Méningite, infection respiratoire, éruption cutanée, fièvre, diarrhée	Voie fécale-orale	Répandu dans le monde entier. Epidémies fréquentes dans les garderies.	Fiche technique santé/sécurité de l'agence de santé publique du Canada http://www.phac-aspc.gc.ca/msds-ftss/msds56f-fra.php - 2001
<i>Hépatovirus</i>	<i>Virus de l'hépatite A</i>	Hépatite infectieuse	De personne à personne par voie oro-fécale, par ingestion d'eau ou d'aliments contaminés.	Répandu dans le monde entier, 20 à 25% des hépatites cliniquement apparentes dans le monde entier.	Fiche technique santé/sécurité de l'agence de santé publique du Canada http://www.phac-aspc.gc.ca/msds-ftss/msds75f-fra.php - 2001
<i>Mastadénovirus</i>	<i>Adénovirus humains</i>	Infection respiratoire, conjonctivite, gastro-entérite	Directement, par contact oral ou des expositions (inhalation) à des gouttelettes ; indirectement, par contact avec des objets fraîchement souillés par des expectorations d'une personne infectieuse. Transmission possible par voie oro-fécale.	Répandu dans le monde entier.	Fiche technique santé/sécurité de l'agence de santé publique du Canada http://www.phac-aspc.gc.ca/msds-ftss/msds3f-fra.php - 1999

<i>Parvovirus</i>	<i>Parvovirus humains (B19)</i>	Crise érythroblastopénique	Contact avec des sécrétions infectées des voies respiratoires, transmission mère-enfant.	Répandu dans le monde entier. Poussées épidémiques principalement chez les enfants d'âge pré-scolaire.	Fiche technique santé/sécurité de l'agence de santé publique du Canada http://www.phac-aspc.gc.ca/msds-ftss/msds116f-fra.php - 2001
<i>Réovirus</i>	<i>Réovirus humains</i>	Non établie	/	/	/
<i>Rotavirus</i>	<i>Rotavirus humains</i>	Gastro-entérite	De personne à personne par voie oro-fécale ; par contact avec des sécrétions respiratoires, de l'eau, des aliments ou des surfaces contaminées ; par contact avec des objets hébergeant l'agent.	Répandu dans le monde entier. Principale cause de gastro-entérite chez l'enfant (95% des enfants dans le monde sont infectés).	Fiche technique santé/sécurité de l'agence de santé publique du Canada http://www.phac-aspc.gc.ca/msds-ftss/msds86f-fra.php - 2001
<i>Influenzaevirus</i>	<i>Virus grippal</i>	Infections respiratoires	Par l'intermédiaire de gouttelettes provenant des voies aériennes supérieures générées par la toux, les éternuements ou la parole d'un sujet infecté. Possibles par contact des muqueuses avec des mains ou des objets fraîchement souillés par les sécrétions oropharyngées d'un sujet infecté. Transmission par aérosols évoquée mais discutée.	Virus de répartition mondiale évoluant selon un mode épidémique voire pandémique.	http://www.inrs.fr/eficatt.nsf/(allDocParRef)/FCGRIPPE?OpenDocument - 2006

Annexe 13 : Les pathologies associées aux parasites pathogènes, leurs voies de transmission et leur répartition géographique

Parasites pathogènes pour l'homme			Pathologie, symptômes	Voie de transmission	Pathogène d'intérêt sanitaire en France métropolitaine Epidémiologie	Source bibliographique
Sous-règne	Genre	Espèce				
Protozoaires	<i>Balantidium</i>	<i>B. coli</i>	Balantidiose	Contamination fécale-orale, la contamination fécale de l'eau étant un mécanisme de transmission important.	Répandu dans le monde entier. Epidémies attribuables à une contamination hydrique fréquente dans les régions où les conditions sanitaires sont très défavorables et où une contamination fécale est importante.	Fiche technique santé/sécurité de l'agence de santé publique du Canada http://www.phac-aspc.gc.ca/msds-ftss/msds15f-fra.php - 1999
	<i>Entamoeba</i>	<i>E. histolytica</i>	Amibiase : diarrhée, abcès intestinaux	Ingestion d'eau et d'aliments (légumes crus) souillés par des matières fécales.	Répandu dans le monde entier (10% de la population mondiale infectée). Taux d'infection plus élevés dans les régions tropicales où les conditions sanitaires sont défavorables.	Fiche technique santé/sécurité de l'agence de santé publique du Canada http://www.phac-aspc.gc.ca/msds-ftss/msds58f-fra.php - 2001
	<i>Giardia</i>	<i>G. lamblia</i>	Dysenteries	Le principal mode de transmission est la voie oro-fécale.	Répandu dans le monde entier en particulier dans les régions où les conditions sanitaires sont déficientes.	Fiche technique santé/sécurité de l'agence de santé publique du Canada http://www.phac-aspc.gc.ca/msds-ftss/msds71f-fra.php - 2001
	<i>Toxoplasma</i>	<i>T. gondii</i>	Toxoplasmose	Consommation de viande infectée mal cuite ; ingestion de lait, d'aliments ou d'eau contenant des oocystes infectants;...	Répandu dans le monde entier. L'incidence est plus élevée dans les régions tropicales et plus faible dans les régions froides et arides.	Fiche technique santé/sécurité de l'agence de santé publique du Canada http://www.phac-aspc.gc.ca/msds-ftss/msds153f-fra.php - 2001
Métazoaires	<i>Ascaris</i>	<i>A. lumbricoïdes</i>	Ascariose	Ingestion de sol ou d'aliments crus contaminés par des fèces renfermant des œufs contaminés.	Répandu dans le monde entier. Prédomine dans les régions tropicales humides.	Fiche technique santé/sécurité de l'agence de santé publique du Canada http://www.phac-aspc.gc.ca/msds-ftss/msds9f-fra.php - 1999
	<i>Ancylostoma</i>	<i>A. duodenale</i>	Ankylostomose	Contamination par voie orale ou percutanée.	Répandu dans le monde entier. Largement endémique dans les régions tropicales et subtropicales où les mesures d'hygiène sont déficientes.	Fiche technique santé/sécurité de l'agence de santé publique du Canada http://www.phac-aspc.gc.ca/msds-ftss/msds7f-fra.php - 1999
	<i>Trichuris</i>	<i>T. trichuria</i>	Trichocéphalose	Ingestion de terre ou	Répandu dans le monde entier,	Fiche technique santé/sécurité de

			ou trichurose	d'aliments contenant des œufs infectieux.	principalement dans les régions chaudes et humides.	l'agence de santé publique du Canada http://www.phac-aspc.gc.ca/msds-ftss/msds157f-fra.php - 2001
	<i>Toxocara</i>	<i>T. cani</i>	Toxocarose	Transfert à la bouche, direct ou indirect, d'œufs provenant de sols contaminés, par l'ingestion de légumes crus non lavés et de terre.	Réandu dans le monde entier. Les infections à <i>T. canis</i> sont beaucoup plus fréquentes.	Fiche technique santé/sécurité de l'agence de santé publique du Canada http://www.phac-aspc.gc.ca/msds-ftss/msds152f-fra.php - 2001
	<i>Echinococcus</i>	<i>E. spp</i>	Echinococcose	Transfert de la main à la bouche d'œufs de cestode provenant de déjections de chien ; ingestion d'eau et d'aliment souillés par des déjections d'animaux infectés.	Plus commun dans les régions tempérées où l'on élève des moutons. Espèce très commune.	Fiche technique santé/sécurité de l'agence de santé publique du Canada http://www.phac-aspc.gc.ca/msds-ftss/msds54f-fra.php - 2001
	<i>Fasciola</i>	<i>F. hepatica</i>	Fasciolose	Ingestion de plantes aquatiques crues (cresson) sur lesquelles se sont fixés des métacercaires, eau contaminée, ingestion de bétail ou de foie de mouton contenant des parasites.	Réandu dans le monde entier.	Fiche technique santé/sécurité de l'agence de santé publique du Canada http://www.phac-aspc.gc.ca/msds-ftss/msds67f-fra.php - 2001
	<i>Taenia</i>	<i>T. saginata</i>	Taeniasis/Cysticercose	Ingestion de viande de bœuf crue ou mal cuite.	Réandu dans le monde entier. Fréquent dans les pays où l'on consomme de la viande de bœuf mal cuite.	Fiche technique santé/sécurité de l'agence de santé publique du Canada http://www.phac-aspc.gc.ca/msds-ftss/msds150f-fra.php - 2001
		<i>T. solium</i>		Ingestion de viande de porc crue ou mal cuite. (contamination oro-fécale directe ou indirecte pour la transmission de la cysticercose).	Réandu dans le monde entier. Fréquent dans les pays où l'on consomme de la viande de porc mal cuite.	Fiche technique santé/sécurité de l'agence de santé publique du Canada http://www.phac-aspc.gc.ca/msds-ftss/msds151f-fra.php - 2001

Annexe 14 : Les pathologies associées aux levures et aux champignons pathogènes, leurs voies de transmission et leur répartition géographique

Levures et champignons pathogènes pour l'homme		Pathologie, symptômes	Voies de transmission	Pathogène d'intérêt sanitaire en France métropolitaine Epidémiologie	Source bibliographique
Levures	<i>Candida albicans</i>	Candidose (infections digestives, cutanéomuqueuses)	Propagation endogène (fait partie de la flore normale de l'humain) ; par contact avec les sécrétions de la bouche et de la peau et les selles des malades ou des porteurs sains.	Répandu dans le monde entier.	Fiche technique santé/sécurité de l'agence de santé publique du Canada http://www.phac-aspc.gc.ca/msds-ftss/msds30f-fra.php - 1999
	<i>Cryptococcus neoformans</i>	Cryptococcose (manifestations pulmonaires, cutanées)	Inhalation de spores	Cas apparaissant dans toutes les parties du monde.	Fiche technique santé/sécurité de l'agence de santé publique du Canada http://www.phac-aspc.gc.ca/msds-ftss/msds47f-fra.php - 1999
Champignons	<i>Aspergillus spp</i>	Aspergillose (infection des voies respiratoires supérieures, mycoses profondes)	Inhalation de conidies en suspension dans l'air.	Répandu dans le monde entier. Infection peu fréquente (maladie principalement nosocomiale)	Fiche technique santé/sécurité de l'agence de santé publique du Canada http://www.phac-aspc.gc.ca/msds-ftss/msds11f-fra.php - 1999
	<i>Epidermophyton floccosum</i>	Dermatophytose (mycoses superficielles)	Par contact direct ou indirect avec des lésions du cuir chevelu de personnes ou d'animaux infectés ou par contact avec des vecteurs passifs (plancher, vêtements...) contaminés par de l'épithélium desquamé.	Répandu dans le monde entier. Relativement fréquent, en particulier sous les climats chauds et humides.	Fiche technique santé/sécurité de l'agence de santé publique du Canada http://www.phac-aspc.gc.ca/msds-ftss/msds61f-fra.php - 1999
	<i>Trichophyton spp</i>				

Légende

 Agent éliminé par le critère de sélection pris en compte dans le tableau

 Agent éliminé par un critère de sélection antérieur

Annexe 15 : Dangers associés aux bactéries pathogènes

Bactéries pathogènes pour l'homme		Pathologie, symptômes	Gravité de la maladie	Références/Sources
Genre	Espèce			
<i>Actinomyces</i>	<i>A.israeli</i>	Actinomycoses	Affection suppurative chronique et d'évolution lente. Rare et grave chez personnes immunodéprimées mais traitée par antibiotiques.	BENOUACHANE T., 1996
<i>Bacillus</i>	<i>B.anthraxis</i>	Charbon bactérien	Maladie grave	BROUILLARD C., 2003
<i>Campylobacter</i>	<i>C.spp</i>	Campylobactérioses (diarrhées)	Taux de mortalité de 0,1% dans la population générale pour <i>C.coli</i>	BONNARD R., 2001
<i>Clostridium</i>	<i>C.perfringens</i>	Entérotoxémies, gangrènes...	Affection bénigne	BROUILLARD C., 2003
	<i>C.botulinum</i>	Botulisme	Létalité inférieure à 6%	BROUILLARD C., 2003
	<i>C.tetani</i>	Tétanos	Létalité d'environ 30%	BROUILLARD C., 2003
<i>Enterobacter</i>	<i>E. spp</i>	Infections diverses	Infection secondaire ou opportuniste.	Fiche technique santé/sécurité de l'agence de santé publique du Canada http://www.phac-aspc.gc.ca/msds-ftss/msds59f-fra.php - 2001
<i>Escherichia</i>	<i>E.coli</i>	Gastro-entérites, septicémies, infections des voies urinaires et de la vésicule biliaire	Taux de mortalité de 0,2% dans la population générale pour <i>E. coli</i> O157 : H7	BONNARD R., 2001 BROUILLARD C., 2003
<i>Klebsiella</i>	<i>K.pneumoniae</i>	Pneumonie		BROUILLARD C., 2003
<i>Legionella</i>	<i>L.pneumophila</i>	Légionellose	Létalité élevée (15 à 20% des cas)	BONNARD R., 2001 BROUILLARD C., 2003
<i>Leptospira</i>	<i>L.interrogans</i>	Leptospirose	Maladie grave. Taux de mortalité de 2 à 5% augmentant avec l'âge du sujet.	BONNARD R., 2001
<i>Listeria</i>	<i>L.monocytogenes</i>	Listériose	Taux de mortalité de 17 à 33% dans la population générale.	BONNARD R., 2001
<i>Mycobacterium</i>	<i>M.tuberculosis</i>	Tuberculose	Maladie grave si évolution de la primo-infection vers une tuberculose pulmonaire.	Fiche technique santé/sécurité de l'agence de santé publique du Canada http://www.phac-aspc.gc.ca/msds-ftss/msds103f-fra.php - 2001
<i>Pseudomonas</i>	<i>P.aeruginosa</i>	Surinfections, suppurations, infections urinaires	Pathogène opportuniste, dangereux pour les personnes immunodéprimées (taux de létalité de 30% chez les populations réceptives).	Fiche technique santé/sécurité de l'agence de santé publique du Canada http://www.phac-aspc.gc.ca/msds-ftss/msds123f-fra.php - 2001
<i>Salmonella</i>	<i>S.spp</i>	Salmonellose	Taux de mortalité de 0,1% dans la population générale	BONNARD R., 2001

<i>Shigella</i>	<i>S.spp</i>	Dysenterie bacillaire	Taux de mortalité de 0,2% dans la population générale	BONNARD R., 2001
<i>Staphylococcus</i>	<i>S.aureus</i>	Infections staphylococciques (grande variété des manifestations cliniques)	Pathogène opportuniste de la flore normale. Peu être grave chez des personnes sensibles (nouveau-nés, femmes enceintes et personnes immunodéprimées)	Fiche technique santé/sécurité de l'agence de santé publique du Canada http://www.phac-aspc.gc.ca/msds-ftss/msds143f-fra.php - 2001
<i>Streptococcus</i>	<i>S.pneumoniae</i>	Pneumonie pneumococcique	Importante cause de mortalité chez les nourrissons et les vieillards. Le taux de létalité varie de 5 à 10% si des antimicrobiens sont administrés et atteint 20 à 40% chez les sujets touchés par une infections sous-jacente.	Fiche technique santé/sécurité de l'agence de santé publique du Canada http://www.phac-aspc.gc.ca/msds-ftss/msds147f-fra.php - 2001
<i>Vibrio</i>	<i>V.cholerae</i>	Choléra	Maladie grave en l'absence de traitement	BROUILLARD C., 2003
<i>Yersinia</i>	<i>Y.entérocolitica</i>	Entérocolite, septicémie (Yersiniose)	Maladie rarement grave touchant principalement nourrissons et jeunes enfants	Fiche technique santé/sécurité de l'agence de santé publique du Canada http://www.phac-aspc.gc.ca/msds-ftss/msds168f-fra.php - 2001

Annexe 16 : Dangers associés aux virus pathogènes

Virus pathogènes pour l'homme		Pathologie, symptômes	Gravité de la maladie	Références/Sources
Genre	Espèce			
<i>Coronavirus</i>	<i>Coronavirus humains</i>	Affection respiratoire (rhume)	Pathologie bénigne	http://www.chups.jussieu.fr/poly/viro/poly/POLY.Chp.8.html
<i>Entérovirus</i>	<i>Poliavirus</i>	Paralysie, méningite, fièvre, poliomyélite	Pathologies variées pouvant aller de l'infection inapparente à une maladie mortelle. Mortalité de 0,9%.	BONNARD R., 2001
	<i>Virus coxsackie A</i>	Méningite, infection respiratoire, herpangine	Pathologies variées pouvant aller de l'infection inapparente à une maladie mortelle. Mortalité allant de 0,12 à 0,5% dans la population générale.	BONNARD R., 2001
	<i>Virus coxsackie B</i>	Myocardite, éruption cutanée, méningite, fièvre, diarrhée	Pathologies variées pouvant aller de l'infection inapparente à une maladie mortelle. Mortalité allant de 0,6 à 0,94% dans la population générale.	BONNARD R., 2001
	<i>Echovirus</i>	Méningite, infection respiratoire, éruption cutanée, fièvre, diarrhée	Pathologies variées pouvant aller de l'infection inapparente à une maladie mortelle. Mortalité allant de 0,27 à 0,29% dans la population générale.	BONNARD R., 2001
<i>Hépatovirus</i>	<i>Virus de l'hépatite A</i>	Hépatite infectieuse	Pathologies allant de l'infection inapparente à l'hépatite fulminante. Taux de mortalité de 0,6% dans la population générale	BONNARD R., 2001
<i>Mastadénovirus</i>	<i>Adénovirus humains</i>	Infection respiratoire, conjonctivite, gastro-entérite	Souvent peu grave, sauf chez personnes immunodéprimées où l'infection peut être mortelle.	BROUILLARD C., 2003 Fiche technique santé/sécurité de l'agence de santé publique du Canada http://www.phac-aspc.gc.ca/msds-ftss/msds59f-fra.php - 2001
<i>Parvovirus</i>	<i>Parvovirus B19</i>	Crise érythroblastopénique	Asymptomatique dans 20 à 25% des cas chez l'adulte non immunodéprimé. Peu grave hormis pour fœtus si femme enceinte infectée.	CAUDY-GRAFFIN C., 2008
<i>Réovirus</i>	<i>Réovirus humains</i>	Non établie	/	/
<i>Rotavirus</i>	<i>Rotavirus humains</i>	Gastro-entérite	Infections souvent inapparentes. Taux de mortalité de 0,01% dans la population générale.	BONNARD R., 2001
<i>Influenzaevirus</i>	<i>Virus grippal</i>	Infections respiratoires	Virus associé à une morbidité importante (5 à 15% lors d'épidémies, pouvant atteindre de 25 à 50% lors des pandémies).	http://www.inrs.fr/eficatt.nsf/(allDocParRe f)/FCGRIPPE?OpenDocument 2006

Annexe 17 : Dangers associés aux parasites pathogènes

Parasites pathogènes pour l'homme			Pathologie, symptômes	Gravité de la maladie	Références/Sources
Sous-règne	Genre	Espèce			
Protozoaires	<i>Balantidium</i>	<i>B. coli</i>	Balantidiose	Maladie pouvant être grave. Taux d'infection faible chez l'homme.	BROULLIARD C., 2003 Fiche technique santé/sécurité de l'agence de santé publique du Canada http://www.phac-aspc.gc.ca/msds-ftss/msds15f-fra.php - 1999
	<i>Entamoeba</i>	<i>E. histolytica</i>	Amibiase : diarrhée, abcès intestinaux	Pathologie souvent latente pouvant être mortelle dans les pays chauds	BROULLIARD C., 2003
	<i>Giardia</i>	<i>G. lamblia</i>	Dysentrie	Fréquemment asymptomatique. Taux de mortalité de 0,1% dans la population générale.	BONNARD R., 2001
	<i>Toxoplasma</i>	<i>T. gondii</i>	Toxoplasmose	Formes bénignes à graves.	BROULLIARD C., 2003
Métabozoaires	<i>Ascaris</i>	<i>A. lumbricoïdes</i>	Ascariose	Peut rester asymptomatique. Les symptômes varient selon la charge parasitaire.	BROULLIARD C., 2003 Fiche technique santé/sécurité de l'agence de santé publique du Canada http://www.phac-aspc.gc.ca/msds-ftss/msds9f-fra.php - 1999
	<i>Ancylostoma</i>	<i>A. duodenale</i>	Ankylostomose	Souvent asymptomatique. Manifestations cliniques variant selon l'intensité de l'infection.	BROULLIARD C., 2003 Fiche technique santé/sécurité de l'agence de santé publique du Canada http://www.phac-aspc.gc.ca/msds-ftss/msds7f-fra.php - 1999
	<i>Fasciola</i>	<i>F. hepatica</i>	Fasciolose	Peu être grave.	Fiche technique santé/sécurité de l'agence de santé publique du Canada http://www.phac-aspc.gc.ca/msds-ftss/msds67-fra.php - 2001
	<i>Trichuris</i>	<i>T. trichuria</i>	Trichocéphalose ou trichurose	Souvent asymptomatique.	BROULLIARD C., 2003
	<i>Toxocara</i>	<i>T. cani</i>	Toxocarose	Potentiellement grave (formes asymptomatiques à sévères), mais issue rarement fatale.	BROULLIARD C., 2003 Fiche technique santé/sécurité de l'agence de santé publique du Canada http://www.phac-aspc.gc.ca/msds-ftss/msds152f-fra.php - 1999
	<i>Echinococcus</i>	<i>E. spp</i>	Echinococcose	Maladie grave pouvant demeurer asymptomatique durant de nombreuses années.	BROULLIARD C., 2003 Fiche technique santé/sécurité de l'agence de santé publique du Canada http://www.phac-aspc.gc.ca/msds-ftss/msds54f-fra.php - 1999
	<i>Taenia</i>	<i>T. saginata</i> <i>T. solium</i>	Taeniasis/Cysticercose	Peu grave.	BROULLIARD C., 2003

Annexe 18 : Dangers associés aux levures et aux champignons pathogènes

Levures et champignons pathogènes pour l'homme		Pathologie, symptômes	Gravité de la maladie	Références/Sources
Levures	<i>Candida albicans</i>	Candidose	Peut être grave	BROULLIARD C., 2003
	<i>Cryptococcus neoformans</i>	Cryptococcose	Aspects variés. Existence de formes graves chez les personnes immunodéprimées.	Fiche technique santé/sécurité de l'agence de santé publique du Canada http://www.phac-aspc.gc.ca/msds-ftss/msds47f-fra.php - 1999
Champignons	<i>Aspergillus spp</i>	Aspergillose (infection des voies respiratoires supérieures, mycoses profondes)	Pathogène dans seulement certaines circonstances (maladie nosocomiale). Gravité selon l'état immunologique du patient.	Fiche technique santé/sécurité de l'agence de santé publique du Canada http://www.phac-aspc.gc.ca/msds-ftss/msds11f-fra.php - 1999
	<i>Epidermophyton floccosum</i>	Dermatophytose (mycoses superficielles)	Peu grave	http://www.phac-aspc.gc.ca/msds-ftss/msds61f-fra.php - 1999
	<i>Trichophyton spp</i>			

Annexe 19 : Les facteurs physico-chimiques et biologiques importants pour le devenir des micro-polluants organiques

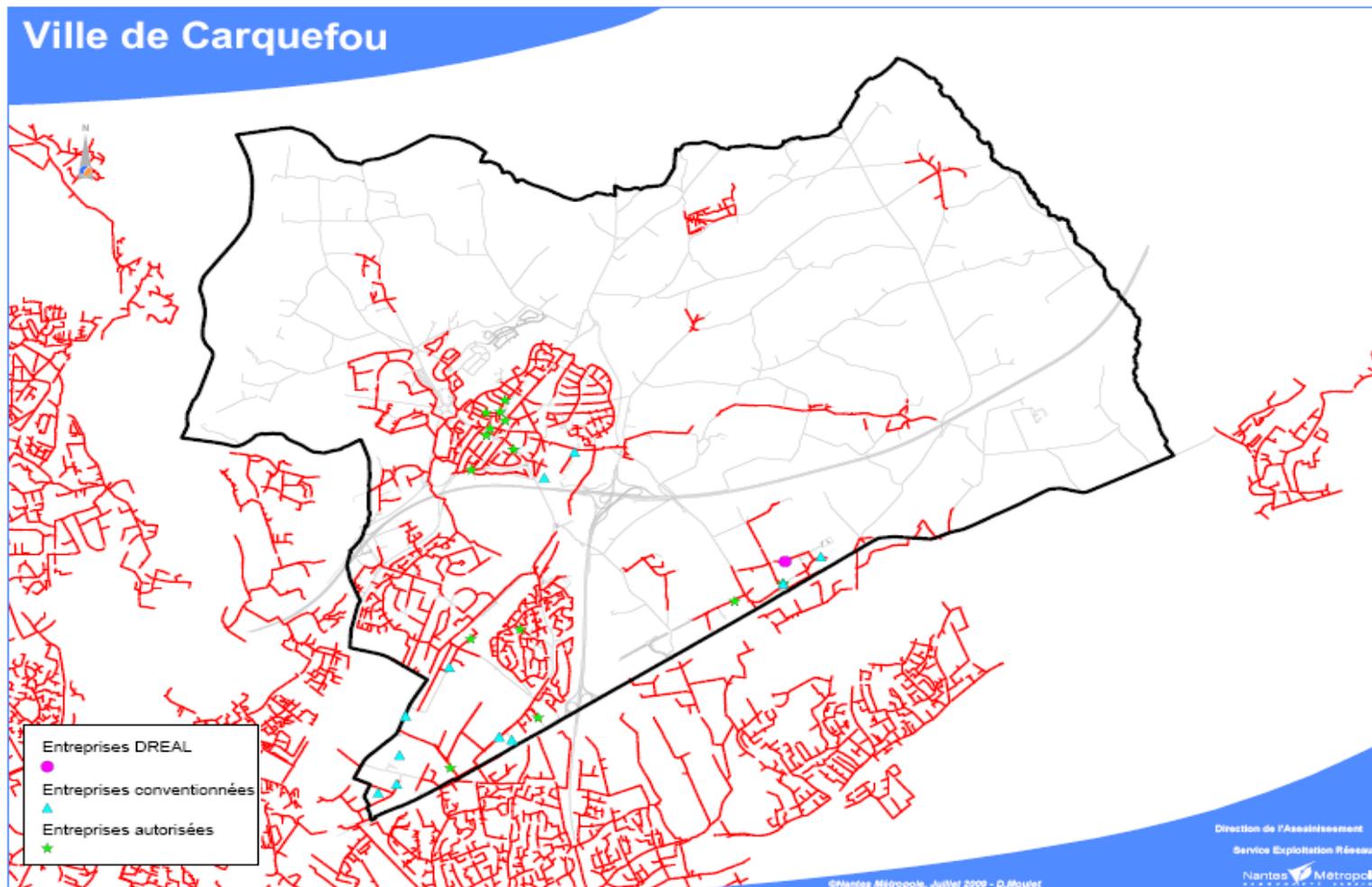
Quatre classes de mécanismes peuvent être distinguées :

- La solubilisation dans l'eau qui correspond au passage à l'état dissous dans l'eau.
- La volatilisation qui correspond au passage de l'état dissous dans l'eau à l'état gazeux dans l'atmosphère qui sera un vecteur de transfert de la pollution et une voie de contamination de l'homme par inhalation.
- La sorption qui correspond au passage de l'état dissous dans l'eau à l'état fixé sur une phase solide (adsorption), de l'état dissous dans une phase solide (absorption) voire à l'état solide (précipitation).
- La dégradation qui correspond à la transformation physico-chimique ou biologique des composés en produits organiques ou minéraux différents des produits initiaux. Certains produits intermédiaires peuvent être plus toxiques que le composé initial.

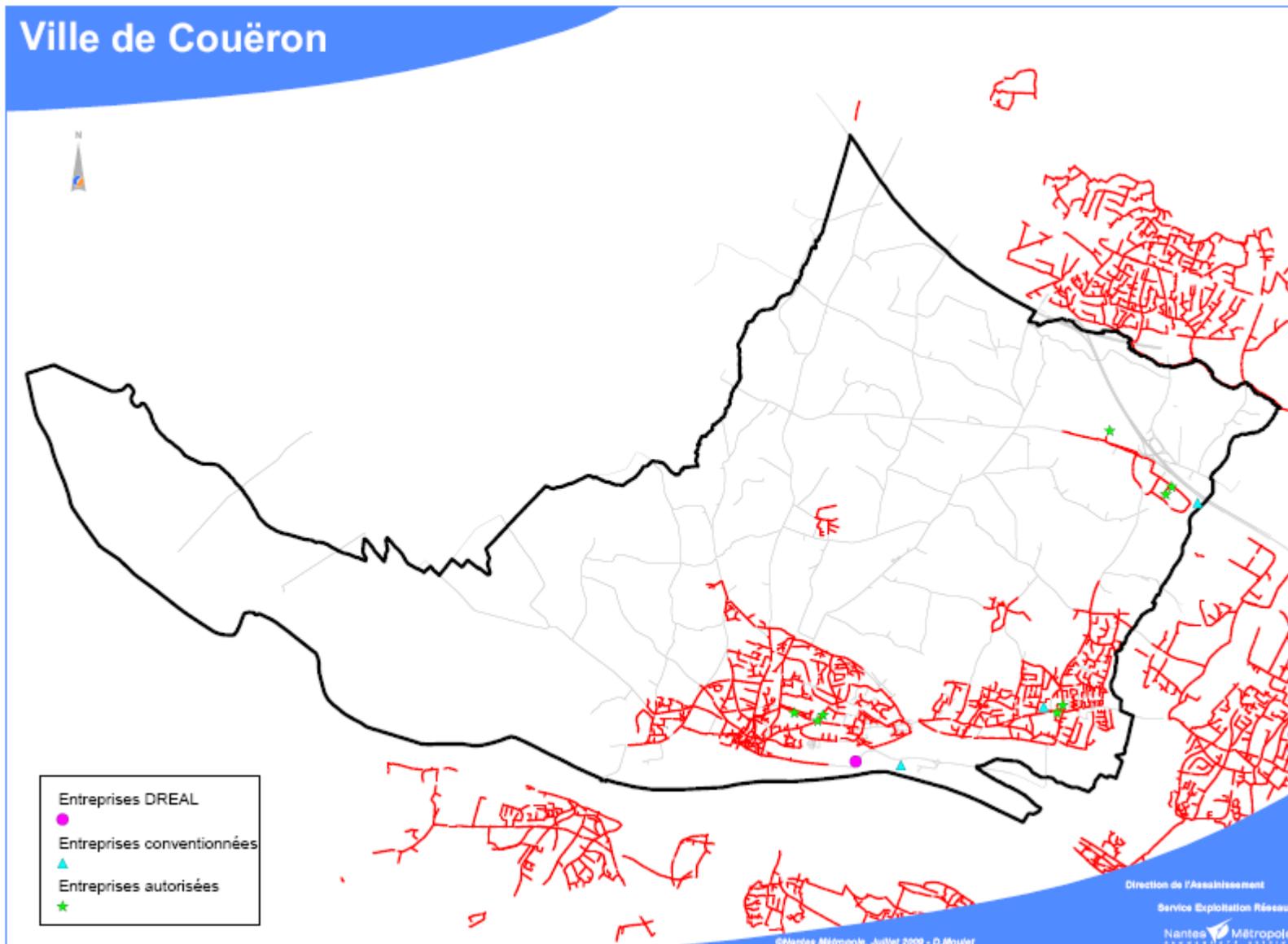
La tendance des produits chimiques à se volatiliser est très différente d'un produit à l'autre et est décrite par la constante de Henry. Parmi les micro-polluants organiques, les plus volatils sont les hydrocarbures aliphatiques légers et les hydrocarbures aromatiques monocycliques avec des constantes supérieures à 10^{-1} USI (Unité du Système International). Viennent ensuite le naphthalène et les PCB (environ 10^{-2} USI) qui restent assez volatils. Les autres composés sont moins volatils : les pesticides (10^{-3} à 10^{-5} USI), les esters de phtalates, les phénols, les HAP, les PCDD (10^{-4} à 10^{-6} USI). Certains composés ont des constantes de Henry encore plus faibles comme les nitrophénols ($2,7 \cdot 10^{-8}$ USI pour le 2,4 dinitrophénol).

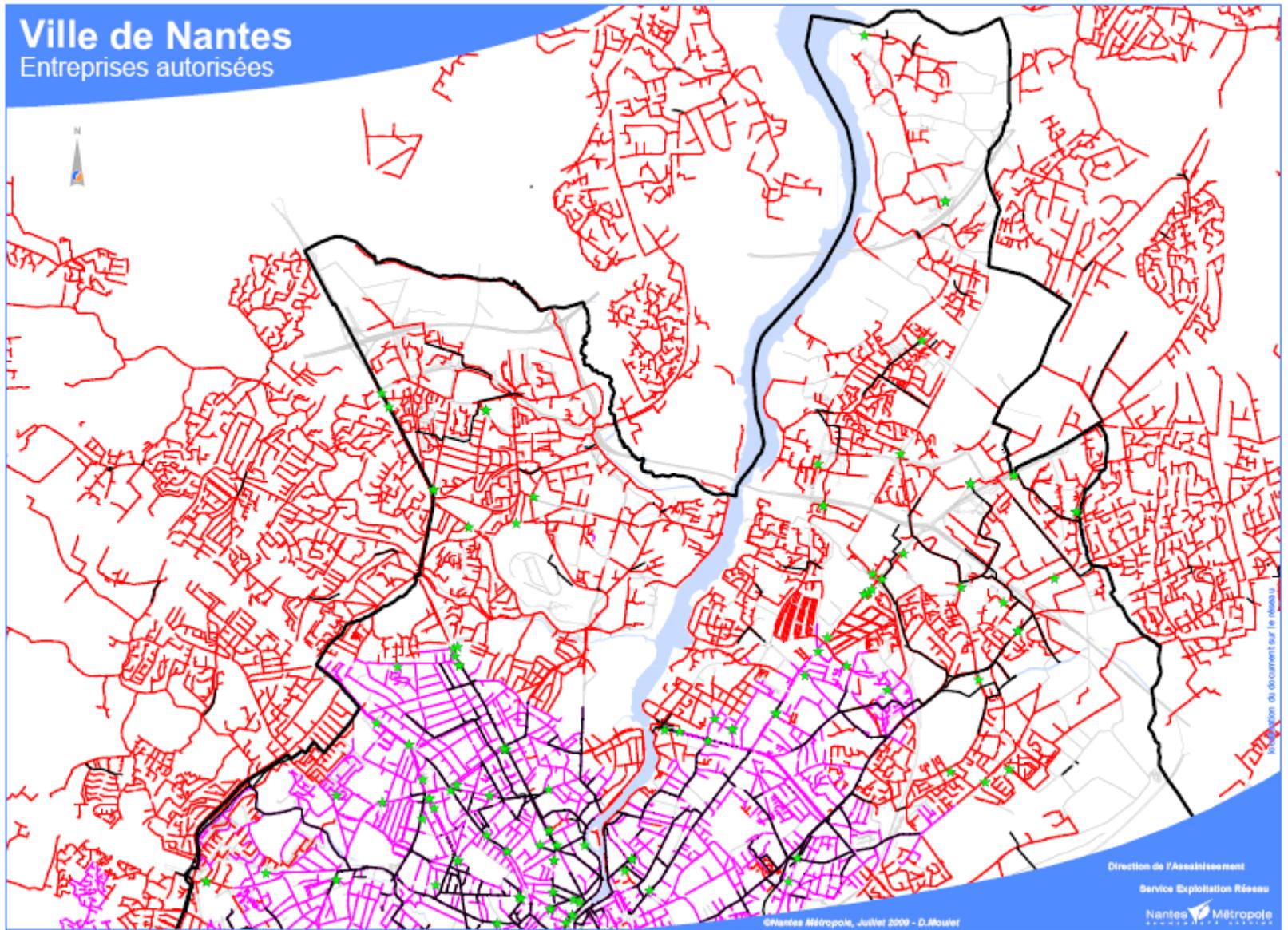
Annexe 20 : Exemples de cartographies des entreprises autorisées et conventionnées pour quelques villes appartenant à la communauté urbaine de Nantes Métropole

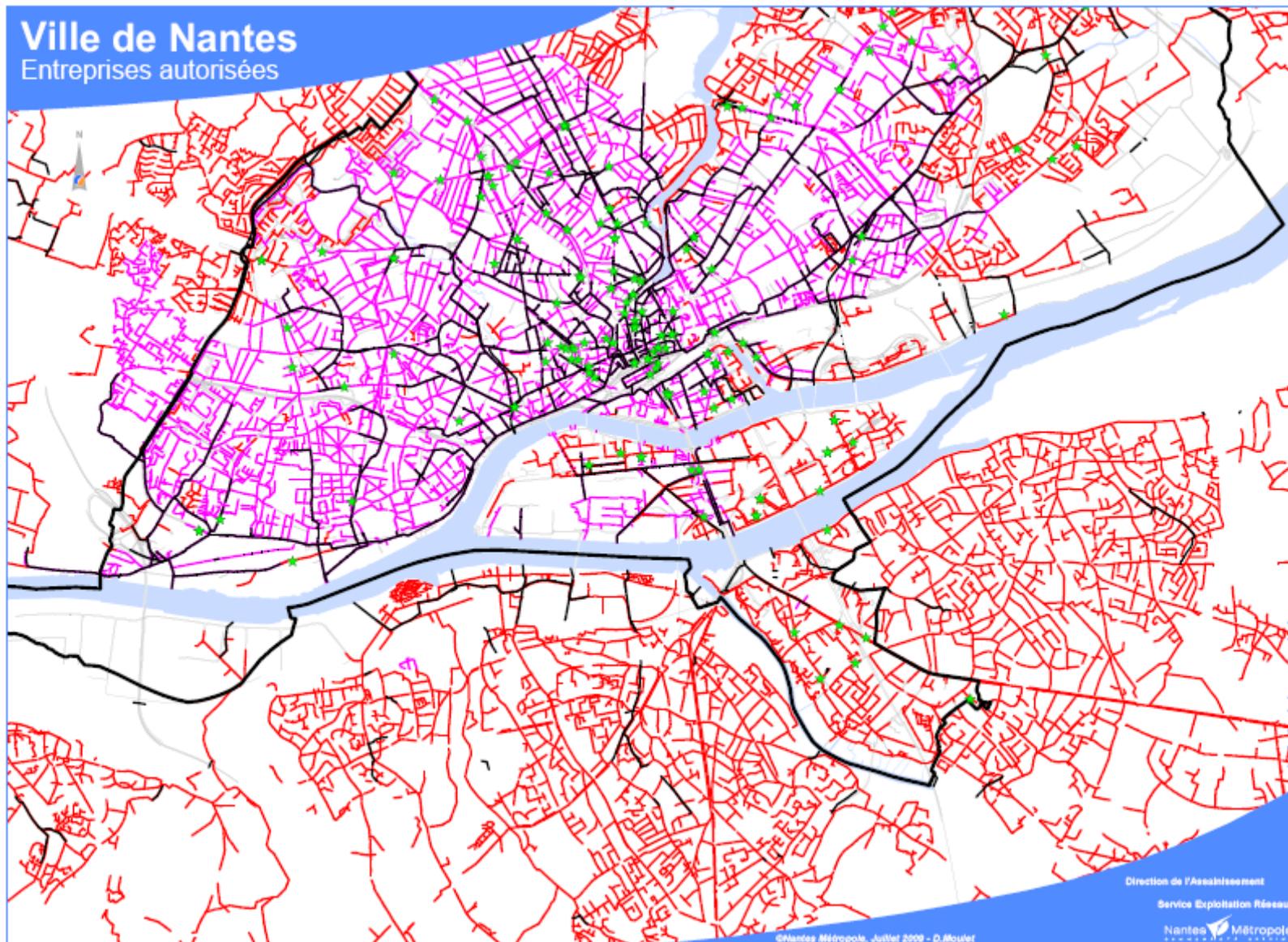
En rouge : réseau séparatif EU / en rose : réseau unitaire / en noir sur les cartes de la ville de Nantes : réseau visitable.

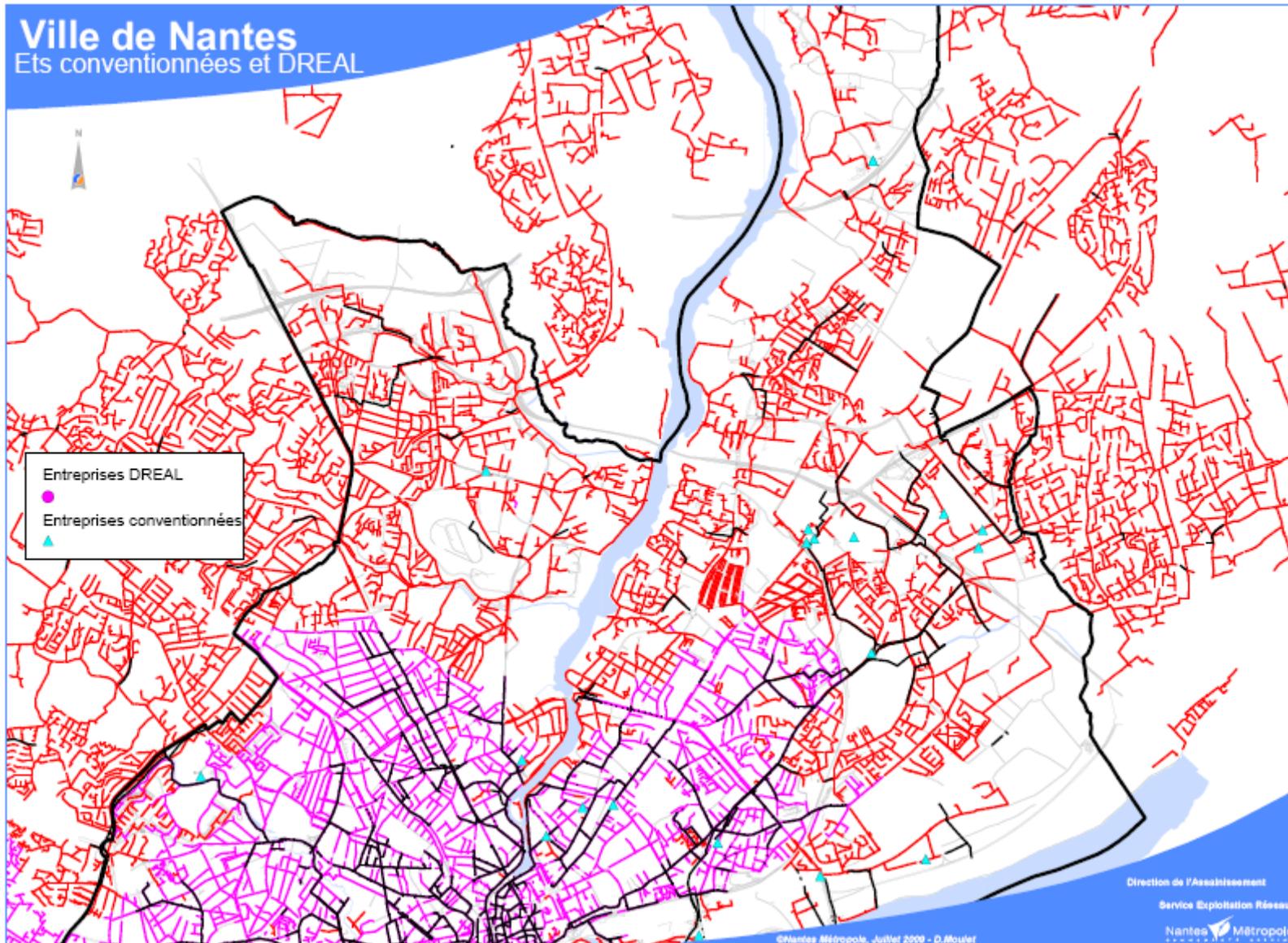


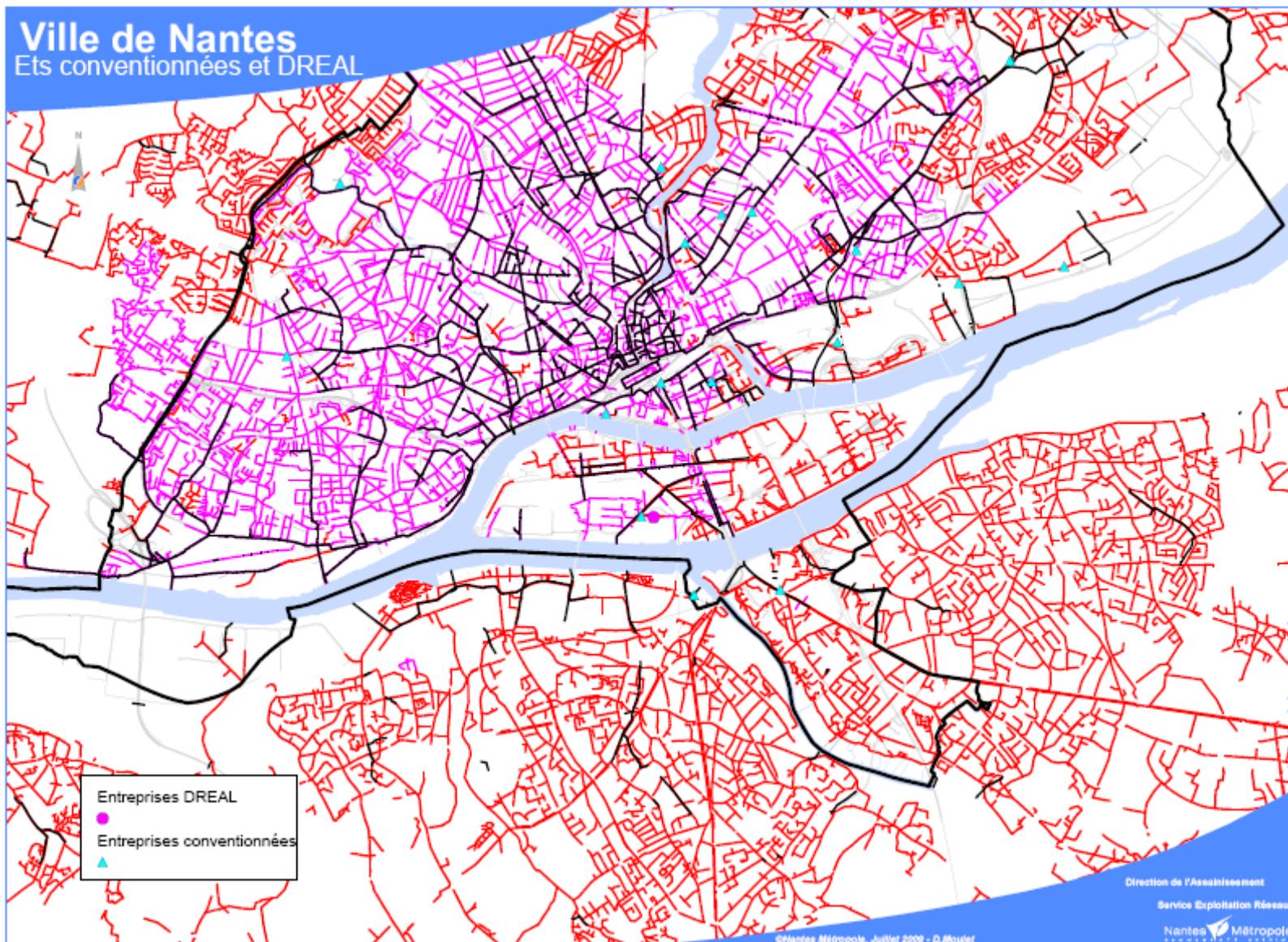
Ville de Couëron



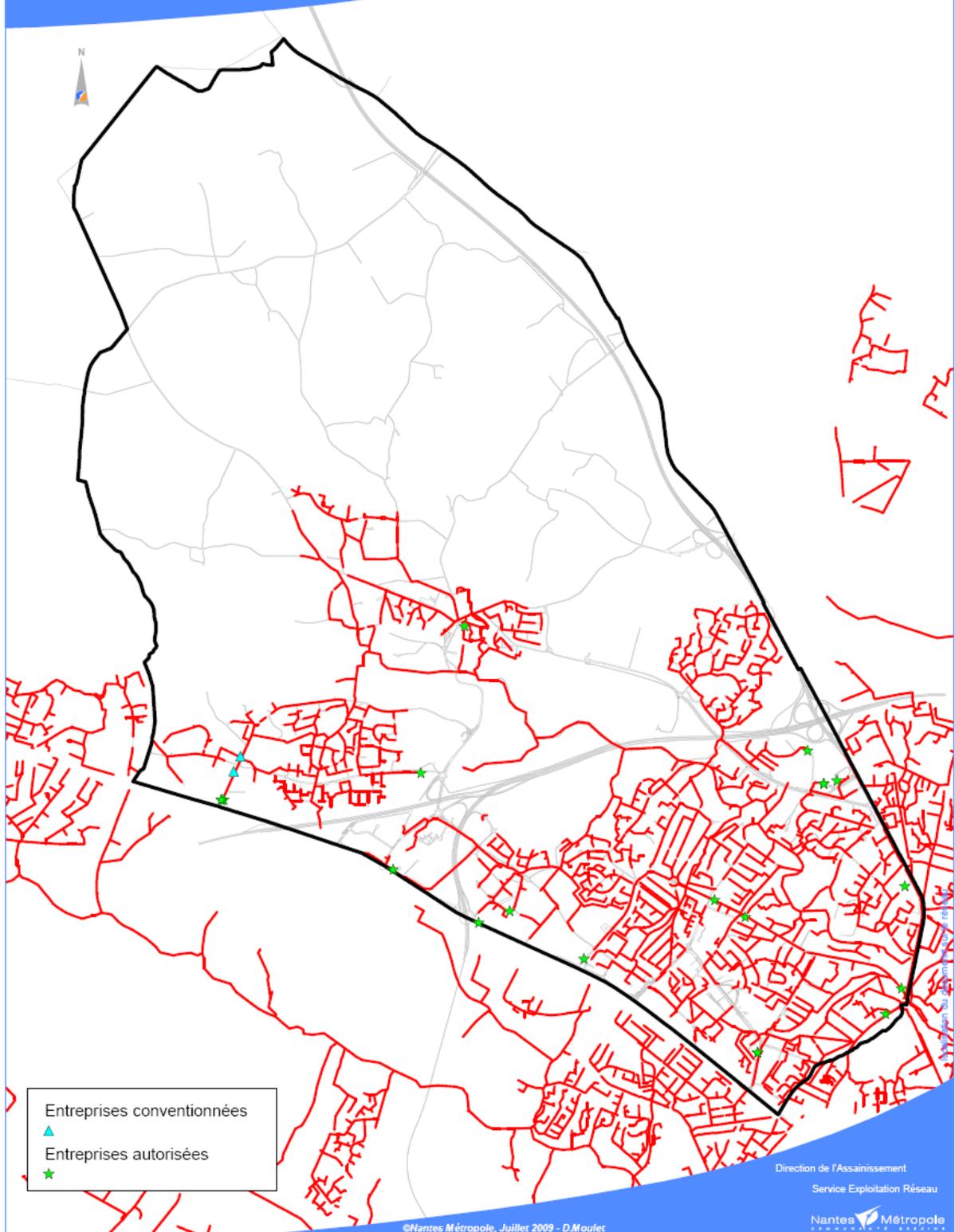




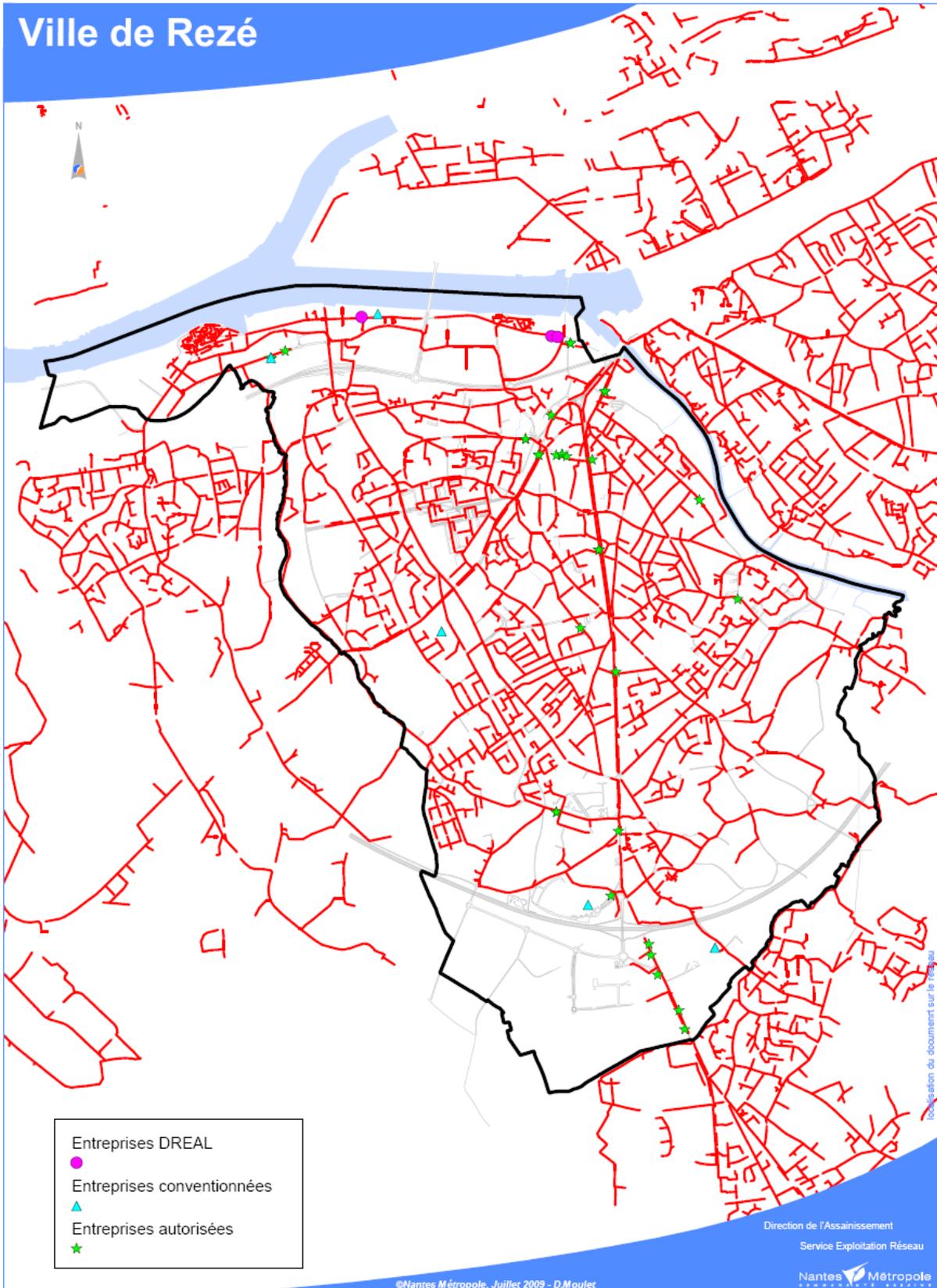


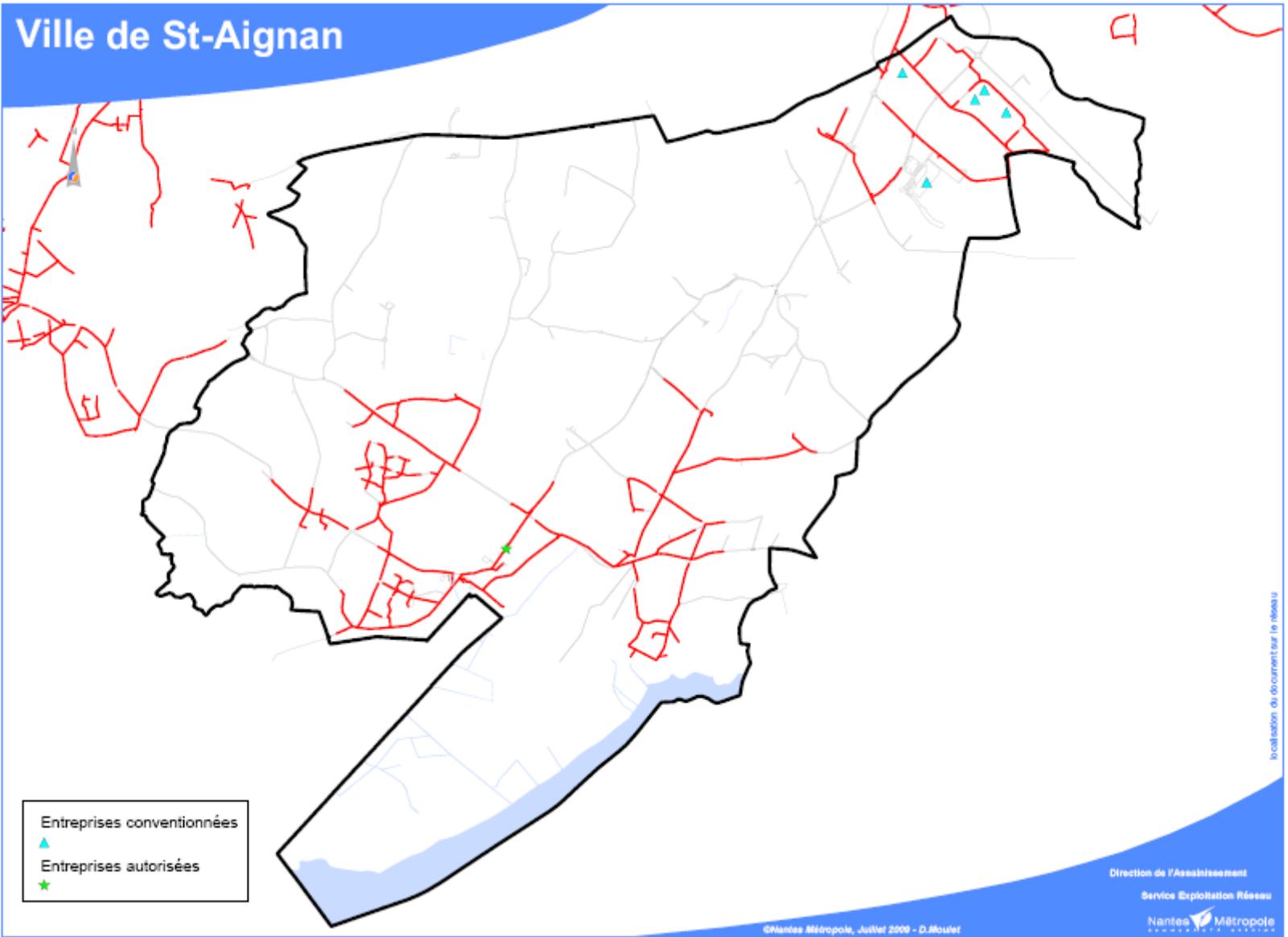


Ville d'Orvault

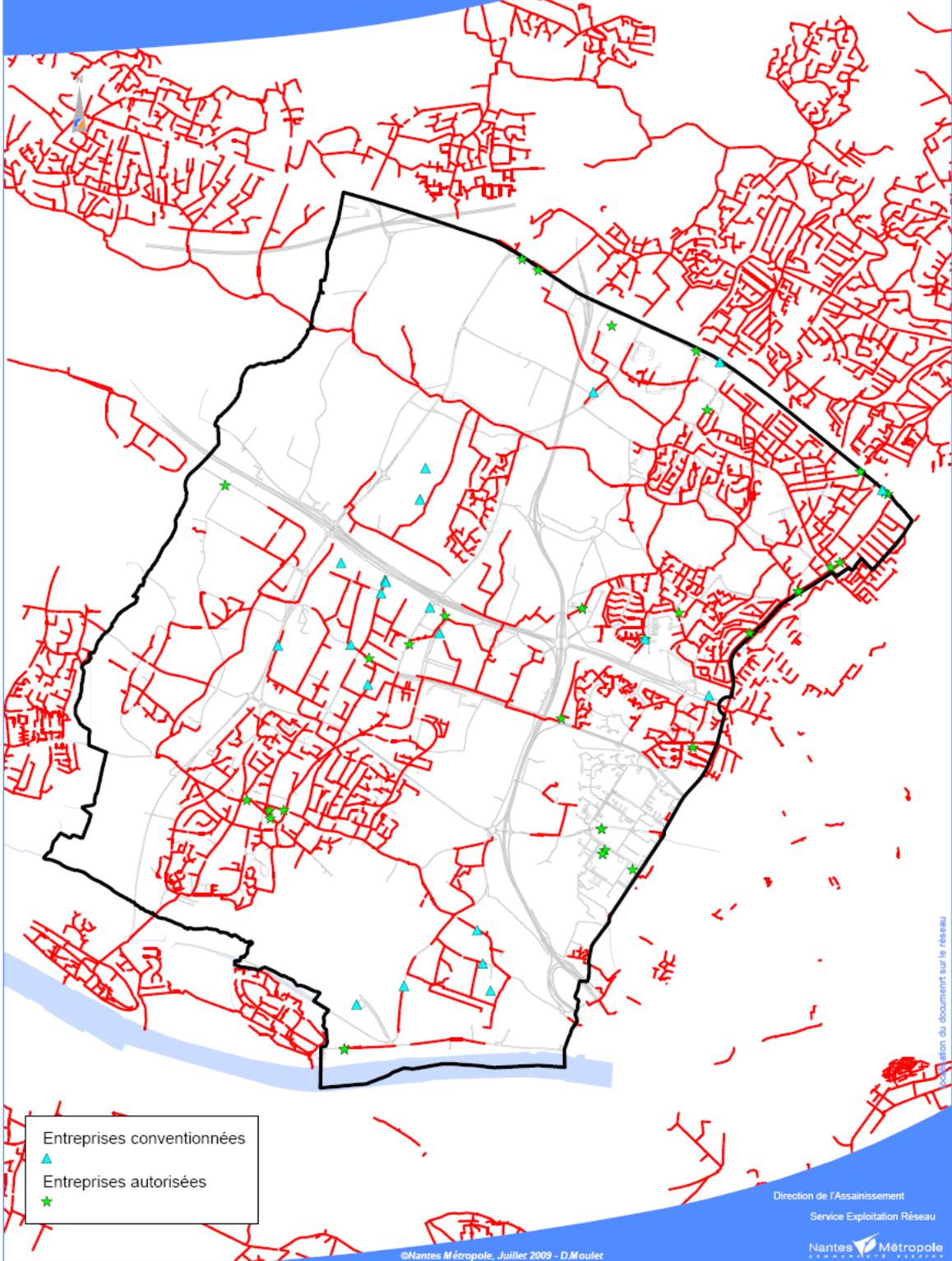


Ville de Rezé

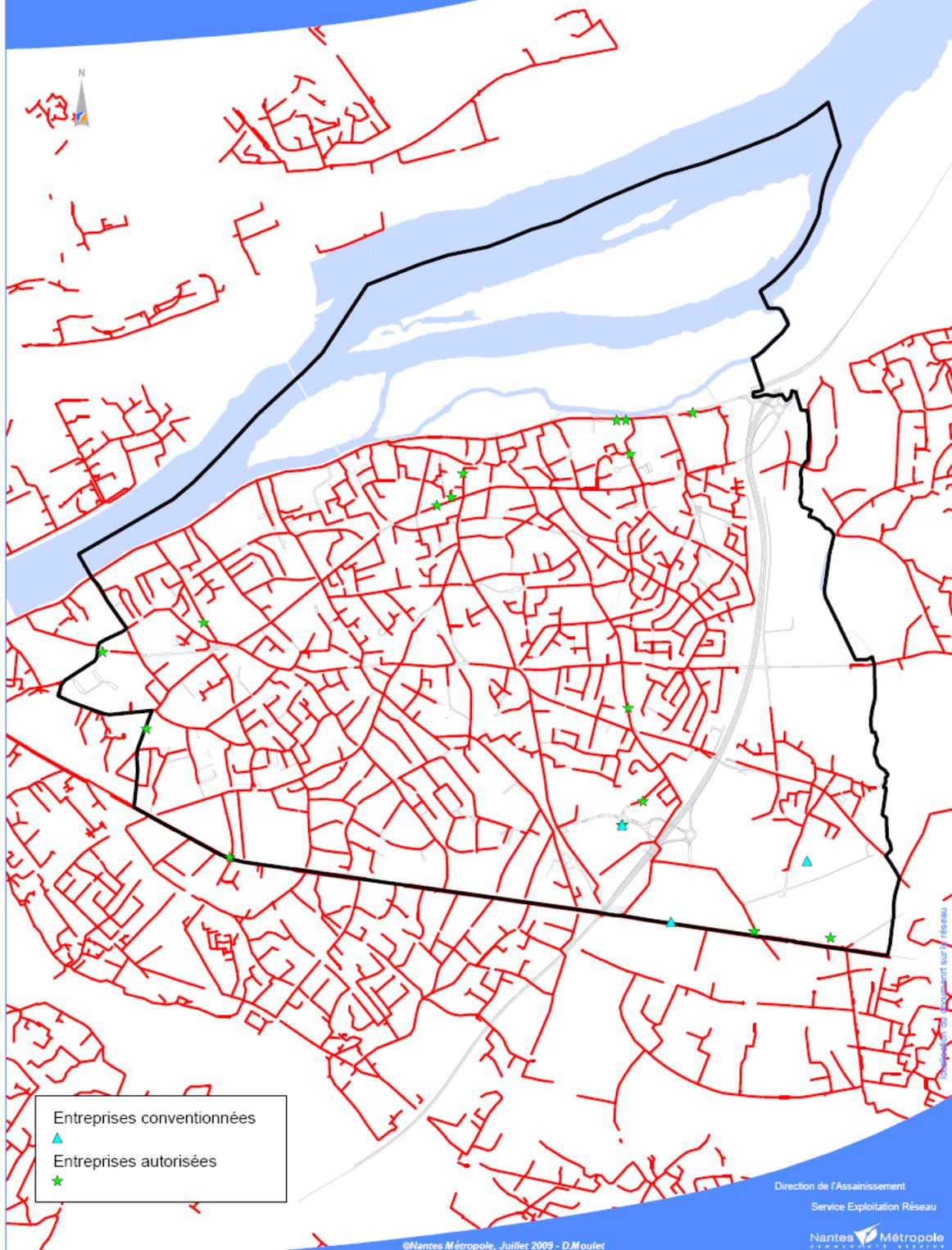




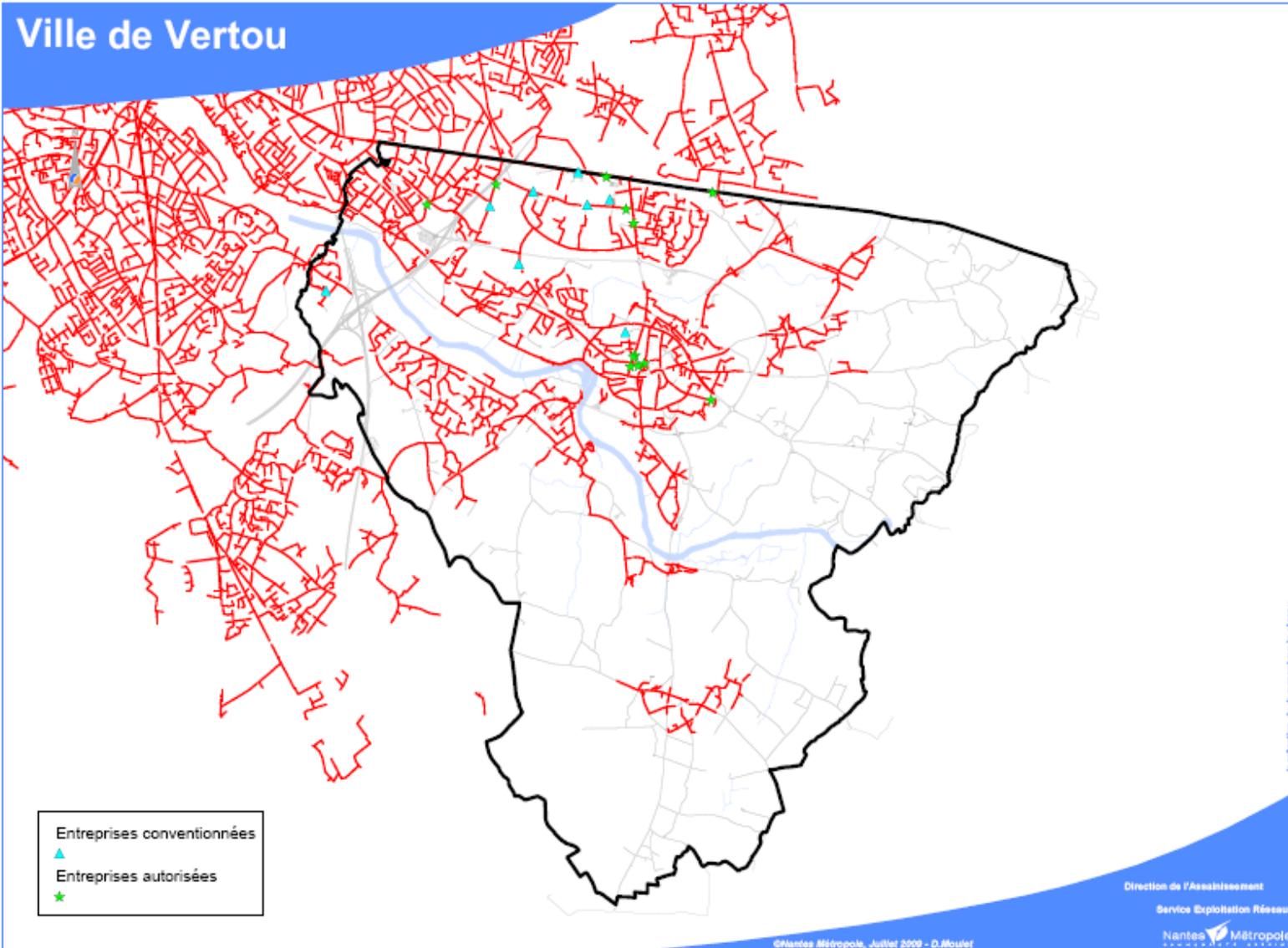
Ville de St-Herblain



Ville de St-Sébastien



Ville de Vertou



Annexe 21 : Les techniques de mesure d'aérosols

1. La méthodologie de l'échantillonnage

1.1. Les principes de base

Les principes de base de l'échantillonnage d'air ambiant, que ce soit pour des agents chimiques ou pour des agents biologiques, sont les suivants (DUQUENNE et al., 2005):

- Identifier clairement le contexte dans lequel les prélèvements doivent être effectués.
- Faire un choix entre un échantillonnage individuel ou à poste fixe.
- Déterminer les points de prélèvement après avoir identifié les sources potentielles de contamination.
- Réaliser des répliquâts afin de pouvoir éliminer les éventuelles valeurs aberrantes (et être le plus représentatif possible).

Afin d'effectuer des mesure d'air ambiant, il est nécessaire de prélever de grands volumes et de concentrer les germes sur un filtre ou de les absorber sur un support pour les extraire (BONNARD R., 2001). Le choix du volume d'air échantillonné sera déterminant puisqu'il conditionne la représentativité de l'échantillon et la limite de quantification de la méthode de mesurage. Un volume d'air trop faible risque de conduire à des dénombrements inférieurs à la limite de détection de la méthode d'analyse et, au contraire, un volume trop important peut aboutir à un échantillon saturé (DUQUENNE et al., 2005).

Afin de palier à cette limite, il peut être envisagé de procéder à des échantillonnages successifs avec des volumes d'air échantillonnés différents (100, 250 et 1000 litres, par exemple) ; ceci à chaque point de prélèvement (sachant qu'une partie des échantillons sera inexploitable) (DUQUENNE et al., 2005).

Il est toujours indispensable de réaliser des prélèvements qui serviront par la suite de référence. Ces derniers doivent être effectués dans une zone bien identifiée comme l'extérieur, par exemple, dans le cas de mesure dans les réseaux visitables d'assainissement.

Il faudra également tenir compte des spécificités liées à la manipulation de matériel biologique, telles que (DUQUENNE et al., 2005) et (BONNARD R., 2001) :

- l'application des protocoles et l'utilisation du matériel dans des conditions aseptiques,
- la prise en compte de la viabilité des agents biologiques lors du prélèvement,
- l'utilisation de substrats de collecte spécifiques pour l'échantillonnage,

- l'emploi de méthodes d'analyses spécifiques à l'étude des agents biologiques,
- les effets d'agglomérats de germes pouvant biaiser l'estimation du risque,
- le contrôle des expositions par des mesures répétées tout au long de l'année.

Le but principal de l'échantillonnage est d'avoir un échantillon représentatif du milieu d'étude.

1.2. Les appareils destinés à l'échantillonnage des aérosols microbiens

Ils font appel à trois principes fondamentaux : l'impaction, la filtration et « l'impingement ».

Tableau 1 : Les appareils destinés à l'échantillonnage des bioaérosols (DUQUENNE et al., 2005)

	Principe	Paramètres influençant l'efficacité d'échantillonnage
L'échantillonnage par impaction	L'air aspiré passe à travers une grille. Les particules viennent s'impacter sur un support de collecte (généralement un milieu de culture gélosé pour les bioaérosols) placé sur le trajet du flux d'air.	Le débit d'air échantillonné, les caractéristiques de la grille tels que le nombre, le diamètre et la répartition des orifices ; ainsi que la distance entre la grille et le support de collecte.
L'échantillonnage par filtration	Les particules de l'air sont séparées en les faisant passer à travers un média filtrant.	Pour l'efficacité du captage : la vitesse d'aspiration et le diamètre de l'orifice d'aspiration. Pour l'efficacité de collecte : la porosité et l'épaisseur du filtre, le diamètre des particules et la vitesse du flux d'air.
L'échantillonnage par « impingement »	Un contact va être provoqué entre le flux d'air et un liquide de collecte (généralement de l'eau ou une solution physiologique).	La vitesse d'aspiration et le diamètre de l'orifice d'aspiration.

1.1.3. Le transport des échantillons (DUQUENNE et al., 2005)

Le transport doit présenter des conditions permettant la préservation maximale des propriétés des échantillons. En effet, les conditions de transport vont conditionner l'évolution de la physiologie de la population microbienne au cours du temps.

Il faudra, entre autres, une température de transport suffisamment basse pour permettre de limiter le développement des microorganismes ; ceci sans provoquer leur détérioration. Par ailleurs, des mesures seront nécessaires pour éviter la contamination des échantillons.

En règle générale, un transport à l'abri de la lumière dans une enceinte réfrigérée à 4°C est adapté à des échantillons de bioaérosols.

2. Les techniques d'analyse des bioaérosols

L'analyse des échantillons est réalisée par les techniques classiques utilisées en microbiologie (culture sur milieu gélosé, biologie moléculaire, etc.).

En ce qui concerne les techniques d'analyse à proprement parler, elles sont nombreuses et diverses. Il existe des méthodes de culture, des méthodes microscopiques, des méthodes moléculaires ou encore des méthodes immunologiques (BONNARD R., 2001).

Tableau 2 : Les techniques d'analyse des bioaérosols (BONNARD R., 2001)

	Présentation	Avantages	Inconvénients
Les méthodes de culture	Culture des bactéries sur différents milieux solides ou liquides existant pour sélectionner les bactéries pathogènes. Culture des virus sur des cellules d'origine humaine.	Technique la plus courante pour l'analyse des bactéries. Seule technique capables de prouver le caractère infectieux d'un virus.	Méthode lente. Existence de microorganismes non-cultivables.
Les méthodes microscopiques	Observation microscopique directe, en utilisant des colorants ou en utilisant des anticorps marqués par des agents fluorescents. Le recours au microscope électronique est nécessaire pour les virus.	Méthode la plus employée pour les parasites. Comptage et identification rapide des microorganismes.	Spécificité des Ac pas toujours parfaite. Il n'existe pas d'Ac disponibles pour tous les germes pathogènes pour l'homme. Méthode ne permettant pas d'affirmer du caractère infectieux d'un virus et, de façon générale, du caractère viable des agents dénombrés.
Les méthodes moléculaires	Hybridation fluorescente in situ. PCR.	Rapidité et précision de l'identification.	La PCR est principalement une méthode qualitative. Impossibilité pour ces 2 méthodes de déterminer la viabilité des microorganismes.
Les méthodes immunologiques	Reposent sur l'association spécifique d'un antigène avec un anticorps (technique ELISA, par exemple).		Plus ou moins grande spécificité des Ac. Possibilité de liaisons non-spécifiques entre les Ac et les débris de l'échantillon.

D'autres méthodes existent également telles que :

- La chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse qui permet l'analyse de certains constituants de l'enveloppe des cellules (acides gras membranaires, ergostérol, acide muramique...) et des composés organiques volatils microbiens.
- La chromatographie liquide à haute performance qui fait partie des méthodes permettant de quantifier les mycotoxines (DUQUENNE et al., 2005).

3. L'interprétation des résultats

L'interprétation des résultats devra être effectuée avec précautions en raison des limites méthodologiques évoquées dans le paragraphe ci-après. Afin d'éviter un maximum d'erreurs, le support statistique doit être employé.

En effet, toutes les mesures d'évaluation de l'exposition comportent une certaine variabilité. Cette dernière dépend des fluctuations de la concentration dans le milieu de travail et des erreurs associées aux techniques d'échantillonnage et d'analyse. Les évaluations de l'exposition d'un travailleur ou d'un groupe de travailleurs sont par conséquent des valeurs expérimentales qui doivent être décrites en termes statistiques (IRSST, 2005).

Les erreurs rencontrées sont de deux types : les erreurs aléatoires et les erreurs systémiques.

A titre d'exemples d'erreurs aléatoires, peuvent être citées :

- la fluctuation dans le débit des pompes,
- certaines erreurs dans les méthodes analytiques,
- les fluctuations dans les concentrations des contaminants au cours de la même journée,
- les fluctuations des concentrations des contaminants d'une journée à l'autre.

En ce qui concerne les erreurs systémiques, elles peuvent être liées aux éléments suivants :

- l'étalonnage ou l'utilisation non adéquate des instruments,
- les erreurs dans l'enregistrement des résultats de mesures dues au dérèglement d'instruments,
- les baisses soudaines d'efficacité des équipements de ventilation,
- les changements dans les conditions ambiantes dues à des défauts ou des conditions d'opération différentes des conditions habituelles (IRSST, 2005).

4. Les limites associées aux mesures de bioaérosols

Il existe deux principaux problèmes pour la mesure des aérosols en routine :

- les méthodes de mesure ne sont pas totalement caractérisées et un effort de standardisation doit être réalisé,
- l'interprétation des résultats est rendue difficile par l'absence de valeurs de référence.

Afin de faciliter l'interprétation des résultats, il faut donc envisager des mesures comparatives (air intérieur-air extérieur) (DUQUENNE et al., 2005).

Par ailleurs, l'occurrence et la concentration des microorganismes sont variables dans l'espace et dans le temps. De plus, les sources de contamination peuvent être variables.

La recherche des germes pathogènes s'avère souvent longue, coûteuse et peu adaptée. En effet, ces derniers sont souvent en concentration très faible par rapport à l'ensemble de la flore présente. De plus, ils sont souvent difficilement cultivables. Par conséquent, leur mise en évidence et leur dénombrement peuvent être difficiles, peu significatifs et peu reproductibles. Il faut noter qu'il est souvent plus adapté, dans le domaine sanitaire, de rechercher des germes indicateurs, dont la mesure est mieux maîtrisée (BONNARD R., 2001).

En ce qui concerne les relations doses-réponses, le nombre de germes pour lesquels une équation mathématique décrivant une relation dose-réponse a été décrite est relativement faible. Aucune base de données n'existe sur les relations dose-effet, comme celles existant pour les substances chimiques.

Ceci explique, qu'en France, il n'existe pas de valeurs limites réglementaires d'exposition professionnelle à des agents biologiques (BONNARD R., 2001).

5. Le cas particulier de la mesure des endotoxines

A l'heure actuelle, il n'existe ni VLEP, ni VME pour les endotoxines en milieu professionnel. Il faut cependant noter que la valeur de 200 unités d'endotoxines/m³ (UE/m³) est adoptée aux Pays-Bas et est régulièrement évoquée dans la littérature (INRS, 2005).

Néanmoins, la Commission Internationale de Santé au Travail (ICOH) a fixé un niveau sans risque au dessous de 100 UE/m³. De son côté, l'ACGIH considère qu'il n'existe pas suffisamment de données à l'heure actuelle pour proposer des valeurs limites d'exposition aux endotoxines. Il faut noter, qu'au Canada et aux Pays-Bas, des valeurs-guides comprises entre 50 et 300 UE/m³ sont recommandées (DELERY L., 2007).

Afin de réaliser l'échantillonnage et le dosage d'endotoxines, il existe une norme NF EN 14031 de mai 2003 relative à la détermination des endotoxines en suspension dans l'air. Elle ne standardise cependant que la méthode d'analyse et non l'échantillonnage des prélèvements. Cette norme recommande l'utilisation d'un échantillonnage individuel, l'échantillonnage de zone (fixe) étant réservé à l'identification des sources d'exposition (DELERY L., 2007).

Le principe repose sur l'échantillonnage de l'air par filtration sur filtres en fibres de verre (à l'aide de cassettes porte-filtre). L'extraction des endotoxines se fait à partir des filtres par agitation dans de l'eau purifiée stérile et apyrogène. Le dosage des endotoxines dans les extraits est effectué par la méthode au lysat d'amœbocytes de limules (LAL).