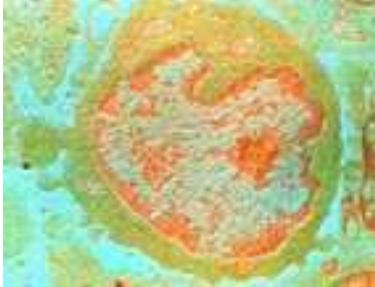


vigicell

santé & environnement



Villejuif Biopark
Rue Guy Môquet
94800 VILLEJUIF
Tél: 09.72.29.42.03
Fax : 09.72.29.59.66
vigicell@vigicell.fr
<http://www.vigicell.fr>

*Laboratoire privé
agrégé crédit d'impôt recherche*

SIAAP
Service public de l'assainissement francilien

Rapport d'étude

Identification, quantification et interprétation des risques sanitaires liés aux bioaérosols en ambiance de travail et dans l'environnement de la station d'épuration de seine aval

8 février 2012

Pilote, Responsable SIAAP : Fatima YADANI, Responsable adjointe du Service Sécurité-Conditions de travail-Santé

Responsables Projet VigiCell : Laurent PAULIC, Chargé de Développement, **Anthony MARCONI**, Chargé de Recherche

Référence client: MAPA 2010-10130

Référence interne VigiCell: RE-SIAAP-1007c

Lauréat du 1er concours de création d'entreprises innovantes du Ministère de la Recherche et de la Technologie

SAS au capital de 360 572€ - siège : 13, rue Pasteur 94 800 Villejuif - RCS Créteil B 423 354 448

*Confidential document**Copyright VigiCell*

Table des Matières

1	ACRONYMES ET ABREVIATIONS	4
2	RESUME DE L'ETUDE	4
3	CONTEXTE ET OBJECTIFS	5
3.1	CONTEXTE DE LA STATION SEINE AVAL ET DE L'ETUDE.....	5
3.2	OBJECTIFS DE L'ETUDE	6
4	METHODOLOGIE ET MOYENS	7
4.1	BIBLIOGRAPHIE INTRODUCTIVE DES AEROBIOCONTAMINANTS SUIVIS	7
4.1.1	<i>Exposition des salariés.....</i>	<i>7</i>
4.1.2	<i>Exposition des riverains.....</i>	<i>10</i>
4.1.3	<i>Effets relevés chez les salariés.....</i>	<i>10</i>
4.2	PARAMETRES SUIVIS.....	11
4.2.1	<i>Paramètres bioaérosols.....</i>	<i>11</i>
4.2.2	<i>Paramètres météorologiques</i>	<i>12</i>
4.3	ECHANTILLONNAGE	13
4.3.1	<i>Stratégie d'échantillonnage</i>	<i>13</i>
4.3.2	<i>Biocollection sur milieu liquide.....</i>	<i>14</i>
4.3.3	<i>Biocollection sur milieu solide.....</i>	<i>15</i>
4.3.4	<i>Mesure des espèces biologiques.....</i>	<i>16</i>
4.3.5	<i>Particules.....</i>	<i>21</i>
4.4	REFERENCES BIOAEROSOLS	21
4.5	VALEURS LIMITES D'EXPOSITION.....	23
4.6	VARIABILITE EN OUVRAGES D'ASSAINISSEMENTS	24
4.7	ASPECTS SANITAIRES.....	25
4.8	PARTICULARITES DU SITE SEINE-AVAL.....	25
5	ETUDE PRELIMINAIRE	26
5.1	VALIDATION DES SITES DE MESURE	26
5.1.1	<i>Détermination des sites de mesure dans la station Seine-Aval</i>	<i>26</i>
5.1.2	<i>Détermination des sites de mesure pour les points relatifs à la dispersion</i>	<i>30</i>
5.1.3	<i>Détermination des sites de mesure au niveau des riverains.....</i>	<i>31</i>
5.2	ETUDE DES PARAMETRES D'IMPACTION ET DE LA VARIABILITE.....	33
5.2.1	<i>Mesures.....</i>	<i>33</i>
5.2.2	<i>Optimisation du protocole</i>	<i>35</i>
5.2.3	<i>Variabilité.....</i>	<i>36</i>
5.2.4	<i>Climatologie</i>	<i>36</i>
6	AEROBIOCONTAMINATION : SYNTHESE GLOBALE	36
7	ETUDE EXPOSITION PROFESSIONNELLE.....	39
7.1	CAMPAGNE 1	39
7.1.1	<i>Climatologie</i>	<i>39</i>
7.1.2	<i>Microbiologie</i>	<i>40</i>

7.1.3	<i>Particules</i>	44
7.2	CAMPAGNE 2.....	45
7.2.1	<i>Climatologie</i>	45
7.2.2	<i>Microbiologie</i>	45
7.2.3	<i>Particules</i>	54
7.3	CONCLUSION EXPOSITION PROFESSIONNELLE.....	55
8	DISSEMINATION	56
8.1	CAMPAGNE 1.....	56
8.1.1	<i>Points d'investigation</i>	56
8.1.2	<i>Climatologie</i>	57
8.1.3	<i>Microbiologie</i>	58
8.1.4	<i>Particules et modélisation des odeurs</i>	61
8.2	CAMPAGNE 2.....	64
8.2.1	<i>Points d'investigation</i>	64
8.2.2	<i>Climatologie</i>	64
8.2.3	<i>Microbiologie</i>	65
8.2.4	<i>Particules et modélisation des odeurs</i>	68
8.3	CONCLUSION DISSEMINATION.....	71
9	EXPOSITION RIVERAINS	73
9.1	CAMPAGNE 1.....	73
9.1.1	<i>Climatologie</i>	73
9.1.2	<i>Microbiologie</i>	74
9.1.3	<i>Particules</i>	78
9.2	CAMPAGNE 2.....	79
9.2.1	<i>Climatologie</i>	79
9.2.2	<i>Microbiologie</i>	80
9.2.3	<i>Particules</i>	84
9.3	CONCLUSION EXPOSITION RIVERAINS.....	85
10	ETUDE DE RISQUE SUR LE PARAMETRE ENDOTOXINE	85
10.1	VALEURS SELECTIONNEES.....	86
10.2	RESULTATS.....	87
10.2.1	<i>Professionnels</i>	87
10.2.2	<i>Dissémination</i>	87
10.2.3	<i>Riverains</i>	88
11	CONCLUSION GENERALE	88
12	BIBLIOGRAPHIE	89

1 Acronymes et Abréviations

- ASTEE : Association Scientifique et Technique pour l'Eau et l'Environnement
- BGN : Bactéries à Gram Négatif
- CA : Catherine Arfi
- CFU : Colony Forming Units (=UFC)
- DCE : Directive Cadre Eau
- DERU : Directive Eaux Résiduaire Urbaines
- EPI : Equipements de Protection Individuelle
- HPA : Health Protection Agency
- LERES : Laboratoire d'Etude et de Recherche en Environnement et Santé
- LHVP : Laboratoire d'Hygiène de la Ville de Paris
- NOAEL : De l'anglais « no observable adverse effect level » = Dose sans effet toxique observable
- OEL : De l'anglais «Occupational Exposure Limits» = Valeurs limites d'exposition professionnelle
- PCR : Polymerase Chain Reaction
- RCMA : Reach Chemical Management Associates
- SIAAP : Syndicat Interdépartemental pour l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne
- SYPROS : SYstème de PRévision des Odeurs du SIAAP
- UE : Unités Européennes
- UFC : Unité Formant des Colonies (=CFU)
- UPBD : Usine de Production des Boues Déshydratées
- UPEI : Usine de Production des Eaux et Irrigation
- UPT : Usine de Prétraitement
- VLA : Valeur limite admissible

2 Résumé de l'étude

Cette investigation s'inscrit dans le contexte plus global de la refonte de la station d'épuration « Seine Aval » régie par le SIAAP. Dans ce cadre, le SIAAP et les instances compétentes ont souhaité obtenir des données opérationnelles sur l'aérobiocontamination au niveau des postes de travail de la station mais aussi aux alentours, tant dans le milieu naturel que dans des agglomérations environnantes. Ces sites ont été choisis dans l'optique de réaliser, lorsque possible, une évaluation du risque sanitaire ou tout du moins une cartographie de la typologie des sources d'aérobiocontamination.

Ce travail a mis en œuvre une démarche scientifique opérationnelle établie consistant à produire des observations à triples niveaux :

- source possible de contamination (au niveau micro- postes de travail et au niveau macro- l'intégralité de l'ouvrage lui-même),

- modes possibles et/ou constats avérés de dissémination de ces dernières (éventuellement empiriquement, menant au choix final des postes étudiés),
- Présence de populations cibles.

Plus précisément ont été suivis simultanément:

- 21 paramètres biologiques, allant de la présence générale ou ciblée de microorganismes divers (bactéries, levures, moisissures) ou de toxines (endotoxines, glucanes),
- les données d'empoussièrement (3 classes allant jusqu'à PM10),
- les données de climatologie (hygrométrie, température, vitesse et direction du vent)

Tout ceci au long de 2 campagnes espacées de plusieurs mois (afin de pouvoir observer/normaliser d'éventuelles modifications saisonnières naturelles ou anthropiques) précédées d'une précampagne de mise au point/qualification.

Chacune de ces deux campagnes a été subdivisée en 3 séries d'investigations, ciblant respectivement des postes professionnels estimés comme sensibles après concertation, divers points échantillonnés dans l'environnement de la station et enfin les population riveraines des agglomérations voisines. 12 points de mesure ont été systématiquement réalisés pour chaque investigation.

Après analyse du corpus de données produites au cours de ce travail, il a été possible de mettre en évidence de possibles sources de contamination au niveau de postes bien définis de la station, qu'il conviendrait d'étudier éventuellement plus précisément. De même, bien qu'en marge de ce travail, il est apparu qu'une école maternelle pouvait être impactée par une source très locale de contamination due à de mauvaises pratiques sanitaires de commerces environnants.

Quoi qu'il en soit, la conclusion principale de cette étude reste, au moins selon les données qui ont pu être produites, que le site Seine Aval ne peut être considéré comme un émetteur significatif d'aérobiocontamination, et donc qu'aucune exposition détectable des populations alentours ne paraît lui être associée sur cette base.

3 Contexte et objectifs

3.1 Contexte de la station Seine aval et de l'étude

La station d'épuration des eaux « Seine Aval », régie par le Syndicat Interdépartemental pour l'assainissement de l'agglomération Parisienne (« SIAAP »), est la plus importante d'Europe en sus d'être la plus ancienne d'Ile de France (1940).

Elle est actuellement constituée de trois unités fonctionnelles majeures : une unité de prétraitement, l'Usine de Production des Boues Déshydratées (UPBD) et l'Usine de Production des Eaux et Irrigation (UPEI). D'une capacité de 1,8 millions m³ par jour, elle dessert un tissu urbain complexe de 6 millions d'habitants et s'étend sur 350 hectares : son maintien au niveau opérationnel le plus élevé est donc un enjeu stratégique en termes sanitaires et économiques, sans sacrifier pour autant à son intégration optimale dans son environnement.

Ainsi, depuis plusieurs années une réflexion conjointe des pouvoirs publics et du SIAAP porte sur la refonte complète de cette station afin d'en faire un exemple d'écologie industrielle.

Les exigences de cette refonte massive passent par:

- Une meilleure intégration du site dans son environnement naturel et global, spécialement en termes de satisfaction des attentes des riverains sur les questions de nuisances olfactives ou préoccupations sanitaires,
- Les perspectives de respect des normes édictées dans la Directive Cadre Eau Européenne (DCE),
- La mise en conformité avec la Directive Eaux Résiduaires Urbaines (DERU),
- La réduction de la pénibilité des conditions de travail et l'amélioration de l'ergonomie,
- La maîtrise des coûts de fonctionnement et la pérennisation de ces investissements sans concession au niveau des performances opérationnelles.

Au final, tout en améliorant ses capacités de production et son intégration dans la vie de la localité, la station Seine-Aval pourra occuper jusqu'à 40% de surface au sol en moins, libérant 295 ha à l'ouest, rendus à la Ville de Paris.

Après maintes concertations entre le SIAAP, les élus, les associations et les particuliers, le schéma directeur de la refonte fut entériné, comprenant entre autre comme pièce majeure une étude de risque globale, elle-même composée de divers pans d'investigation concernant une gamme de secteurs aussi larges que biodiversité, eau, air, boues, sol, énergie, bruits, risques, valorisation et cadre de vie.

A titre d'exemple, l'étude d'impact global refonte sous les auspices de la ARS, la DRIRE et la DRIEE-UT eau, s'est attachée à dresser un état des lieux à fin d'action sur l'emprise du projet, la situation géographique, la géologie (risques liés au sol et sous sol, richesses naturelles, qualité des sols), l'hydrogéologie (caractéristiques, qualité de la ressource, SDAGE, usages), les eaux superficielles (PPRI, qualité, usages), la qualité de l'air, les nuisances olfactives et sonores, la santé publique (agents physiques ou microbiologiques). L'ARS des Yvelines a quant à elle présidé plus en détail sur le contenu effectif de l'étude sanitaire rattachée au projet de refonte, notamment en termes de pollution microbiologique.

En outre, le SIAAP lui-même est commanditaire et/ou réalisateur d'études s'inscrivant directement au sein de ces préoccupations comme par exemple :

- une étude sur l'exposition aux risques bactériologiques et chimiques des travailleurs de la station d'épuration couverte de Colombes (à la compacité particulière) (Paffoni & Dubois)
- une étude des plaintes liées aux odeurs à l'encontre de la station Seine-Aval et leur lien avec une éventuelle sensibilité et la description d'effets sanitaires subjectifs (F. DAL-PAN 2005)
- que compléta une étude plus poussée sur les perceptions des nuisances, en particulier olfactives, par les riverains de la station. (SEPIA & CAREPS 2001)

3.2 Objectifs de l'étude

Le présent document est ainsi d'une étude, réalisée suite à un appel d'offre émis par le SIAAP, centrée plus spécifiquement sur l'identification, la quantification et l'interprétation des risques sanitaires liés aux bioaérosols en ambiance de travail et dans l'environnement de la station d'épuration Seine-Aval.

Ces travaux ont été réalisés en trois étapes :

- une pré-étude de détermination et d'optimisation des paramètres expérimentaux (sélection des postes de travail à investiguer sur des bases d'expositions présumées dans l'usine, affinage des paramètres des échantillonnages, calage de la logistique, etc.),
- deux études, à deux périodes saisonnières différentes, en Octobre/Novembre 2010 et Mars 2011, ayant reçu les dénominations fonctionnelles de « campagne 1 » et « campagne 2 » et qui ont porté sur des mesures et prélèvements de bioaérosols et de données ambiantes/météorologiques non seulement au niveau des postes de travail précédemment validés mais aussi au niveau de l'environnement plus large de la station, jusqu'aux riverains résidant dans des agglomérations voisines.

L'objectif principal de cette investigation, reposant sur une démarche scientifique opérationnelle établie, consiste à produire des données opérationnelles sur l'aérobiocontamination au niveau des postes de travail de la station Seine-Aval mais aussi aux alentours, tant dans le milieu naturel que dans des agglomérations environnantes choisies dans l'optique de réaliser une évaluation du risque sanitaire ou tout du moins une cartographie de la typologie des sources d'aérobiocontamination.

4 Méthodologie et moyens

4.1 Bibliographie introductive des aérobioccontaminants suivis

Les bioaérosols sont des particules solides ou liquides en suspension dans l'air, constituées de microorganismes vivants ou morts ou d'agents biologiques issus de leur métabolisme ou de leur dégradation [American Conference of Industrial Hygienists, 1999].

Le risque microbiologique est actuellement mis en avant et est en cours d'exploration pour les procédés industriels émetteurs de bioaérosols, notamment le traitement des déchets. Comme tous les risques, il est abordé sous l'angle de l'exposition (des salariés, des riverains,..) et du danger c'est à dire des effets sur la santé. En terme d'exposition les microorganismes, dont certains sont pathogènes, sont naturellement présents dans les milieux environnementaux (air, eaux, sols, organismes humain ou animaux etc.) et leur développement est favorisé par des conditions particulières de température, d'humidité, de nutriments.

Différentes voies d'exposition à ces bioaérosols peuvent s'envisager :

- Cutanée : après dépôt des aérosols sur la peau le passage transcutané semble faible,
- Respiratoire : par inhalation puis dépôt à travers les voies respiratoires supérieures (fosses nasales, carrefour pharyngé) ; puis inférieures jusqu'aux alvéoles pulmonaires en fonction du diamètre aérodynamique des aérosols
- Par Ingestion : après dépôt des aérosols sur la peau puis par contact mains-bouche et ingestion ou par déglutition des particules initialement déposées dans les voies respiratoires supérieures.

L'étude qui nous occupe concerne aussi bien les salariés que les riverains. Si une certaine bibliographie existe pour les salariés on peut regretter que celle concernant les riverains soit plus rare.

4.1.1 Exposition des salariés

Des études récentes ont eu pour objectif d'évaluer l'exposition aux bioaérosols des salariés. La seule étude française répertoriée concernait les salariés du compostage (dont de boues de STEP); une dizaine d'études d'exposition des salariés de STEP menées à l'international, ont été publiées.

- Dans une étude récente [Schlosser O et al, 2009], menée en France, au Royaume Uni et en Espagne, sur 6 sites de compostage de déchets (dont 4 de boues de STEP), O Schlosser et al, ont mesuré des concentrations de bioaérosols à l'aide des préleveurs CIP10 M fixes ou portés par les opérateurs. Le CIP 10 M est un appareil en cours d'évaluation, y compris par l'INRS, pour la mesure de l'exposition individuelle aux bioaérosols dans les métiers des déchets (Garner P, 2005). Poussières, endotoxines, bactéries mésophiles, BGN, moisissures mésophiles, *Aspergillus fumigatus* et Actinomycètes ont été mesurés en duplicata pour les points fixes, à différents stades de maturation du compost. La distribution des particules suivait une distribution log-normale, plutôt qu'une distribution normale. Les données ont été transformées en log10 avant l'analyse statistique. Les statistiques descriptives utilisées étaient : la moyenne géométrique, la déviation standard géométrique et les Min-Max. Les tests statistiques : Student's t-test, Z-test et ANOVA unilatérale pour comparer les moyennes et Spearman et Pearson pour tester la corrélation. 173 prélèvements ont été réalisés (dont 32 fixes en été et 36 en hiver). 5 à 6 points fixes ont été prélevés en duplicata sur chaque site et un autre à la limite extérieure du site. Les résultats des prélèvements fixes ont montré une amplitude variation de 4 ou 5 unité log, en été ou en hiver. Les concentrations maximales de poussières ont atteint 226 mg/m³ (été), et 27.2 mg/m³ (hiver); celles d'endotoxines 1.5.10⁶ EU/m³; plus de 10⁹ CFU/m³ pour les bactéries mésophiles, 10⁸ CFU/m³ pour les BGN, 10⁸ CFU/m³ pour les moisissures mésophiles, 10⁷ CFU/m³ pour l'*Aspergillus fumigatus*, et 10⁸ CFU/m³ pour les actinomycètes. Les niveaux mesurés à l'intérieur du site étaient 100 à 1000 fois plus élevés qu'à l'extérieur du site. Les tâches les plus exposées étaient la maintenance et le nettoyage.
- Dans une étude finlandaise, publiée en 2009, Heinonen-Tanski H et al ont réalisé des prélèvements de bioaérosols de Coliphages et de bactéries au sein de 7 STEP, à l'aide d'un préleveur Andersen à 6 étages ou d'un Biosampler impinger en phase liquide, en fonction des germes. Des duplicatas ont été réalisés en fonction des germes au cours de 4 campagnes de prélèvements échelonnés sur 9 mois. Des prélèvements ont été réalisés pendant les activités de nettoyage au jet. A l'extérieur les prélèvements ont toujours été réalisés sous le vent. Ont été mesurés : coliformes fécaux, entérocoques, Salmonelles, coliphages, bactéries totales cultivables. Les résultats ont été présentés sous forme log-normale et des moyennes géométriques ont été calculées. Le nombre d'échantillons par résultat variait entre 2 et 9 (ex : Bactéries totales cultivables = 18.6 10³ CFU/m³, 3.-68.2 avec 8 échantillons. En fonction de la distribution normale ou pas des résultats, des tests statistiques paramétrique (ex : t-test) ou non paramétriques (Kruskal-Wallis) ont été utilisés. Les résultats inférieurs à la limite de quantification ont été figurés comme la moitié de la limite de quantification. Les niveaux les plus élevés étaient observés pour les zones où le process faisait intervenir une agitation mécanique ou un bullage des eaux usées, notamment le pré-traitement. Aucune présence de Salmonelle n'a été mise en évidence.
- Une étude grecque, publiée en 2007, par Karra S, comprenait des prélèvements estivaux (température entre 25-31°C et rayonnement solaire entre 520-840 W/m²), réalisés par Sampl'Air, à chaque process d'une même STEP. Les méthodes culturales portaient sur les bactéries mésophiles hétérotrophiques; des indicateurs de contamination fécale (coliformes fécaux et totaux, et entérocoques) et des champignons. Les niveaux de concentrations en microorganismes les plus élevés ont relevé au niveau du pré-traitement (et particulièrement au process de dessablage). Une diminution progressive des émissions de bioaérosols ont été observées tout au long des différents procédés de la

STEP (traitements primaire, secondaire et tertiaire) : 97.4% de réduction des bactéries mésophiles hétérotrophiques, 100% des coliformes fécaux et totaux, et entérocoques et 95.8% des champignons, parallèlement à celles des eaux usées (sauf pour les bactéries mésophiles dont l'abattement n'est que de 20% dans les eaux usées). La concentration en bioaérosols au niveau du traitement secondaire et tertiaire était inférieure à celle du témoin extérieur au site. Les auteurs insistent sur les effets combinés des traitements (qui va jusqu'au tertiaire) et des conditions climatiques de température et rayonnement solaire

- Une étude menée en Espagne, et publiée en 2008 par Sánchez-Monedero MA, a inclus 6 STEP, afin d'identifier les sources principales de bioaérosols. Les prélèvements ont été réalisés par un impacteur à 1 étage. Ont été mesurés : bactéries mésophiles totales, pathogènes indicateurs fécaux. Dans cette étude, prétraitement, traitement biologique et épaissement de boue étaient les processus produisant la plus grande quantité de bioaérosols. Les systèmes d'aération impliquant une agitation mécanique des eaux usées (ex : turbines de surface) généraient des niveaux élevés de bioaérosols (entre 450 et 4580 CFU/m³). Le bruit de fond était mesuré à moins de 50 CFU/m³.
- O'Hara RE, aux US en 2005, a réalisé une revue bibliographique des bioaérosols issus des STEP. Sa conclusion a été de privilégier le Streptocoque fécal par rapport aux coliformes fécaux, comme indicateur de bruit de fond, ainsi que pour les prélèvements réalisés sous le vent. Un autre résultat a été dégagé de cette revue : l'association entre la présence de Streptocoque fécal et de virus.
- Une étude polonaise, publiée par Korzeniewska E en 2009, s'est attachée à évaluer les émissions d'un process particulier (le BIO-PAK : bioréacteur fermé). Les prélèvements ont été réalisés en parallèle par méthode d'impaction et de sédimentation, à l'intérieur et à l'extérieur du site. Les concentrations les plus élevées de bioaérosols n'ont pas dépassé 10³ CFU/m³ à 2x10⁴ CFU/m³. Diverse espèces de la famille des Enterobacteries (incluant *Shigella* spp., *Yersinia enterocolitica*, *Escherichia Coli*, *Klebsiella pneumoniae*) ont été retrouvées à l'intérieur ou près du Bioréacteur pouvant impliquer un risque pour la santé du personnel exposé. Par contre, les émissions à l'extérieur du site n'étaient pas augmentées.
- Une étude italienne, publiée en 2009 par Grisoli P : des prélèvements de bioaérosols 1 fois/semaine pendant 4 semaines consécutives l'été (juin – septembre) et l'hiver (décembre à mars), sur 6 sites. Le seul site en amont des vents a été prélevé à 40 m de distance; les 5 autres, sous le vent, ont été prélevés à différentes distances jusqu'à 100 m. Les prélèvements de boîte de Pétri ont été réalisés en duplicate. Près des sites, les concentrations de bactéries mésophiles, psychrophiles et les champignons ont été mesurées respectivement à 307.5, 327.5 et 257.5 CFU/m³. *Pseudomonas* spp, *Clostridium* spp et Entérobactéries ont été également mesurés. La saison influençait les concentrations de bactéries aussi bien que de champignons, plus hautes en été qu'en hiver. En contrôlant la saisonnalité, les concentrations de bactéries mésophiles, de *Pseudomonas* spp. et d'Entérobactéries ont montré une baisse significative en fonction de la distance, et finalement pas de risque pour les populations riveraines. A noter l'utilisation d'un index global de contamination.
- Une étude italienne, plus ancienne [Fracchia L, 2006], a mesuré les émissions de bioaérosols de 2 STEP. Des échantillons ont été réalisés par un impacteur sur agar, en vue de mesurer les concentrations en bactéries mésophiles et thermophiles (> 4.10⁴ CFU/m³ dans les 2 sites). *Escherichia coli*, *Clostridium perfringens*, *Staphylococcus aureus* et *Enterococcus* spp. ont été isolés; contrairement à *Salmonella* spp., *Yersinia enterocolitica*

and Legionella spp. Les process produisant une nébulisation ou une aération mécanique formaient les catégories les plus à risque.

- Une étude suisse, publiée en 2005 par Oppliger A, a évalué les aérosols émis par 11 STEP. Des concentrations plus importantes en été qu'en hiver n'ont été observées que pour les champignons (et l'inverse pour les bactéries). Il y avait significativement plus de bactéries dans les bâtiments fermés, près des eaux usées entrantes, qu'au niveau des bassins d'aération, en été ou en hiver. L'activité de nettoyage des réservoirs présentait un risque élevé lié aux endotoxines (jusqu'à 500 EU/m³), par rapport au travail de routine. Parmi les BGN, des recherches spécifiques ont mis en évidence des Pseudomonas et des Enterobactéries de manière prédominante.
- Une étude polonaise, publiée par Cyprowski M en 2008, a mesuré les concentrations de moisissures présentes dans 4 STEP, au niveau de 15 points fixes; ainsi que dans la ville (bruit de fond). Les niveaux de concentrations étaient peu élevés (1.6 x 10³ CFU/m³ au maximum). Aspergillus genus était l'espèce prédominante (près de 35% de tous les champignons identifiés). Son niveau de concentration était au moins 4.5 plus important que celui du bruit de fond. Aspergillus fumigatus (espèce pathogène) a été retrouvé à tous les stades du traitement des eaux usées. Penicillium et Alternaria étaient également présents.

4.1.2 Exposition des riverains

L'exposition des riverains a surtout été envisagée comme bruit de fond, comparativement aux niveaux d'exposition des salariés. Ainsi dans l'étude précédemment citée de Sánchez-Monedero MA (2008), la concentration bactérienne « bruit de fond » s'élevait à moins de 50 CFU/m³.

4.1.3 Effets relevés chez les salariés

Plusieurs études rapportent plus de symptômes gastro-intestinaux chez les travailleurs de station d'épuration que parmi des groupes salariés comparables [Seuri M, 2005].

Ces symptômes colligés sont à mettre en parallèle avec notamment les germes et autres paramètres mesurés dans les bioaérosols. Plusieurs types d'effets [Rose, 1999] sont possibles :

- Infections :
 - Effets gastro-intestinaux (nausées, diarrhées, douleurs abdominales): Entérobactéries (dont E coli, Salmonella, Campylobacter) et parasites
 - Infections cutanées : Staphylococoques et Pseudomonas
 - Infections respiratoires : Légionelles, Pseudomonas, Aspergillus, Virus, Mycobactéries (dont Mycobacterium avium)¹
- Effets immuno-allergiques et autres
 - Rhinite et sinusite : champignons (dont Aspergillus, Pénicillium), Endotoxines
 - Rhinite, asthme, bronchite chronique, alvéolite allergique : champignons (dont Aspergillus, Pénicillium), Endotoxines et 1,3 β D glucane
 - Syndrome toxique des poussières organiques (ODTS) : différents microorganismes (moisissures, bactéries) et endotoxines
 - Autres : Mycotoxines (dont effet cancérigène par ingestion pour certaines)
 - Enfin, certains germes sont particulièrement dangereux pour les personnes âgées ou immuno-déprimées (légionelles, Aspergillus...).

¹ Mycobacterium tuberculosis n'a pas été retenu car c'est un germe de contamination inter-humaine non spécifique des STEP

Plusieurs études épidémiologiques ont, par ailleurs, rapporté des effets sanitaires multiples et non spécifiques chez des salariés de STEP plus ou moins graves : troubles gastro-intestinaux, maux de tête, fatigue, éruption cutanées, voire inflammation bronchiques ou syndrome toxique des poussières organiques [O Schlosser, 84ème congrès de l'ASTEE Mai-juin 2005]. Concernant plus particulièrement les salariés des eaux usées, on retiendra :

- L'étude de Melbostad (1994), en Norvège, réalisée chez 24 employés des eaux usées, qui a montré une fréquence des céphalées significativement plus importante chez les employés exposés aux bactéries totales et aux bacilles ; ainsi qu'une fréquence augmentée de l'asthénie chez les employés exposés aux bacilles.

En conséquence, parmi l'ensemble des germes présents dans les eaux usées et listé dans la bibliographie [Altmeyer et al, 1990], seront retenus ceux qui ont un potentiel pathogène et qui sont susceptibles de s'aérosoliser en quantité suffisante pour être dispersés et inhalés.

En outre il faut noter le fait que la plupart de ces études se heurtent à des difficultés d'interprétation en raison :

- De l'absence de comparabilité des méthodes d'analyse et de prélèvement,
- De l'absence ou de la rareté des relations dose-effet ;

L'intérêt d'une étude d'exposition aux bioaérosols de STEP se comprend bien afin de :

- Déterminer la zone d'impact dans laquelle les bioaérosols sont mesurables, afin d'approcher le risque sanitaire des riverains de l'installation.
- Définir les zones internes de la STEP où sont situés les postes ou les situations les plus à risques et les équipements les plus émetteurs de bioaérosols, dans le but de préciser le risque sanitaire des salariés et à terme de préconiser les mesures de protections collectives ou individuelles les plus adéquates : l'étude de type " cartographique " sera de ce fait privilégiée.

4.2 Paramètres suivis

4.2.1 Paramètres bioaérosols

4.2.1.1 Microorganismes et dérivés

Bien que le Guide DM 17 « Monitoring of particulate matter in ambient air around waste facilities » [Technical Guidance Document, 2004] de l'Environment Agency insiste sur le fait que les prélèvements en aigu sont d'intérêt limité, le rapport de « Bioaerosol emissions from waste composting and the potential for workers' exposure, HSE, 2010 », réalisé conjointement avec l'Environment Agency dans le but de fournir des données de manière à élaborer un outil d'évaluation de risque a travaillé sur :

- L'énumération des microorganismes cultivables,
- L'analyse d'endotoxines (sur PM10),
- Le dénombrement des microorganismes totaux,
- L'identification bactérienne,
- L'isolement d'ADN,
- L'amplification PCR des gènes d'ARNr 16S,
- L'identification des champignons,

Le tableau suivant illustre l'ensemble des paramètres biologiques (regroupant microorganismes et molécules marqueurs) retenus pour cette étude, leur méthode de quantification (dénombrement, méthode culturale, de biologie moléculaire ou protéique) ainsi que les unités correspondantes :

Bactéries (bio-impaction)	Dénombrement	UFC/m ³
Levures et moisissures (bio-impaction)	Dénombrement	UFC/mL
Bactéries hétérotrophes totales	Méthode culturale normalisée (liq)	UFC/m ³
Bactéries gram -	Méthode culturale	UFC/m ³
Bactéries gram +	Méthode culturale	UFC/m ³
Coliformes thermotolérants	Méthode culturale normalisée (liq)	UFC/m ³
Entérocoques	Méthode culturale	UFC/m ³
Entérobactéries pathogènes	Méthode culturale et identification	UFC/m ³
Spores de bactéries sulfito-réductrices	Méthode culturale normalisée (liq)	UFC/m ³
Actinomycètes thermophiles	Méthode culturale	UFC/m ³
Moisissures	Méthode culturale	UFC/m ³
Levures	Méthode culturale	UFC/m ³
Entérovirus	PCR	UG/m ³ ou Eq UFP/m ³
Coliphages à ARN F spécifique	Méthode culturale	UFC/m ³
	PCR	UG/m ³ ou Eq UFP/m ³
Aspergillus fumigatus	PCR	UG/m ³ ou Eq Nb Spore/m ³
Legionella spp	Méthode culturale normalisée (liq)	UFC/m ³
	PCR	UG/m ³
Legionella pneumophila (dont séro groupe 1)	Méthode culturale normalisée (liq)	UFC/m ³
	PCR	UG/m ³
Endotoxines	Elisa EIA	UE/m ³ (unités d'endotoxines)
B (1-3) D-glucanes	Elisa EIA	pg/m ³ ou ng/m ³ selon conc ech

4.2.1.2 Particules

Pour renseigner la granulométrie des poussières organiques, un analyseur de particules par comptage en distribution de masse sera utilisé en parallèle du prélèvement par biocollection. Cette méthode conforme à la norme XP X43-299² permet de renseigner la granulométrie par répartition de la masse de particules prélevées en fonction de leur taille ce qui permet également d'en déduire la concentration massique (en µg/m³) pour les fractions inhalables alvéolaires selon la terminologie utilisée en pollution atmosphérique (PM2.5) aussi bien que celle utilisée en hygiène du travail (PM4), ainsi que pour les poussières inhalables totales.

4.2.2 Paramètres météorologiques

En sus de la collecte pour chaque point de mesure des bioaérosols, sont systématiquement relevés au niveau de l'échantillonneur :

- l'hygrométrie en %,
- la pluviométrie en mm,
- la température en °C,

Ainsi que la vitesse (en m/s) et la direction du vent à 10m du sol.

² XP X43-299 : Air des lieux de travail. Evaluation de la concentration massique d'un aérosol à l'aide d'un compteur optique de particules.

4.3 Echantillonnage

L'Environment Agency a publié en 2009 Review of methods to measure bioaerosols from composting sites. Ce document passe en revue l'ensemble des méthodes de prélèvement et d'analyse et fait le point sur les problèmes pratiques rencontrés et les limites et incertitudes restantes. Ce document fournit une synthèse complète des méthodes de prélèvement standardisées, des méthodes de cultures et de comptage, et sur la fréquence et durée d'échantillonnage.

Le Technical Guidance Document M17 de l'Environment Agency (2004) « Monitoring of particulate matter in ambient air around waste facilities », est destiné à servir de support aux affaires réglementaires des installations de traitement de déchets. Il passe en revue l'évaluation des matières en suspension parmi lesquels les bioaérosols.

Il ressort de l'étude de ces documents qu'en terme de :

- Méthodes : les méthodes recensées restent peu nombreuses, utilisant des pompes envoyant les prélèvements sur gélose (prélèvement par impacteur), ou sur filtres (en général en polycarbonates de différents calibres, car ces filtres sont moins susceptibles de subir eux même une contamination préalable au prélèvement).
- Durées : la durée est un paramètre qui donne lieu à débat ; les auteurs signalent en effet régulièrement que les prélèvements (nécessairement ponctuels en l'état des techniques disponibles) ne peuvent prendre en considération de façon correcte, les pics d'émission d'aérosols auxquels sont soumis les installations et les personnes. Classiquement, les prélèvements se font sur quelques minutes à des périodes pouvant aller jusqu'à 4-8h ; ces prélèvements sont répétés ou non selon que l'on recherche les émissions en « aigu » ou en « chronique ». Ces prélèvements se font soit en mesure d'ambiance (dispositif installé sur un site particulier), soit au niveau du personnel (pompe portée par le personnel).

Il n'y a pas à l'heure actuelle de standards nationaux ou internationaux de méthodes d'échantillonnage et de comptage. Il y a une absence de consensus sur les méthodes de prélèvement, les équipements et les analyses, les distances à respecter / taille et type de process. La concentration en bioaérosol peut varier considérablement en l'espace d'une heure.

Le seul standard existant concernant les industries des déchets est celui de l'American Society for Testing and Materials (ASTM) « method E884-82 », « CEN/TC 264/WG 28 », [Review of methods to measure bioaerosols from composting sites, 2009].

4.3.1 Stratégie d'échantillonnage

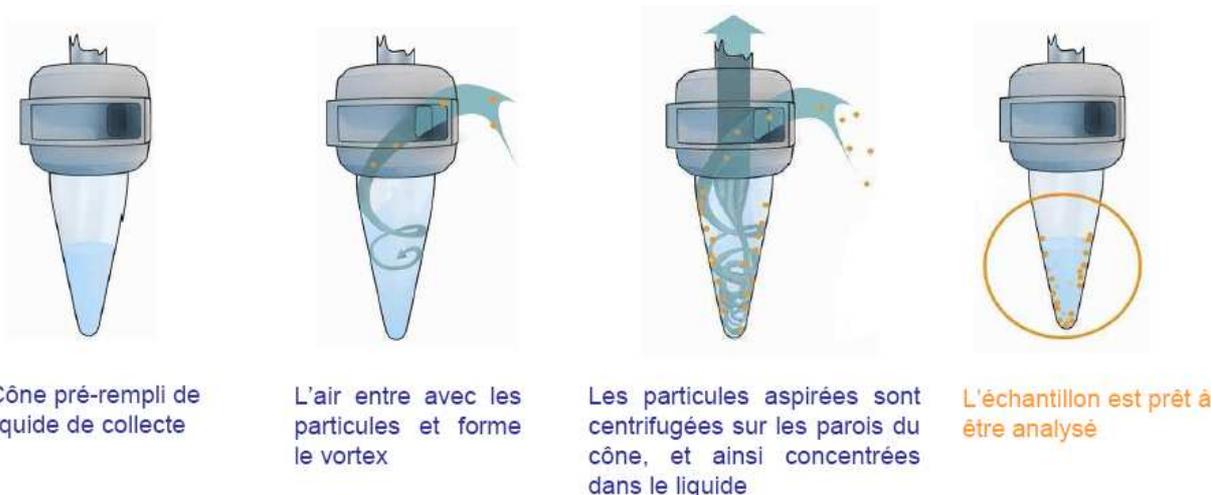
Les analyses réalisées ont nécessité des modes de biocollection assurant une efficacité de capture, de rétention et de concentration d'un large éventail de micro-organismes viables. Pour répondre à ces contraintes, l'approche retenue fut celle du prélèvement par cyclone sur échantillon liquide. Cette technologie est connue pour présenter les meilleurs taux de capture et de restitution des micro-organismes, cependant cette approche encore innovante ne bénéficie pas du même cadre normatif que les méthodes de prélèvement classiques par impaction. Aussi, pour être en mesure de comparer les résultats à la bibliographie, les prélèvements par biocollection sur matrice liquide ont été réalisés en parallèle de prélèvements plus classiques par impaction sur géloses. Cette méthode fait notamment l'objet des normes NF EN 13098³ ou NF ISO 16000-17⁴.

³ NF EN 13 098 : Atmosphères des lieux de travail. Règles pour le mesurage de micro-organismes et d'endotoxine en suspension dans l'air.

⁴ NF ISO 16000-17 : Air intérieur. Détection et dénombrement des moisissures – Méthode par culture.

4.3.2 Biocollection sur milieu liquide

Le prélèvement sur liquide fut réalisé à l'aide d'un biocollecteur Coriolis (Bertin Technologies). Ce matériel est validé selon la norme ISO 14698⁵ par l'agence britannique de la santé (HPA). Le principe du prélèvement est celui du cyclone à parois humides décrit dans le schéma suivant :



Le modèle Coriolis FR fut sélectionné pour être déployé efficacement dans le cadre de la campagne de mesure. Cet appareil est léger, conçu pour une utilisation en environnement extérieur et possède une autonomie suffisante pour pouvoir être déplacé sur différents points de mesure au cours de campagnes journalières.

Le tableau ci-dessous présente les caractéristiques techniques de l'appareil :

Applications	Prélèvement en environnement intérieur ou extérieur
Principe	Cyclone à parois humides
Validation ISO 14698-1	Oui
Diamètre des particules collectées	> 0,5 µm
Paramètres détectés	Bactéries, moisissures, spores, virus ⁶ , pollens etc.
Débit de prélèvement	100-300 L/min.
Temps de collecte	1-10 min.
Volume de l'échantillon	15 mL +/- 5
Autonomie de fonctionnement	2 h
Système d'injection liquide	Oui
Poids	4 kg
Dimensions	220 x 330 x 140 mm
Plage de fonctionnement	5-45 °C

⁵ ISO 14698 : Salles propres et environnements maîtrisés apparentés. Maîtrise de la biocontamination - Partie 1: Principes généraux et méthodes.

⁶ H. Belkhiter, Laboratoire de Virologie Humaine et Moléculaire – CHR de Caen : Etude des virus à transmission aérienne par prélèvement sur le biocollecteur Coriolis.



Au moyen de cette technique cyclonique, sur chaque point de mesure furent envisagés initialement deux prélèvements de 5 min à 100 L/min (paramètres affinés pendant l'étude de variabilité dédiée selon les typologies de sites de mesure). Chaque prélèvement fût réalisé sur un support de prélèvement liquide différent (liquide de collection standard et eau apyrogène) afin de caractériser les différents paramètres microbiologiques et les endotoxines.

4.3.3 Biocollection sur milieu solide

Le prélèvement de référence fut réalisé à l'aide d'un impacteur Sampl'Air (AES Chemunex). Cet appareil est également validé par l'agence britannique de la santé (HPA) selon le référentiel ISO 14698-1. Son efficacité est démontrée pour la collecte de plus de 99% [Whyte et al. 2007] des micro-organismes présents dans l'air ambiant. Le principe du prélèvement par impaction est celui du pompage de l'air sur une boîte de Petri contenant un milieu de culture (gélose) spécifique aux micro-organismes mesurés.

Le tableau ci-dessous présente les caractéristiques techniques de l'appareil :

Applications	Prélèvement en environnement intérieur maîtrisé & extérieur
Principe	Impaction sur milieu de culture gélosé
Validation ISO 14698-1	Oui
Paramètres détectés	Bactéries cultivables, moisissures etc.
Débit de prélèvement	100 L/min.
Temps de collecte	0.5-100 min.
Volume de l'échantillon	50-10000 L
Autonomie de fonctionnement	4 h
Boîtes de Pétri utilisables	Ø90 mm
Poids	1,8 kg
Dimensions	130 x 170 x 300 mm



Sur chaque point de mesure, deux prélèvements d'air par impaction de 5 min à 100 L/min, furent envisagés initialement (paramètres affinés pendant l'étude de variabilité dédiée selon les typologies de sites de mesure) chacun sur un milieu de culture différent (PCA et OGA) afin de caractériser les paramètres fongiques et bactériens.

4.3.4 Mesure des espèces biologiques

La mesure d'un aérosol naturel ou anthropique, notamment lorsque celui-ci est constitué pour parti de micro-organismes, est un exercice particulièrement complexe. Les travaux du groupe de travail « Ambiance & Assainissement » de l'ASTEE sur la variabilité des résultats en témoignent (paragraphe (5.5)). Anticipant cet aspect des choses, il a été proposé de prolonger l'approche « biocollection » présentée au paragraphe 5.2.1 par une approche « dénombrement » particulière.

Cette dernière consiste, tant que faire se peut, à combiner, pour un même point de mesure et pour un même paramètre biologique, une méthodologie culturale de dénombrement de référence et une méthodologie alternative non culturale.

- L'approche culturale de référence est basée sur la mesure par comptage visuel ou automatisé du nombre d'unités présentes par unités de volume (PFU/m³, CFU/m³). On procède soit par mise en culture directe (paragraphe 5.2.4) des géloses de prélèvement (paragraphe 5.2.3), ou par étalement et incubation des solution d'impaction liquide. D'autres méthodes sont aussi proposées comme la quantification par immunofluorescence pour le dosage de métabolites spécifiques (Beta-D-glucanes des fungi et endotoxines notamment : essai LAL (chromogenic Limulus amebocyte lysate) (IOM-DEFRA,2008). Toutes ces méthodes sont normées et bien connues aujourd'hui. A noter que la mise en culture introduit un biais, puisque, les germes aérosolisés, sont loin d'être tous facilement cultivables.
- L'approche alternative retenue pour ces travaux consiste a recourir à la biologie moléculaire par le biais de la PCR (polymerase chain reaction). Cet outil permet de quantifier le nombre de génome d'une espèce biologique particulière au sein d'un échantillon liquide. La PCR est une technique d'amplification génique incluant une étape d'extraction des acides nucléiques, une étape d'amplification d'un fragment d'ADN à l'aide d'amorces spécifiques et une étape de révélation de l'amplification

(utilisant diverses méthodes : migration sur gel, hybridation spécifique, analyse de la courbe de fusion...)

Ces deux approches, foncièrement différentes, se caractérisent chacune par des propriétés et des limites excluant la comparaison directe des résultats (PE. Montandon, Schweiz Rundsch Med Prax. 1994). En d'autres termes, bien que différents, les résultats obtenus selon ces deux approches sont aussi vrais les uns que les autres, ce ne sont en fait que deux façons d'appréhender une même réalité ultime elle-même inaccessible avec précision (voir début de paragraphe).

Quelques propriétés de l'approche culturale :

- méthode historique, réglementaire, normé et référencé
- méthode peu coûteuse.
- méthode non applicable à toutes les espèces biologiques
- méthode très sensible
- méthode très demandeuse de temps (qqs jours à qqs semaines en fonction de la cible biologique)
- méthode sous estimant la contamination par sélection de certains individus d'une population en raison des médias de culture choisis et des conditions d'incubation (non prise en compte des cellules viables non cultivables)
- méthode sensible aux interférences biologiques (concurrence)
- méthode permettant le dénombrement par groupe généraux non taxonomique
- méthode rapidement saturable

Quelques propriétés de l'approche non culturale :

- sensibilité dépendante du type d'échantillons et de la cible biologique,
- sensibilité dépendante des étapes de préparations,
- spécificité très importante (identification taxonomique),
- surestimation par comptabilisation de toutes les formes de la cible biologique (vivant, mort, viable non cultivable, les constituants ou métabolites ...),
- coût plus important,
- mesure rapide (quelques heures),
- méthode applicable à toutes les espèces biologiques,
- méthode plus complexe.

Dans un tel contexte, l'intérêt de la démarche appliquée lors de ces travaux est multiple :

- permettre une meilleure appréciation de l'aérobiocontamination réelle,
- permettre la quantification de paramètres difficilement accessibles par méthode culturale de référence (exemple : entérovirus),
- pour une cible biologique donnée, prendre en compte l'ensemble de ses formes biologiques potentiellement pathogènes non comptabilisés par culture.

L'étude ayant pour objet de circonscrire les propriétés du bioaérosol local, les contraintes et choix aussi bien techniques (nombre de sites, d'échantillons, de paramètres biologiques,

nature de ces paramètres,...) qu'économiques ont conditionné la définition opérationnelle de l'approche méthodologique du dénombrement retenue.

Ainsi, sur la base de l'expertise des laboratoires et au regard des informations bibliographiques concernant les cibles biologiques, le dénombrement par PCR a été appliqué :

- en combinaison avec l'approche culturale à :
 - *Aspergillus fumigatus*
 - Coliphages à ARN F spécifique
 - *Legionella* spp
 - *Legionella pneumophila*
- Sans référence à l'approche culturale aux :
 - Entérovirus

Le tableau suivant regroupe, par ordre alphabétique, tous les types de mesures implémentés, la méthode (culturale, de biologie moléculaire ou par dosage d'activité biologique) mise en œuvre ainsi que les références normatives (lorsqu'applicable) et/ou une synthèse du protocole utilisé. De même y figurent les éventuelles améliorations/raffinements de protocole qui ont pu être implémentés entre la précampagne et les études en tant que telles.

Paramètres	Méthode	Référence normative ou synthèse du protocole utilisé
Actinomycètes thermophiles	Culture	Précampagne et campagne 1 phase 1 : la gélose Columbia au sang a été utilisée. Incubation 10 jours à 41.5°C. A partir de la campagne 1 phase 2 : Ensemencement sur gélose Trypto-caséine soja puis incubation à 50°C pendant 10 jours (protocole LHVP).
Aspergillus fumigatus	Culture	dénombrement et identification microscopique des colonies d' <i>Aspergillus fumigatus</i> après 5 jours d'incubation à 44 ± 1,5°C sur milieu OGA.
Aspergillus fumigatus	PCR	Extraction avec un kit Nuclisens de Biomérieux (technologie de Boom). PCR avec le kit Brilliant II Q PCR d'Agilent sur un thermocycleur Mx3005 d'Agilent-stratagene. Les amorces et sondes sont issues des travaux de Vesper pour l'Environmental Protection Agency (USA). Remarque : une lyse mécanique a été ajoutée avant l'extraction bioMérieux pour la 2 ^{ème} campagne afin d'augmenter notre rendement de récupération des acides nucléiques et donc de diminuer notre seuil de détection.
β(1-3) D-glucanes	Dosage	Dosage LAL (lysate d'améboocytes de limules) cinétique chromogène avec un lysate spécifique de la voie G (voie d'activation des glucanes) (GlucateLL® Kinetic Kit).
Bactéries hétérotrophes totales	Culture	NF EN ISO 6222, juillet 1999 (dénombrement des micro-organismes revivifiables).
Bactéries Gram -	Culture	Ensemencement sur gélose Trypto-caséine soja. Incubation à 36/-2°C pendant 48 Heures puis identification par une coloration de Gram (pour précampagne et campagne 1) et par un test à la potasse (pour campagne 2).
Bactéries Gram +	Culture	Ensemencement sur gélose Trypto-caséine soja. Incubation à 36/-2°C pendant 48 Heures puis identification par une coloration de Gram (pour pré-campagne et campagne 1) et par un test à la potasse (pour campagne 2).
Coliformes thermotolérants	Culture	NF EN ISO 9308-1 septembre 2000 (Qualité de l'eau - Recherche et dénombrement des <i>Escherichia coli</i> et des bactéries coliformes - Partie 1 : méthode par filtration sur membrane) ; Méthode adaptée à de faibles volumes d'eau par le laboratoire.
Coliphages à ARN F spécifique	Culture	NF EN ISO 10705-1, Octobre 2001 (Détection et dénombrement des bactériophages - Partie 1 : dénombrement des bactériophages ARN F spécifiques) ; Méthode adaptée à de faibles volumes d'eau par le laboratoire.
Coliphages à ARN F spécifique	PCR	Extraction avec un kit Nuclisens de BioMérieux (technologie de Boom). PCR avec le kit Brilliant II Q RT PCR One step d'Agilent sur un thermocycleur Mx3005 d'Agilent-stratagene. Les amorces et sondes sont issues de la publication de L. Ogorzaly et C. Gantzer en 2006 (« Development of real-time RT-PCR methods for specific detection of F-specific RNA bacteriophage genogroups: Application to urban raw wastewater »).
Endotoxines	Dosage	Dosage LAL (lysate d'améboocytes de limules) cinétique chromogène selon la norme NF EN 14031 « atmosphère des lieux de travail - détermination des endotoxines en suspension dans l'air ».

Entérobactéries	Culture	Précampagne et 1ère campagne : Identification à partir d'une gélose TCS, puis repiquage sur gélose TSI puis test oxydase. 2ème campagne : Identification à partir d'une gélose TTC puis test oxydase.
Entérocoques	Culture	NF EN ISO 7899-2, août 2000 (Recherche et dénombrement des entérocoques intestinaux) ; méthode adaptée à de faibles volumes d'eau par le laboratoire.
Entérovirus	PCR	Extraction avec un kit Nuclisens de BioMérieux (technologie de Boom). PCR avec le kit Brilliant II Q RT PCR One step d'Agilent sur un thermocycleur Mx3005 d'Agilent-stratagene. Les amorces et sondes sont issues de la publication de D. Donia en 2005 (« Use of armored RNA as a standard to construct a calibration curve for real time RT PCR »).
Flore fongique	Culture	Dénombrement des colonies après 7 jours d'incubation à 25±3°C sur milieu OGA, avec une lecture intermédiaire à 3 jours.
Klebsiella pneumoniae	Culture	Précampagne et 1ère campagne : Identification sur galerie API 20 ^E des entérobactéries trouvées sur gélose TCS. 2ème campagne : Identification sur galerie API 20 ^E des entérobactéries trouvées sur gélose TTC.
Legionella spp	Culture	NF T90-431 septembre 2003 (« Qualité de l'eau - Recherche et dénombrement de Legionella spp et de Legionella pneumophila - Méthode par ensemencement direct et après concentration par filtration sur membrane ou centrifugation ») ; Méthode adaptée à de faibles volumes d'eau par le laboratoire.
Legionella spp	PCR	Extraction avec un kit Nuclisens de BioMérieux (technologie de Boom). PCR avec le kit iQ-check Quanti Legionella spp. de Biorad.
Legionella pneumophila	Culture	NF T90-431 septembre 2003 (« Qualité de l'eau - Recherche et dénombrement de Legionella spp et de Legionella pneumophila - Méthode par ensemencement direct et après concentration par filtration sur membrane ou centrifugation ») ; Méthode adaptée à de faibles volumes d'eau par le laboratoire.
Legionella pneumophila	PCR	Extraction avec un kit Nuclisens de BioMérieux (technologie de Boom). PCR avec le kit iQ-check Quanti Legionella pneumophila de Biorad.
Levures	Culture	Ensemencement sur gélose Sabouraud-chloramphénicol-gentamycine puis incubation 5 jours à 25°C.
Moisissures	Culture	NF ISO 16000-17 (Détection et dénombrement des moisissures – méthode par culture), incubation sur milieu MEA (Malt Extract Agar) 5 jours à 25°C ; Méthode adaptée à de faibles volumes d'eau par le laboratoire.
Spores de bactéries sulfite-réductrices	Culture	NF EN 26461-2/ISO 6461-2 juillet 1993 (Recherche et dénombrement des spores de micro-organismes anaérobies sulfite-réducteurs - Partie 2 : méthode par filtration sur membrane) ; Méthode adaptée à de faibles volumes d'eau par le laboratoire.

4.3.5 Particules

Un compteur de poussières Grimm G1.108 (Grimm Aerosol Technik GmbH) a été implémenté pour cette étude. Cet analyseur fonctionne par photométrie laser et mesure le nombre de particules par litre d'air dans 16 intervalles de taille (de >0.23 à $>20 \mu\text{m}$) via la diffraction de la lumière incidente (faisceau laser) en fonction de la granulométrie de l'aérosol. Le passage du nombre de particules à la concentration massique se fait grâce à un algorithme de conversion pour chaque intervalle granulométrique. Le résultat peut donc être exprimé en concentration massique par classe de particules ce qui permet, conformément au cahier des charges, d'estimer les fractions inhalables alvéolaires et totales simultanément.

La mobilisation de ce modèle particulier s'est faite dans le souci de répondre aux objectifs de la campagne par l'acquisition de données en continu (sur un pas de temps minimal de 6 secondes) en fonctionnement autonome sur batterie, permettant de le transporter et de réaliser l'analyse des poussières sur chaque point de mesure parallèlement aux prélèvements microbiologiques.

4.4 Références bioaérosols

Il est à noter qu'encore aujourd'hui, aucune réglementation contraignante n'existe, hormis celle considérant l'exposition professionnelle aux germes pathogènes, aux endotoxines ainsi qu'à certains produits chimiques d'origine biologique (CO , CO_2 , H_2S , CH_3SH notamment) soumis à des valeurs de VLE/VME.

L'INRS a cependant émis des recommandations pour les limites de rejets atmosphériques de bioaérosols (en unités viables) :

- 10^4 CFU/m³ pour les mesures de bactéries totales
- 10^3 CFU/m³ pour les bactéries Gram négatif
- 10^3 à 10^4 CFU/m³ pour les champignons avec un maximum de 500 CFU/m³ par espèce.

L'INERIS a aussi émis des valeurs guides concernant les rejets atmosphériques, proposant une NOAEL de 9ng/m^3 pour les endotoxines, soit cinq fois sous le seuil d'effet subclinique de ces substances (50ng/m^3 induisent une inflammation asymptomatique de la muqueuse pulmonaire (cf. doc INERIS).

Plusieurs tableaux récapitulent des valeurs sélectionnées dans la littérature. Elles ont trait aux installations de traitement des déchets en général. Plusieurs tables ont été publiées sur les mesures de contamination atmosphériques par les bioaérosols ; ne sont retranscrites ci dessous que les plus restrictives, extraite d'un article sur une étude réalisée en Europe de l'est [Influence of Water Treatment Plant on Microbiological Composition of Air Bioaerosol : B. Breza-Boruta, Z. Paluszak ; Polish J. of Environ. Stud. Vol. 16, No. 5 (2007), 663-670] :

On y relève les fourchettes suivantes :

- Concernant les bactéries (bactéries totales)
 - >3000 CFU/m³ – air fortement contaminé
 - 1000-3000 CFU/m³ – air modérément contaminé
 - <1000 CFU/m³ – air non contaminé
- Concernant les actinomycètes :
 - >100 CFU/m³ – air fortement contaminé
 - 10-100 CFU/m³ – air modérément contaminé

<10 CFU/m³ – air non contaminé

- Concernant les champignons (champignons totaux):
 - >10000 CFU/m³ – air pollué, posant problème pour l'être humain
 - 5000-10,000 CFU/m³ – air pollué, possible effet sur l'être humain
 - 3000-5000 CFU/m³ – air globalement propre, considéré comme sain

De nombreuses études [Guidance on the evaluation of bioaerosol risk assessments for composting facilities ; Bioaerosol emissions from waste composting and the potential for workers' exposure, HSE, 2010 ; Swan et al, 2003] (Tableau de synthèse en annexe) suggèrent que les concentration de moisissures en milieu urbain sont de 1000 CFU/M3 mais peuvent augmenter considérablement en automne. A l'intérieur, on trouve des valeurs de <100 à 20000 CFU/m³. Les concentrations bactériennes dans l'air intérieur sont typiquement autour de 100 CFU/m³ mais peuvent être beaucoup plus élevées dans certains environnements.

Les niveaux d'exposition dans la plupart des secteurs tendent à augmenter durant l'été mais il n'y a pas de relation évidente avec la composition des déchets. Les études ne suggèrent pas de relation dose-effet claire et évidente.

Plus de 10% de la population peut développer des symptômes respiratoires à un niveau d'exposition aux bioaérosols rencontrés dans l'air ambiant de la population en général et sans lien avec des bioaérosols de déchets (hyper sensibilité individuelle). Une grande partie de cette population est atopique mais peut développer des allergies. Une petite partie peut développer de l'asthme et des fibroses kystiques et augmenter ainsi les chances de développer une hypersensibilité aux poussières de moisissures même à des niveaux d'exposition ambiants. Une petite proportion d'individus immunodéprimés peuvent développer des symptômes sérieux à moins de 103 CFU/m³ de moisissures (patients transplantés, atteints de cancer etc.)

A l'heure de déterminer la liste des aérobiocontaminants à retenir pour cette étude et afin de faciliter cette opération, la bibliographie permet de répartir ceux-ci en 3 catégories :

Indicateurs bactériens :

Les indicateurs bactériens utilisés sont quasiment toujours les mêmes, il existe une liste exhaustive de ce que l'on peut retrouver dans les composts, déchets ménagers et boue d'épuration (cf. doc INERIS et document RECORD). En général on mesure les bactéries totales, les spores bactériennes, les bactéries viables (cultivables) et on mesure parfois des indicateurs spécifiques tels que légionelles, gram négatifs, actinomycètes. A noter, selon certains auteurs, que toutes les bactéries prélevées sont loin d'être cultivables en particulier à cause du stress métabolique provoqué par l'aérosolisation.

Indicateurs fongiques :

Tout comme les indicateurs bactériens, ceux utilisés pour les fongi sont assez généraux : moisissure totale, spores et champignons cultivables. Quelques indicateurs spécifiques sont également employés pour les aspergillus (en particulier fumigatus), penicillium,... A noter que la mesure des beta-D-glucanes permet de quantifier la biomasse fongique.

Autres indicateurs :

Certaines études proposent en plus des autres des indicateurs viraux (PCR, techniques d'empreintes moléculaire SSCP), des indicateurs amibiens et/ou sur des parasites (œufs d'helminthes).

4.5 Valeurs Limites d'Exposition

Le tableau suivant regroupe quelques Valeurs Limites d'Exposition (VLE) préconisées par les instances compétentes de divers pays (Europe, Europe du Nord, Amériques du nord), lorsque ces données sont disponibles. Ces VLE ne sont pas toujours directement transposables au contexte de ce travail, notamment en ce qui concerne les durées potentielles d'exposition à un poste professionnel donné, le fait que certaines se réfèrent à des contextes ne présentant pas les spécificités des ouvrages d'assainissement des eaux ou tout simplement que leur établissement se réfère à des protocoles difficilement reproductibles à l'identique sur le terrain.

Elles constituent tout de même un corpus de références pouvant permettre de qualifier la situation et/ou d'en raffiner l'analyse le cas échéant et sont ici exposées à ce titre.

Pays	Organismes	Année	VLE
Pays-Bas	DECOS	2010	Endotoxines: 90 EU/m ³ pour 8h/jour d'exposition (50 EU/m ³ en 1998)
Pays-Bas	SER	2002	Endotoxines: 200 EU/m ³ pour 8h/jour d'exposition
Canada	IRSST	2007	Bactéries cultivables: niveau de base toléré de 10 ⁴ UFC/m ³ Bactéries Gram négatives viables : 10 ³ UFC/m ³
USA	ACGIH	1999	Endotoxines: concentration > 30 fois la concentration de base dans l'air au site de référence si pas de plainte, 10 fois si symptômes suggestifs
Finlande	Ministère de la Santé	1999	Moisissures dans les habitations : 500 UFC/m ³ en hiver et 2,5x10 ³ UFC/m ³ en été. Bactéries dans les habitations: 4,5x10 ³ UFC/m ³ Bactéries dans les bureaux: 10 ³ UFC/m ³ Actinomycètes : 10 ³ UFC/m ² sur les surfaces
Suisse	SUVA Pro	2009	Germes aérobies mésophiles: 10 ⁴ UFC/m ³ Bactéries gram négatives: 10 ³ UFC/m ³ Moisissures : 10 ³ UFC/m ³ Endotoxines: 10 ³ EU/m ³ (VLE identiques à 2007)
Royaume-Uni	Environment Agency	2003	Bactéries totales: 10 ³ UFC/m ³ Bactéries gram négatives: 300 UFC/m ³ Moisissures : 10 ³ UFC/m ³
Allemagne	Ministère du travail	2010	Poussières respirables: 3 mg/m ³ Poussières inhalables: 10 mg/m ³
France	INRS	1997-2000	Bactéries totales 10 ⁴ CFU/m ³ en bactéries totales Bactéries Gram-négatif 10 ³ CFU/m ³ (Fabriès, 1997) Flore fongique totale entre 10 ³ et 10 ⁴ CFU/m ³ , avec moins de 500 CFU/m ³ d'une même espèce (RSD, 2000)

Le groupe de travail « Ambiance & Assainissement » de l'ASTEE a par ailleurs établi des propositions de VLE plus spécifiques aux ouvrages d'assainissement (données incluant un facteur de sécurité):

- Bactéries totales : 10^5 UFC/m³
- Bactéries Gram - : 2.10^4 UFC/m³
- Moisissures : 5.10^4 UFC/m³
- Actinomycètes : 2.10^4 UFC/m³
- Endotoxines : 2000 EU/m³

Il n'y a donc pas de VLE réellement consensuelles et ces dernières dépendent éminemment du contexte d'application.

4.6 Variabilité en ouvrages d'assainissements

Le même groupe de travail « Ambiance & Assainissement » de l'ASTEE a en outre au cours des travaux précédemment évoqués réalisé une revue des variabilités en charge de divers micro-organismes constatées selon les grandes étapes du procédé implémenté dans les ouvrages d'assainissement.

Le tableau suivant regroupe ces données, exprimées en log. de différences d'UFC/m³ :

	Ref.	Relèvement	Dégrillage	Bassin aération (intérieur)	Bassin aération (intérieur)	Biofiltre	Lit Bact.	Déshydr. boues
Bactéries Totales	1-3	3-4	2-5	4	3	3-5	5	2-7
Bactéries Gram -	0-1	4	2-3	4	1-3	4		1-4
Virus		(-4)	(-4)					(-3)
Moisissures	2-3		1-4	2-3	2-3	2		2-3
Actinomycètes	2		1-2	1-2				2

Les données sont exprimées selon un code couleur d'intensité croissante allant du gris (inexploitable) à l'orange foncé en passant par le vert et le blanc (non réalisé).

De toute évidence, les variabilités divergent selon le paramètre biologique observé (par exemple, elles sont beaucoup plus marquées pour les mesures de bactéries que pour celles ayant trait aux espèces fongiques) mais surtout selon l'étape du procédé exploré. Ainsi les variations font couramment l'objet d'amplitudes atteignant un facteur 1000 et souvent 10, 100, et parfois 10000 fois plus.

Ces résultats sont extrêmement importants pour mettre en perspective les mesures réalisées dans l'étude avec celles qui peuvent être rencontrées dans divers travaux scientifiques de la bibliographie.

4.7 Aspects sanitaires

La question du risque sanitaire est abordée selon un angle particulier. En effet, il n'est pas possible de conduire une étude de risque classique au sens où, si la méthodologie Source -> Transfert -> Cible a bien été déployée dans le choix des sites, méthodes de prélèvement et paramètres suivis, il n'existe pas de relation dose-réponse entre la présence d'un pathogène connu et l'apparition ou l'intensité des symptômes d'une pathologie causalement reliée.

Le principal objectif est donc d'établir une cartographie de pathogènes connus (état de l'art ou littérature) pour être présents dans les stations d'épuration ou de retraitement de matières souillées, responsables d'arrêts de travail à des seuils statistiques significatifs pour les opérateurs à ces postes ou plus largement associés à des nuisances sanitaires leur étant imputables que ce soit sur site ou dans les agglomérations environnantes.

Une fois cette cartographie effectuée, en fonction des valeurs relevées il pourra être éventuellement possible de réaliser un « diagnostic » contextuel en se basant sur des données de la littérature dans des cas similaires si les sources existent.

Cependant dans tous les cas, seules des études de type épidémiologiques soit au niveau des opérateurs du site Seine-Aval, soit des habitants des communes environnantes pourront trancher la question du lien sanitaire entre les microorganismes éventuellement détectés dans le site ou émis par ce dernier et les pathologies déclarées au sein des diverses populations concernées.

4.8 Particularités du site Seine-Aval

L'usine Seine Aval est constituée de trois unités fonctionnelles majeures : une unité de prétraitement, l'Usine de Production des Boues Déshydratées (UPBD) et l'Usine de Production des Eaux et Irrigation (UPEI) – Le présent travail porte sur l'UPEI et l'UPBD, la chambre des vannes de La Frette étant incluse dans les postes répertoriés ici au niveau de l'UPEI. Schématiquement cette dernière est le site de production et de redistribution des eaux assainies, alors que l'UPBD prend en charge les boues/biomasse ayant été impliquées dans ce processus afin de les déshydrater à vue de valorisation/épandage. A priori, divers processus impliquant agitations, bouillonnements (donc nébulisations et aérosolisations en gouttelettes) et contact direct possible avec des eaux en cours d'assainissement (ou leurs résidus lors d'opérations de nettoyage) peuvent raisonnablement être attendus au niveau de l'UPEI alors que l'UPBD pourrait être plutôt envisagée comme source d'exposition à des poussières volatiles ou soulevées par les étapes de séchage/fermentation voire à des suspensions générées au cours d'opérations de nettoyage.

Quoi qu'il en soit, en raison de la nature bien distincte des activités de ces deux usines, les sources et natures possibles de génération et d'exposition aux biocontaminations respectives entre l'UPEI et l'UPBD peuvent grandement différer.

En ce qui concerne la topographie locale, le site Seine-Aval est sis sur une large étendue relativement plate, forme un croissant bordé entre un arc de la Seine (orienté est-ouest avant de s'incurver vers le sud) et surtout une dense forêt, lesquelles sont connues pour être des sources

particulièrement émissives de particules (inertes ou vivantes) et de marqueurs organiques variés.

Le site Seine-Aval est au contact plus ou moins direct de plusieurs agglomérations réparties entre Yvelines et Val d'Oise. Achères et Maison-Laffite joignent chacune une extrémité du croissant formé par le site ainsi que la forêt. En contraste, au delà de la Seine Conflans-Sainte-Honorine, Herblay, Montigny-les-Cormeilles, La Frette-sur-Seine, et Cormeilles-en-Parisis (entre autres), occupent un vaste plateau surplombant le site une cinquantaine de mètres en contrebas sur des déclivités relativement marquées. De ceci résulte nécessairement des différences prévisibles en termes d'aérobiocontamination soit naturelle (éloignement par rapport à la forêt par exemple) soit anthropique (industries et agglomérations ou leurs alentours, participation du site SEINE-AVAL possible dont la présente étude fait l'objet), le tout avec des voies de dissémination potentiellement variables selon le vent dominant et le relief.

5 Etude préliminaire

Une étude préliminaire rigoureuse a été réalisée avant d'entreprendre les travaux portant respectivement sur l'exposition professionnelle, la dispersion ou l'exposition des riverains. Cette exploration s'est articulée selon deux axes :

- un premier axe de détermination des sites de mesure (en nombre et en nature) dans chacune des trois catégories susmentionnées afin de constituer un éventail à la fois large et fidèle des cibles possibles d'une éventuelle exposition sur des bases factuelles,
- un second axe de précision des conditions d'échantillonnage et de mesure recouvrant l'évaluation de la variabilité inhérente au processus, la détermination des paramètres d'impaction etc.

Ceci s'est avéré fondamental en regard du respect impérieux des particularités susmentionnées du site, tant dans l'organisation des process internes qu'en raison de sa localisation géographique qui se mêlent au sein d'un contexte complexe. C'est en tenant compte de tous ces facteurs, ainsi que de bien d'autres relatifs à la particularité de chaque point d'échantillonnage, que ces derniers ont été identifiés et choisis dans une optique d'adéquation avec l'identification source -> transfert -> cible.

5.1 Validation des sites de mesure

5.1.1 Détermination des sites de mesure dans la station Seine-Aval

Suite à la visite du site et en s'appuyant sur les informations sanitaires récoltées auprès des médecins du service de médecine du travail de la STEP, les postes de travail susceptibles de présenter un risque vis-à-vis des bioaérosols ont été identifiés. Parmi cette liste, les douze points de mesure les plus pertinents ont été sélectionnés sur la base de la méthodologie source > transfert > cible, et donc sur l'existence réelle et sérieuse d'un ou plusieurs de ces maillons à un poste donné. En raison des activités, du port des EPI, des procédures et des préoccupations liées à la présente étude mais aussi, au regard de l'expérience du médecin du travail du site, la voie possible d'inhalation de bioaérosols a été privilégiée par rapport aux autres voies bien connues de contamination par microorganismes comme l'ingestion directe ou via contact buccal avec une autre partie souillée du corps.

12 postes ont été retenus, afin d'allier faisabilité (contraintes logistiques, de temps de fonctionnement sur batterie des appareils autonomes etc.) et exhaustivité.

Les tableaux ci-dessous récapitulent ces informations en présentant les points non retenus en grisé, respectivement pour l'UPEI puis l'UPBD. L'exposition (colonne E) est qualifiée de défavorable (D) lorsqu'il s'agit d'une opération ponctuelle soumettant un intervenant à une exposition plus importante que lors de ses activités quotidiennes, occasionnelle (O) lorsque cette exposition peut être répétée au cours de la journée, et normale (N) lorsqu'elle peut être considérée comme continue sur le site.

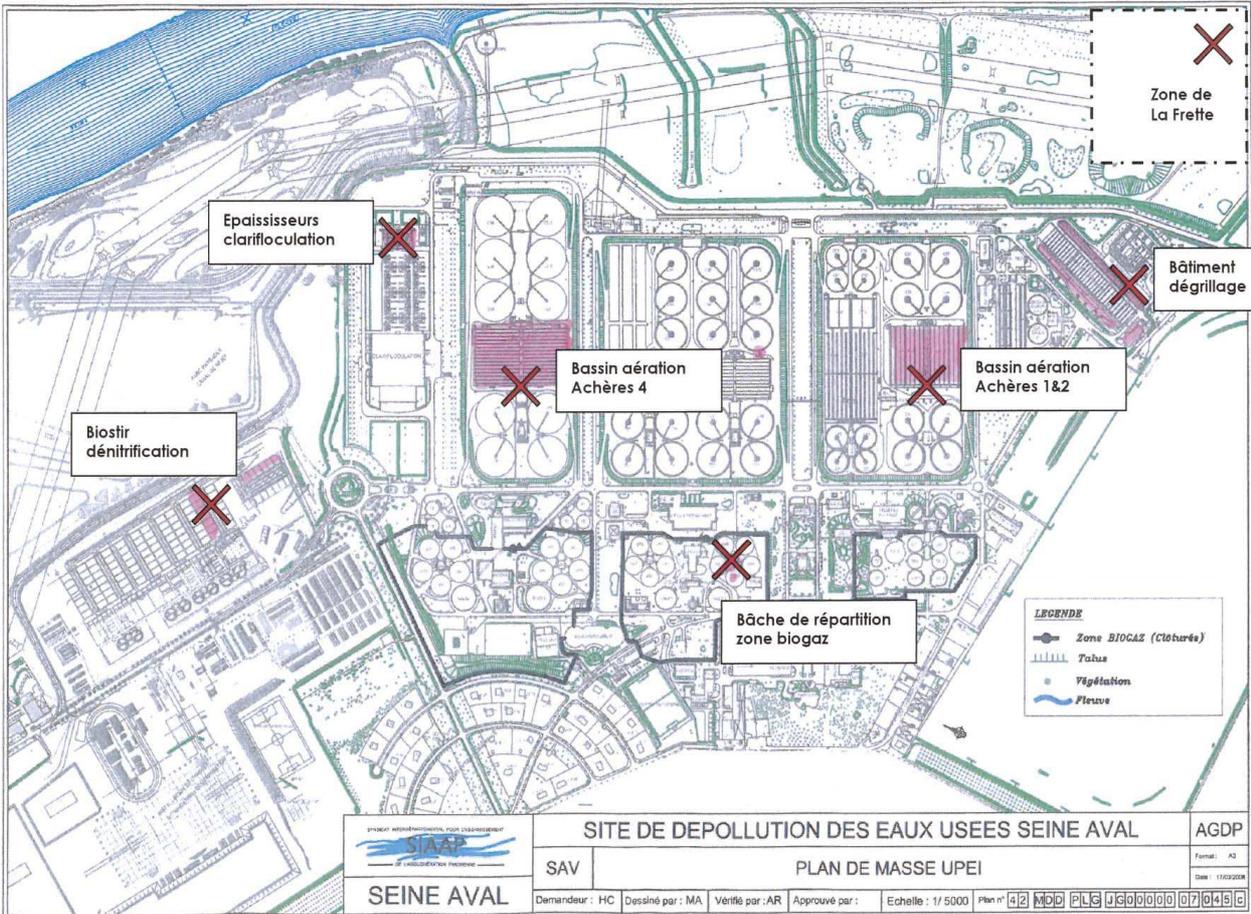
Pour les postes annotés soit « D » soit « O », la planification et la réalisation des mesures expérimentales ont tenu compte de l'exécution effective de ces tâches par nature ponctuelles (à la différence des postes annotés « N » pour lesquels l'exposition possible est par définition relativement constante tout au long du temps de travail).

En raison des contraintes rencontrées sur site, la numérotation des points de mesure diffère entre la première campagne (colonne C1) et la seconde (colonne C2).

5.1.1.1 Sites identifiés UPEI

<i>Etape du process</i>	<i>Poste identifié</i>	<i>Justification du choix</i>	<i>C1</i>	<i>C2</i>	<i>E</i>
Chambre des vannes (La Frette)	Zones au-dessus écoulement	Peu de projections ou de bouillonnements			
	Nettoyage bassins de transfert	Résidus d'eaux brutes mis en suspension par jet d'eau (opérations de nettoyage)	1	1	D
Bâtiment dégrillage	A proximité des dégrilleurs	Bouillonnement au niveau de la grille	3	4	O
	Nettoyage au jet	Déjà pris en compte sur le poste de La Frette			
Dessablage / Dégraissage	Remous oxygénation bassin de banalisation	Pas de poste de travail, source riverains prise en compte au niveau des bassins d'oxygénation			
Décantation	Aucun	Pas de risque important de projections ni de poste de travail			
Bassin d'aération Achères 1&2	Emulsion surface aération par cannes	Eaux moins chargées et aération spécifique (grosses bulles)	4	3	N
Bassin d'aération Achères 3	Emulsion surface aération par le fond	Pris en compte sur les eaux plus chargées d'Achères 4			
Bassin d'aération Achères 4	Emulsion surface aération par le fond	Eaux plus chargées et aération différente d'Achères 1&2 (bulles fines)	5	5	N
Décanteur secondaire	Retour des boues en excès	Procédure de réenclenchement ponctuel, interrupteur à déplacer			
Clarifloculation	Entretien actiflow	Ponctuel, équipes sous cagoule ventilée, contraintes techniques prélèvement			
	Exploitation épaisseurs	Process nécessite utilisation jet d'eau pour casser les boues en surface	6	6	O
Dénitrification	Biostyr	Eaux peu chargées mais symptômes digestifs	2	7	O
	Ouverture toit biophore	ouverture trappe pour manipulation hors procédure d'exploitation, eaux très peu chargées			
Zone biogaz (ATEX)	Ouverture trappe bâche de répartition	Boues avant traitement très chargées, poste de travail régulier (plusieurs fois par mois)	7	2	D
	Digesteurs	Moins chargé qu'au niveau de la collecte, poste moins exposé			
	Salle compresseurs	Circuit fermé, petit bouillonnement lors des purges mais peu fréquent et peu exposé			
	Tour Aéro-Réfrigérantes	Contrôles réguliers, résultats disponibles, présence temporaire			

La répartition des sites identifiés dans le tableau précédent dans la station Seine-Aval est illustrée ici sur le plan de masse de l'UPEI :

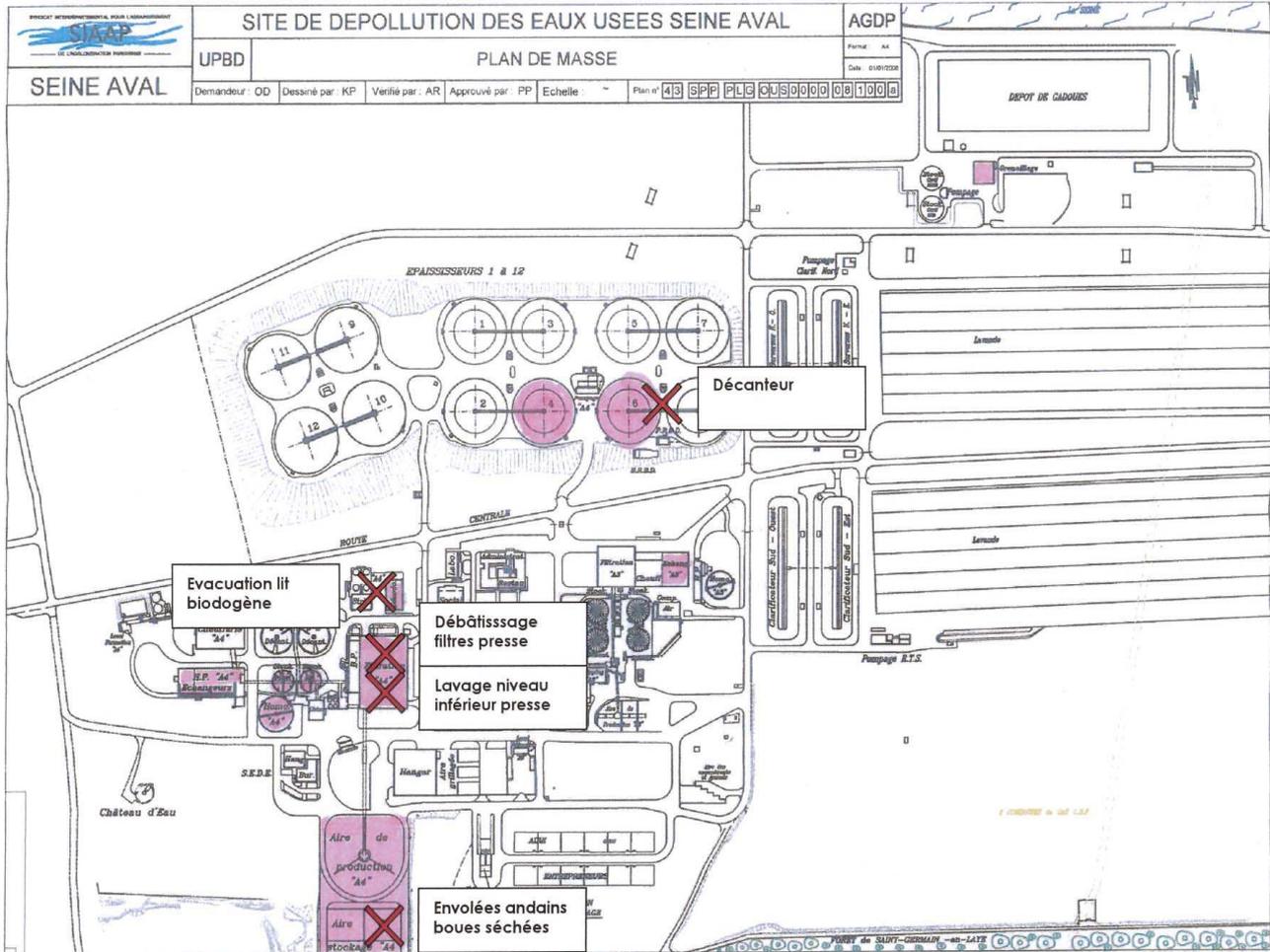


5.1.1.2 Sites identifiés UPBD

Etape du process	Poste identifié	Justification du choix	C1	C2	E
Epaisseurs	Remous remplissage bassin	Source riverains	8	8	N
Cuiser	Maintenance pompes	Pas de projections			
	Nettoyage échangeur de chaleur	Conduit boues cuites à 200°C, rincé plusieurs fois avant démarrage entretien			
Décanteur	Nettoyage au jet d'eau bassin vide	Peu fréquent, EPI adaptés			
Filtration presse	Débâtissage	Exposition poussières boues non aspirées + projections d'eau lavage des filtres	9	10	O
	Lavage niveau inférieur	Projections d'eaux boueuses, présence d'équipes d'entretien	10	11	N
Stockages boues	Envolées des andains de boues séchés	Possibilité de refermentation des tas, exposition poste de travail + source riverains	11	12	N
Grenailage filtres	Changement des sacs de récupération des résidus	Poste à l'air ambiant, EPI appropriés, source très locale d'émission			

Lit biodogène	Evacuation de l'air traité sur le site	Exposition globale sur le site, source riverains	12	09	N
Four	Arrivée des conduits d'air vicié et gaz de cuissons	Circuit fermé, process arrêté lors des maintenances			

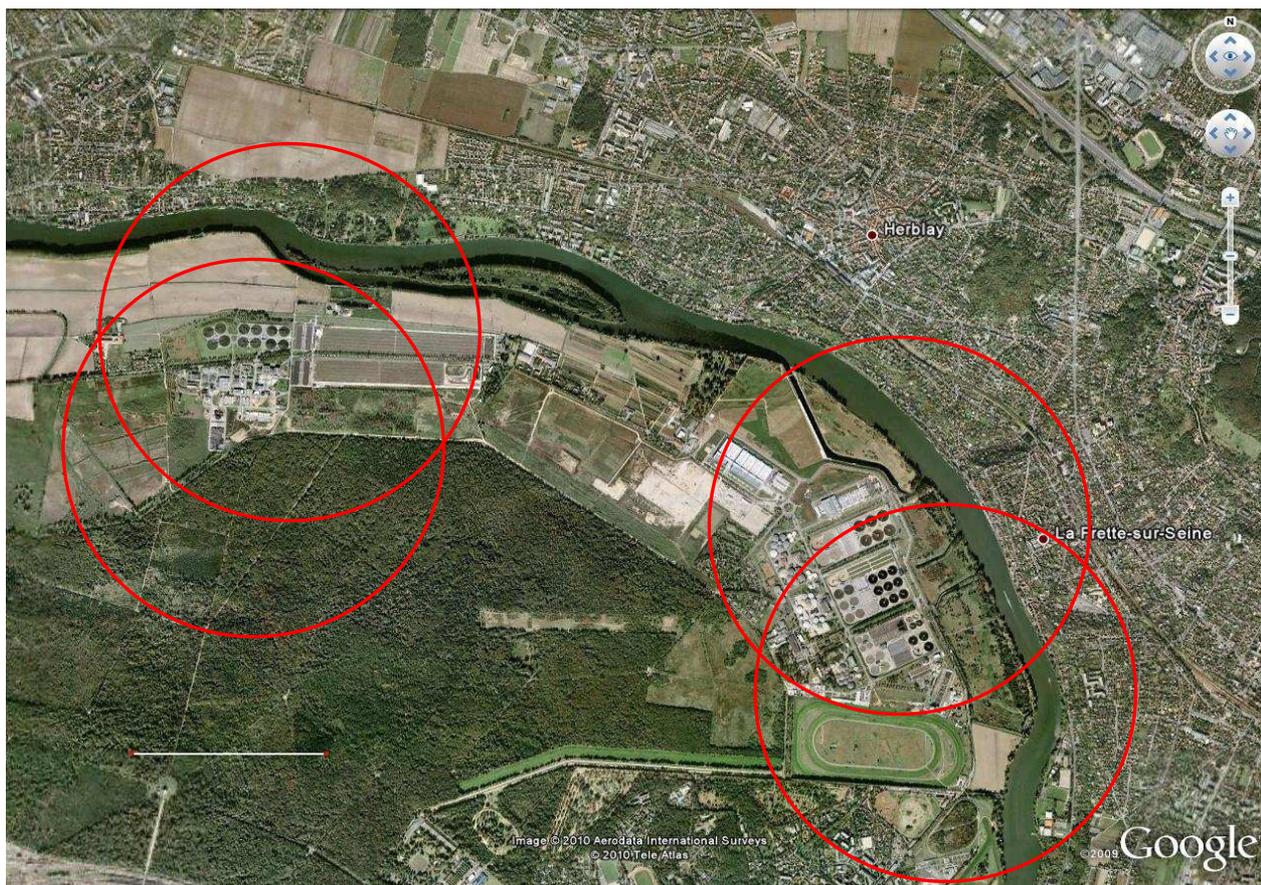
La répartition des sites identifiés dans le tableau précédent dans la station Seine-Aval est illustrée ici sur le plan de masse de l'UPEI :



5.1.2 Détermination des sites de mesure pour les points relatifs à la dispersion

Le programme a prévu la réalisation de prélèvements à des intervalles de distance réguliers à partir de la zone la plus émissive déterminée sur le site et ce dans un rayon maximal de 800 mètres autour du site.

Le plan ci-dessous présente les différentes zones d'1 km de rayon modélisées *a priori* (puisque bien entendu la dissémination effective fut corrigée moment par moment en fonction des conditions climatiques locales) sur la base des émissivités prévisibles des divers postes dans l'UPEI et l'UPBD :



Les points de mesure furent disposés de façon linéaire sous les vents dominants historiques de la zone (SO-NE selon les sources Météo France) ou dans l'axe du régime de vent constaté le jour de l'intervention si celui-ci s'est avéré différent, et ce pour chaque campagne. Ceci fut corroboré avec l'étude des données SYPROS (outil de simulation des panaches d'odeur du SIAAP) du jour concerné qui permet de confirmer l'orientation du panache des émissions du site.

Les prélèvements furent réalisés en amont et en aval du site par rapport à ces directions de vent (avec toutefois un plus grand nombre de points réalisés sous l'impact du site) au cours de la même journée.

5.1.3 Détermination des sites de mesure au niveau des riverains

Cette série de mesure fut réalisée sur différents points de prélèvement répartis en zone urbaine autour du site Seine Aval.

Il existe depuis plusieurs années un observatoire des odeurs constitué de résidents des communes riveraines. Ces derniers font régulièrement remonter leur perception de l'état olfactif au niveau de leur lieu de résidence, y compris sous formes de plaintes lorsque des nuisances sont subies.

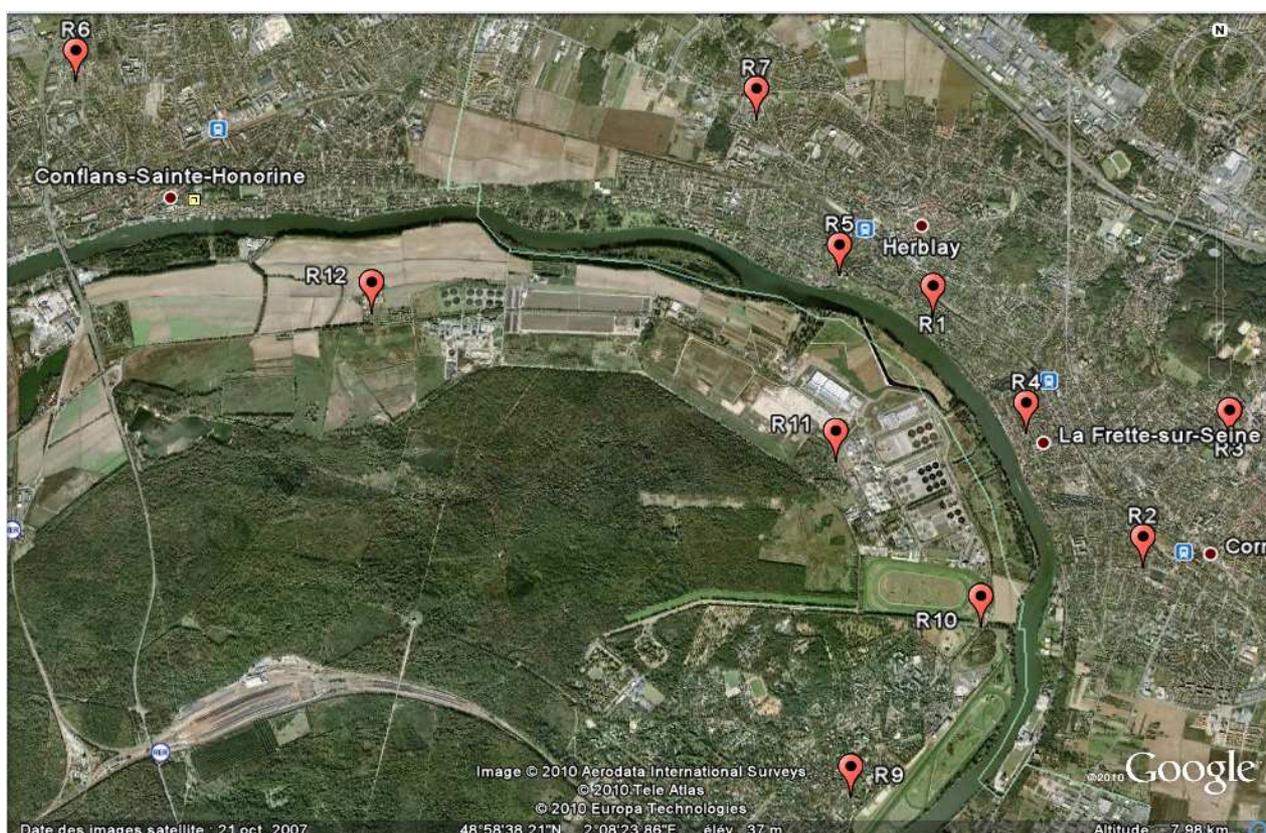
Sous réserve de leur accord et de leur disponibilité, certains des points de mesure ont pu être effectués chez ces riverains. Le prélèvement a été effectué sur le balcon ou à la fenêtre des logements. Les informations livrées par les riverains sur les odeurs ressenties le jour du prélèvement, par rapport aux observations habituelles ont permis d'enrichir l'analyse des conditions de dispersion des émissions du site au moment du prélèvement (ex : la présence d'odeurs ressenties comme importantes pourrait permettre de considérer la mesure comme représentative de l'impact du site en conditions défavorables). De même, les conditions

météorologiques et les données de l'outil SYPROS de modélisation de la dispersion des odeurs autour du site furent étudiées pour mieux exploiter les résultats des prélèvements effectués dans le cadre de cette série de mesure.

Les autres points de mesure furent placés au niveau de la voirie des différentes communes riveraines, dans la mesure du possible à proximité des sites sensibles (établissements scolaires, hôpitaux etc.) ainsi que dans la zone de logements réservés aux employés du site afin de représenter au mieux les préoccupations de chacun dans et autour de la station Seine-Aval.

A été également réalisé, en contrôle, un point de mesure de comparaison des niveaux urbains réalisé à Nogent sur Marne, ville située non loin de Paris et jouissant, tout comme les communes ciblées dans l'étude, du proche voisinage d'une zone boisée.

La figure suivante illustre la répartition des divers sites explorés ainsi que quelques indications d'ordre géographique (cf. tableau ci-dessous pour le descriptif des sites) :



Une large zone en croissant, épousant les caractéristiques naturelles (boucle de la Seine, dénivelé) et d'urbanisation de la région a été favorisée, avec une concentration en des endroits sensibles au plus proche du site de la station Seine-Aval. En tout 11 sites ont été investigués, le site R8 étant un contrôle basal urbain situé à Nogent sur Marne.

Le tableau suivant renseigne plus précisément sur la nature des sites illustrés précédemment:

Riverains	Panel Odeur	Total de plaintes	Référence
Rue de Pierrefitte	CONFLANS SAINTE HONORINE	6	R6
Rue des Frères Bolifraud	HERBLAY	107	R1
Bd. de Lorraine	CORMEILLES EN PARISIS	20	R2
Voirie			
Ecoles maternelles les chênes	HERBLAY	/	R7
Ecole Jeanne d'arc	HERBLAY		R5
Ecole Aristide Briand	La FRETTE		R4
Clinique du parc	MAISON-LAFITTE		R9
Clinique du parisis	CORMEILLES EN PARISIS		R3
Site SEINE-AVAL			
Ferme de la Garenne	/	R12	
Hippodrome de Maisons –Laffitte		R10	
Logements de fonction SIAAP		R11	
Référence Nogent/marne		R8	

5.2 Etude des paramètres d'impaction et de la variabilité

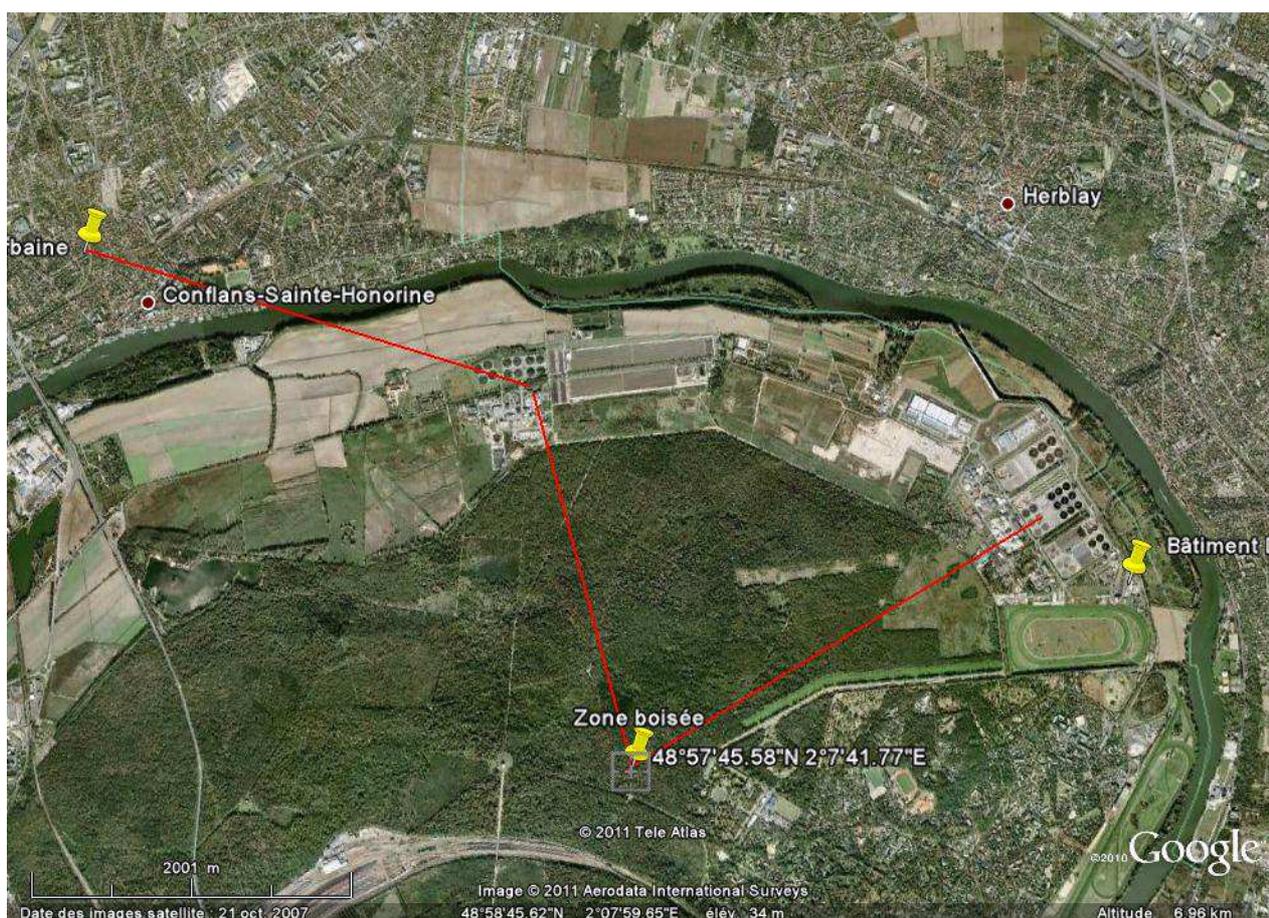
5.2.1 Mesures

Comme envisagé, cette série de mesure a permis d'optimiser l'implémentation des diverses méthodes d'échantillonnage (impaction solide ou collecte liquide, notamment en termes de temps de collecte). Elle fut également dédiée à l'estimation de l'incertitude sur les résultats qui pourront être obtenus.

- Pour étudier la répartition des résultats pour un même point de mesure, six prélèvements ont été réalisés successivement dans les mêmes conditions et dans un environnement soumis le moins possible à des variations de process ou de météorologie. Ainsi le point de mesure sélectionné pour cette étude est le bâtiment « dégrillage », qui est couvert et soumis de façon relativement stable au flux entrant d'eaux résiduaires.

- Un point de mesure a été réalisé en double (duplicat) au niveau d'une commune riveraine afin d'évaluer également les niveaux pouvant être mesurés en milieu urbain (3 km de l'UPBD).
- Afin de vérifier que les temps de prélèvement étaient adaptés aux différentes charges microbiologiques susceptibles d'être mesurées dans le cadre de cette étude, un dernier prélèvement fut réalisé en bordure du site en zone naturelle boisée entre 2,5 et 3 km des usines principales du site. La bibliographie met généralement en évidence la présence parfois importante de bioaérosols, souvent d'origine naturelle, en zones forestières.
- Enfin, un blanc (échantillon analysé mais non prélevé) a été qualifié pour chaque type de support utilisé (milieu bactérien, milieu fongique, liquide de collection, eau apyrogène) afin de contrôler la contamination intrinsèque à la préparation, la manipulation et le transport des échantillons.
- En résumé pour toute cette étude : variabilité sur site $r=6$, cadre urbain de confirmation $r=3$, émission naturelle (forêt) $r=2$.

La figure suivante illustre la répartition de ces points ainsi que la distance les séparant soit de l'UPEI (à l'est) soit de l'UPBD (à l'ouest) :



Les résultats de toute cette campagne sont consignés dans le tableau suivant. En bleu sont indiquées les valeurs des CFU lorsque disponibles. Les points déclarés comme « illisibles » correspondent en fait à des envahissements massifs des surfaces de culture rendant impossible

les comptages classiques. Ceci est une indication que la charge en microorganismes pour une condition donnée est trop élevée et que le temps d'échantillonnage doit donc être diminué en conséquence :

		Dégrillage (r=6)	Urbaine (r=3) (voirie pavillonnaire)	Boisée (r=2)
Impaction solide	Bactéries	2/3 des échant. sont « illisibles ». <i>>1500 CFU</i>	1/3 des prélèvements sont « illisibles » Charge bioaérosols < de 1,5 Unité log (95%) à celle de la zone de dégrillage <i>33 à 87 CFU</i>	<i>120 CFU</i>
	Levures	Faible dispersion (e=18%) <i>10 à 15 CFU</i>	Faible dispersion Contamination < de 0,8 log (70%) à celle du dégrillage <i>0 à 3 CFU</i>	
	Moisissures	Faible dispersion (e=22%) <i>270 à 470 CFU</i>	Faible dispersion Charge bioaérosols = à celle de la zone de dégrillage <i>450 à 470 CFU</i>	Charge bioaérosols > de 20% à celles du dégrillage et urbaine <i>500 à 600 CFU</i>
Récolte liquide		7 Paramètres au seuil de sensibilité 12 Paramètres a dispersion comprise entre 0,1 et 1,7 unité log	11 Paramètres au seuil de sensibilité 8 Paramètres à dispersion comprise entre 0,1 et 1,7 Unité log Charge bioaérosols < 0,1 à 1,5 log à celle de la zone de dégrillage (sauf pour le B 1-3 D glucane > 50%)	Groupage quasi idem Charge moisissures > de 20% à celle des zones de dégrillage et urbaine

5.2.2 Optimisation du protocole

Les résultats de cette étude ont permis de réaliser des ajustements bénéficiant directement les campagnes à venir en termes de pertinence et d'efficacité.

Ajustements opérationnels :

- Diminution des durées d'échantillonnage par impaction solide en zones de travail et urbaine,

- Diminution des durées d'échantillonnage par récolte en milieu liquide en zone urbaine.

Ajustement méthodologique :

- Mise en place d'une méthode de dénombrement d'*Aspergillus fumigatus* par méthode culturale pour pallier à des limitations de performance en termes de sensibilité de la méthode PCR

5.2.3 Variabilité

La variabilité des mesures s'est avérée très satisfaisante car relativement modérée, atteignant au maximum un facteur de 1,7 log, valeur tout à fait fonctionnelle dans le cadre de ce genre d'expérimentations. Ceci permet donc de confirmer la pertinence des méthodes qui seront déployées, en conditions identiques, au cours des campagnes effectives d'évaluation de l'aérobiocontamination sur le site Seine-Aval et ses alentours.

5.2.4 Climatologie

Des relevés climatiques ont été réalisés au cours de cette pré-étude afin de pouvoir réaliser et qualifier au mieux les échantillonnages.

Sont ici illustrées de manière succincte les grandes tendances relevées sur site, par les opérateurs du consortium ainsi que par les appareillages résidents du SIAAP :

	Relevé consortium	Relevé SIAAP
Vitesse vent (m/s)	0 à 4 m/s	0,5 à 3,5 m/s
Orientation Vent	Orientation Sud en zone urbaine Tournant en zone forestière	Dominant Est
Pluie (mm)	0	0
Hygrométrie (%)	38,5 à 45,5 %	40 à 50 %
T° (°C)	20 à 23°C	20 à 24 °C

6 Aérobiocontamination : synthèse globale

La table ci-dessous représente de manière extrêmement condensée les résultats de mesure de chaque paramètre biologique sur le site, les étapes de dissémination et les riverains (internes ou externes à l'usine) dans leur globalité et ce au niveau des deux campagnes.

Seuls les résultats indiqués par la couleur orange (cf. légende du tableau ci-après) constituent des détections significativement positives :

	Campagne 1			Campagne 2		
	Site	Dissémina°	Riverains	Site	Dissémina°	Riverains
Bactéries totales						
Bactéries G+ (impac. solide)						
Bactéries G+ (impac. liquide)						
Bactéries G- (impac. solide)						
Bactéries G- (impac. liquide)						
Moisissures (impac. solide)						
Moisissures (impac. liquide)						
Levures (impac. solide)						
Levures (impac. liquide)						
Entérobactéries pathogènes						
Entérocoques						
Endotoxines						
<i>Aspergillus fumigatus</i> (culture)						
<i>Klebsiella pneumoniae</i>						
Bactéries hétérotrophes totales						
Coliformes thermotolérants						
Spores de bactéries sulfito-réductrices						
Coliphages à ARN F spécifique						
Entérovirus						
<i>Legionella spp</i>						
<i>Legionella pneumophila</i> (dont sérogroupe1)						
Actinomycètes thermophiles						
B (1-3) D-glucanes						

Légende

Mesures significativement positives
Mesures équivalentes au bruit de fond
Mesures < limite de détection de la technique

Deux constats de prime abord:

- Le premier est une homogénéité satisfaisante entre les deux campagnes, malgré bien entendu des variations prévisibles mais néanmoins modérées, notamment en ce qui concerne les points choisis pour les explorations de dissémination (le paramètre potentiellement le plus « labile », car présentant la plus grande sensibilité aux conditions climatiques),
- Le second est l'absence, à quelque niveau que ce soit, de détection de coliphages à ARN F spécifique, d'entérovirus et de *Legionella pneumophila*.

La présentation de ce tableau englobe pour chaque élément les 12 points de mesure systématiquement investigués. Il convient donc de rappeler qu'un résultat apparaissant ici comme significatif peut ne concerner que quelques postes/localisations bien particuliers.

C'est notamment le cas pour les coliformes thermotolérants et les légionelles (à l'exception donc des *Legionella pneumophila* susmentionnées) observés uniquement au cours de la campagne 2 et seulement pour les postes P1 et P6 (UPEI) sur lesquels nous reviendrons dans les sections dédiées.

Ainsi les graphes présentés dans les parties suivantes correspondent aux observations les plus marquées. Certains paramètres peuvent ne pas apparaître sous forme de graphe car s'avérant plus contextuels, cependant le cas échéant ils seront évoqués et discutés dans les parties adéquates.

Enfin, il convient d'effectuer une certaine distinction entre les paramètres usuellement retenus et reconnus comme témoins généraux du niveau de contamination globale que sont la mesure des bactéries totales, le décompte des levures et moisissures, la mesure des endotoxines et (contextuellement en support) la composante particules et des paramètres plus spécifiques comme peuvent l'être les mesures d'*Aspergillus fumigatus*, des entérobactéries pathogènes, entérocoques, bactéries hétérotrophes ainsi que toutes leurs sous-classes éventuellement identifiables. Si les premiers font souvent l'objet de normes sanitaires (quoique variables selon les pays et les organismes), les seconds peuvent être plus difficiles à aborder, en raison d'une littérature scientifique plus restreinte ou le cas échéant plus difficilement comparable (variabilités des méthodes et sujets d'investigations, variabilité des résultats etc.)

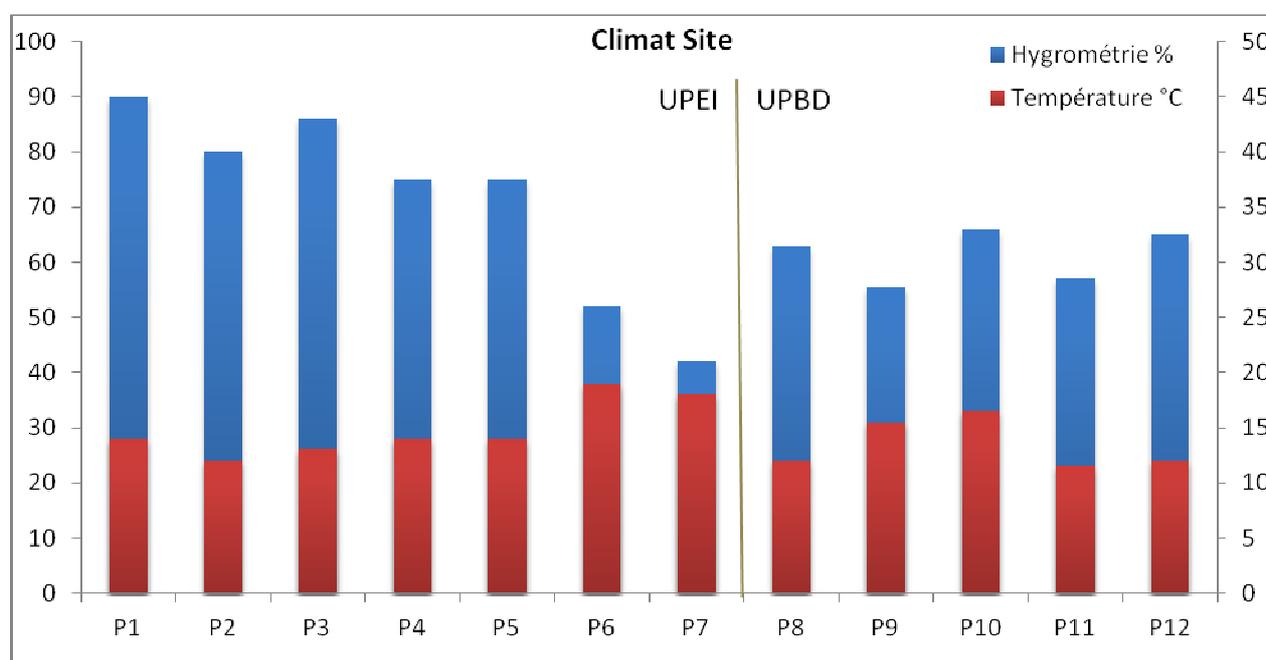
7 Etude exposition professionnelle

Comme indiqué précédemment, les postes de travail analysés sont répartis entre l'UPEI (7 postes en comptant la zone des vannes de La Frette, de P1 à P7) et l'UPBD (5 postes, de P8 à P12). Ces derniers, identifiés originellement sur la base des possibilités d'exposition (source et transfert prévisibles) des travailleurs à ces postes lors des opérations courantes, ont vu leur pertinence confirmée par la pré-étude.

7.1 Campagne.1

7.1.1 Climatologie

Le graphe suivant illustre les mesures d'hygrométrie et de température effectuées à chaque poste concomitamment avec les échantillonnages d'aérobiocontamination. L'hygrométrie est représentée sur l'axe de gauche, la température sur l'axe de droite :



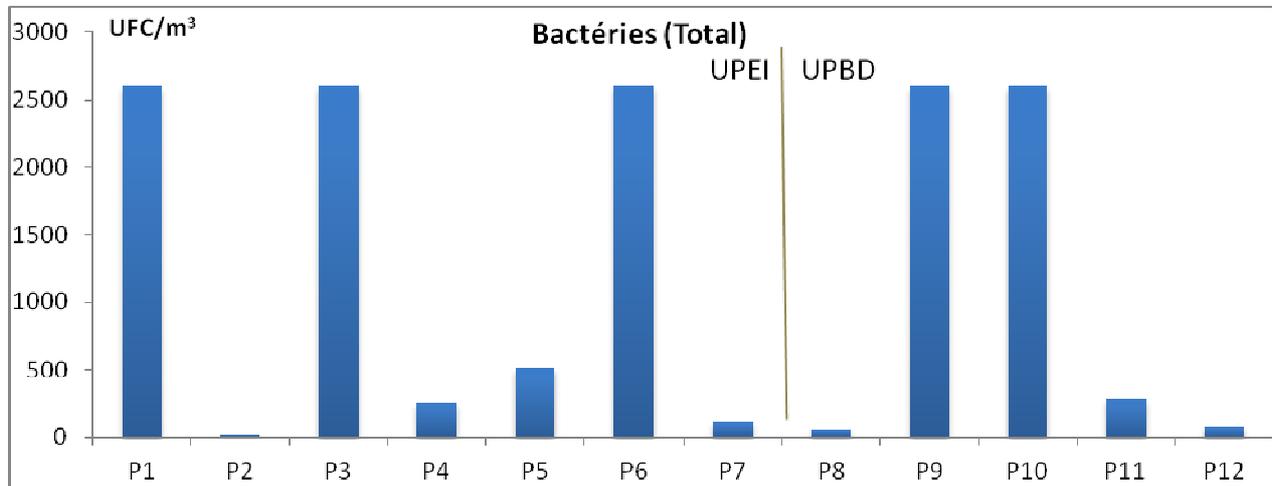
L'hygrométrie est généralement plus importante (à l'exception de P6 et P7) au niveau de l'UPEI que de l'UPBD, ce qui est facilement explicable par la nature des opérations y étant effectuées. La température est variable selon les postes, la plupart du temps relativement fraîche mais conforme aux ambiances de travail habituelles dans ce type d'usines.

Globalement, les conditions sont plutôt favorables au développement (ou à défaut à la survie) de micro-organismes divers, surtout mésophiles. Dans le cadre des postes de l'UPEI on peut suspecter des opportunités d'aérosolisation par microgouttelettes supérieures, même si lors des diverses opérations de nettoyage par jets/eau vive dans l'ensemble de l'usine ce potentiel est similaire pour tous les poste concernés.

En résumé et a priori, les sources et modes de transfert et exposition (inhalation, contact dermique) doivent être considérés comme réels.

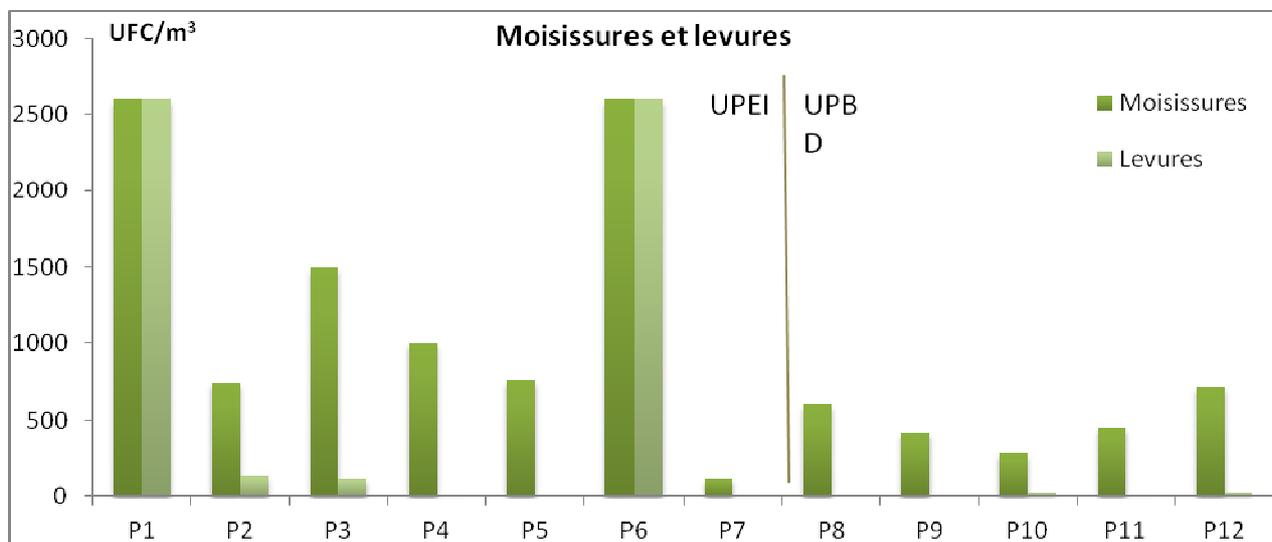
7.1.2 Microbiologie

Les graphes suivants regroupent les résultats de mesure pour chaque paramètre d'intérêt. Les paramètres ne figurant pas dans cette section se sont tout simplement révélés non informatifs, la plupart du temps car les relevés se sont avérés inférieurs aux limites de détection décrites des divers protocoles implémentés. Une analyse synthétique est associée à chaque graphe, individuellement ou après remise dans son contexte global.

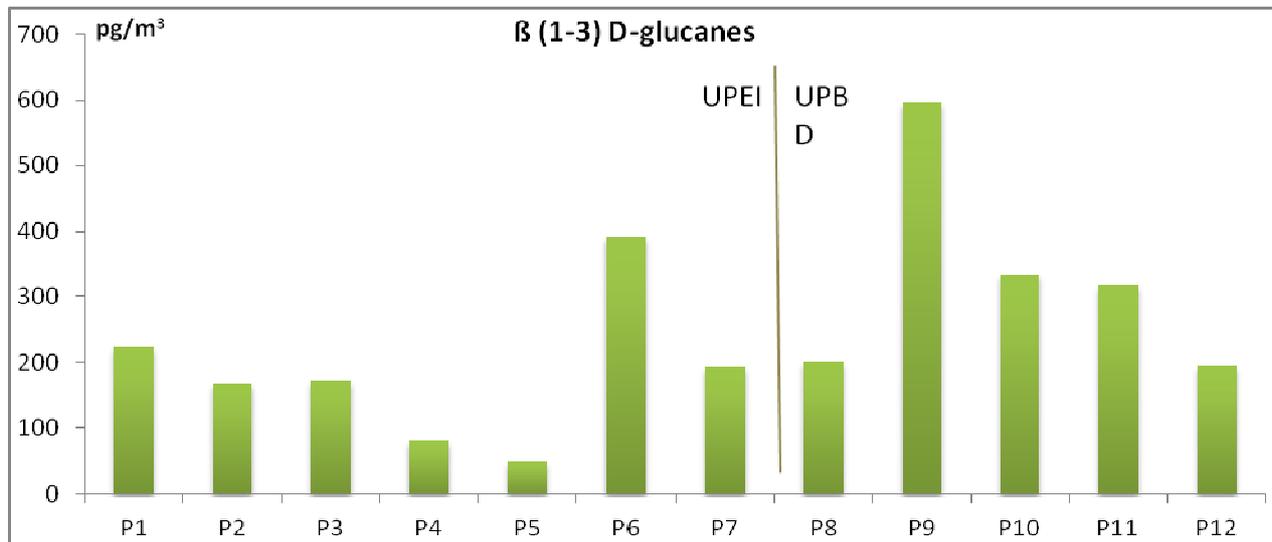


5 postes ressortent ici, atteignant d'ailleurs les limites de saturation du test. Ainsi, P1, P3, P6, P9 et P10 apparaissent largement émissifs. Les aérobiocontaminations y étant mesurables sont bien au dessus de la VLE du Royaume-Uni (10^3 UFC/m³) et de la Finlande (au niveau des bureaux). Ceci dit, elles sont vraisemblablement inférieures aux VLE de $4,5 \times 10^3$ et 10^4 UFC/m³ respectivement édictées au niveau de la Finlande (habitations), du Canada & INRS, de même que les VLE suggérées par les travaux de l'ASTEE dans le paragraphe 5.4. Il n'y a donc pas nécessairement d'alerte à sonner ici, d'autant plus que les VLE ne sont pas forcément comparables entre elles notamment en ce qui concerne le temps d'exposition (de plus, par exemple, les postes P1, P9 et P10 sont surtout concernés pendant les opérations de nettoyage, lesquelles peuvent rendre les contacts éventuels plus ponctuels, même si potentiellement plus marqués).

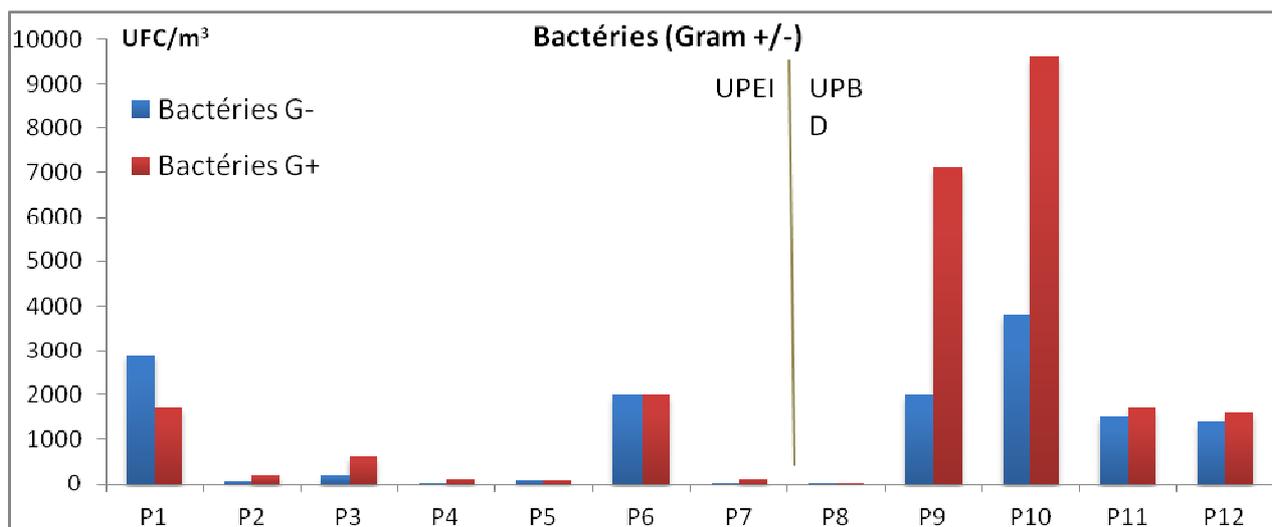
Ceci dit, les émissions constatées à ces postes ne peuvent être ignorées et l'importance des bonnes pratiques et EPI ne devrait pas y être sous-estimée.



A nouveau les émissions imputables à P1 et P6 (et dans une certaine mesure P3) ressortent au dessus des tous les autres postes (limite de saturation du test). Elles s'avèrent supérieures à certaines VLE décrites, comme par exemple 10^3 UFC/m³ pour le Royaume-Uni et la Suisse et 2500 UFC/m³ maximum pour la Finlande. Ceci dit là encore, la difficulté de comparer des VLE en cas d'expositions variables, ainsi que les conclusions du groupe ASTEE conduisent à conclure de manière identique à précédemment, à savoir une probabilité très faible de danger sanitaire particulier pour les opérateurs de ces postes si correctement équipés.

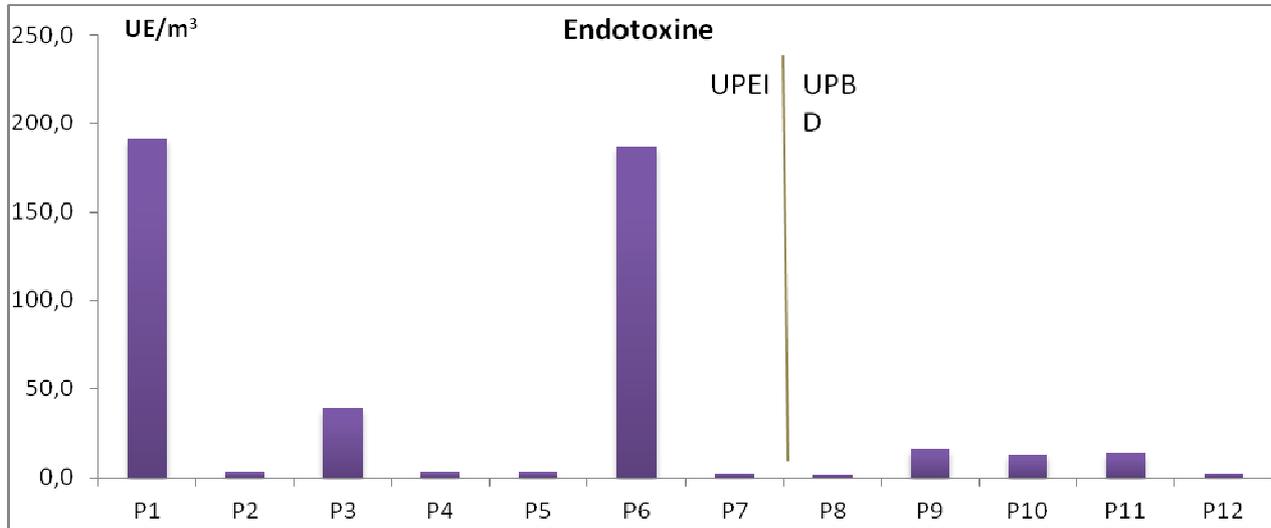


Les mesures de β(1-3) D-glucanes ci-dessus, spécifiques de contaminations d'ordre fongiques, illustrent cependant la nécessité de ne pas considérer que les postes de l'UPEI et de garder à l'esprit que les environnements de travail dans l'UPBD, bien qu'il est vrai généralement moins émissifs, doivent tout de même eux aussi faire l'objet de la surveillance et de la prudence appropriées.

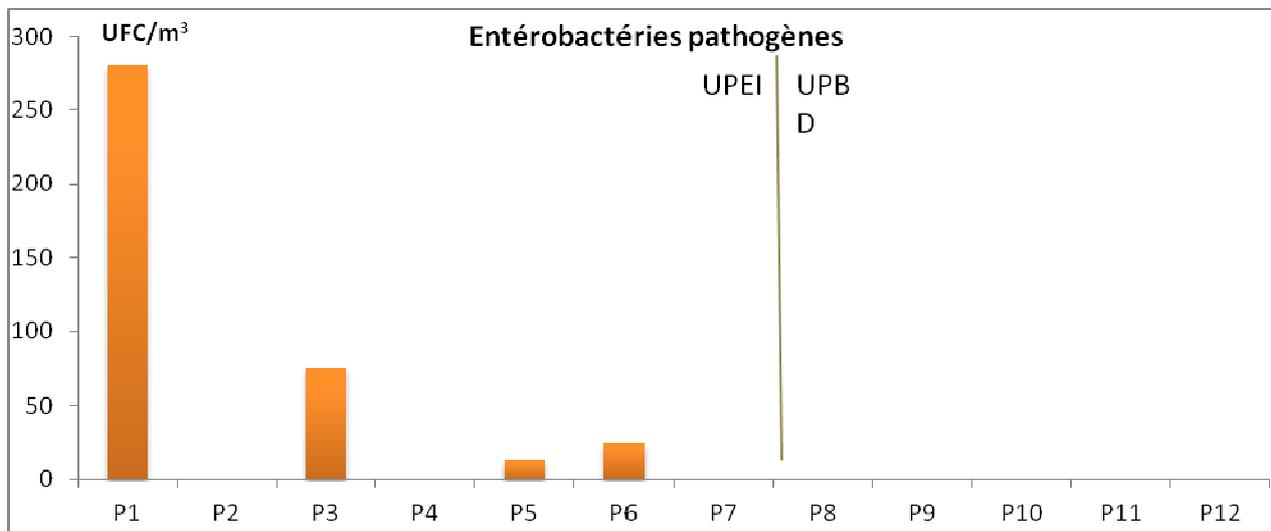


De nouveau, P1, P6, P9, P10, P11, P12 témoignent d'aérobiocontaminations mesurables au dessus des VLE pour les bactéries Gram – de l'INRS, du Canada, de la Suisse (10^3 UFC/m³ chacune) et du Royaume-Uni (300 UFC/m³). Mais elles restent inférieures aux VLE proposées par l'ASTEE, (lesquelles sont sans doute plus adaptées au contexte du site Seine-Aval, sans compter l'impossibilité de comparer directement ces valeurs avec les VLE en raison de protocoles

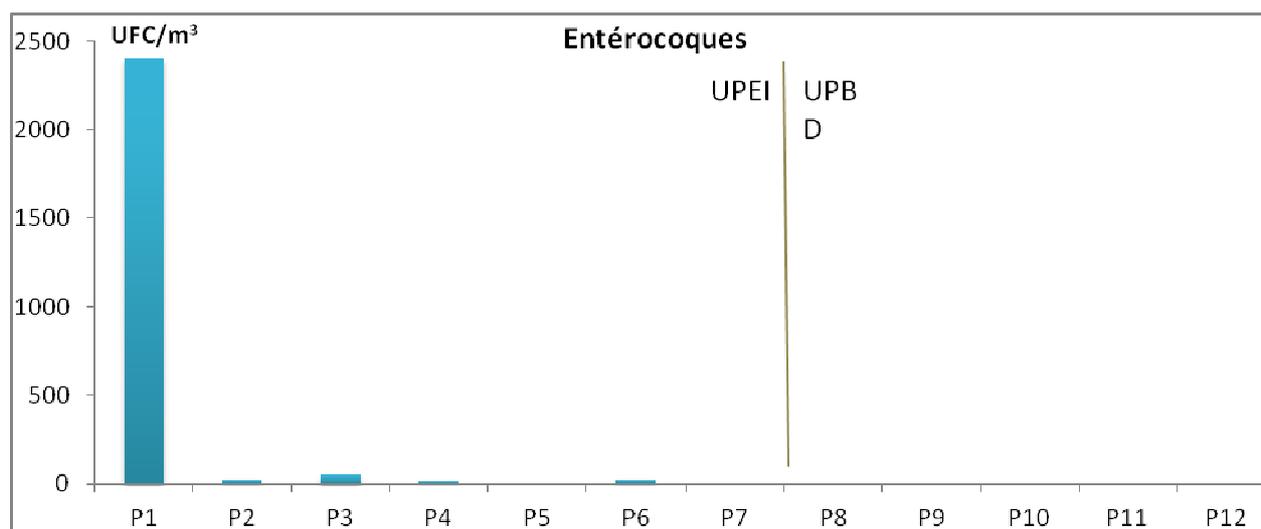
particuliers) et conduisent à ne pas évoquer de danger particulier à ces postes si ce n'est qu'à nouveau il est confirmé qu'une attention particulière devrait leur être portée en termes d'émissivité.



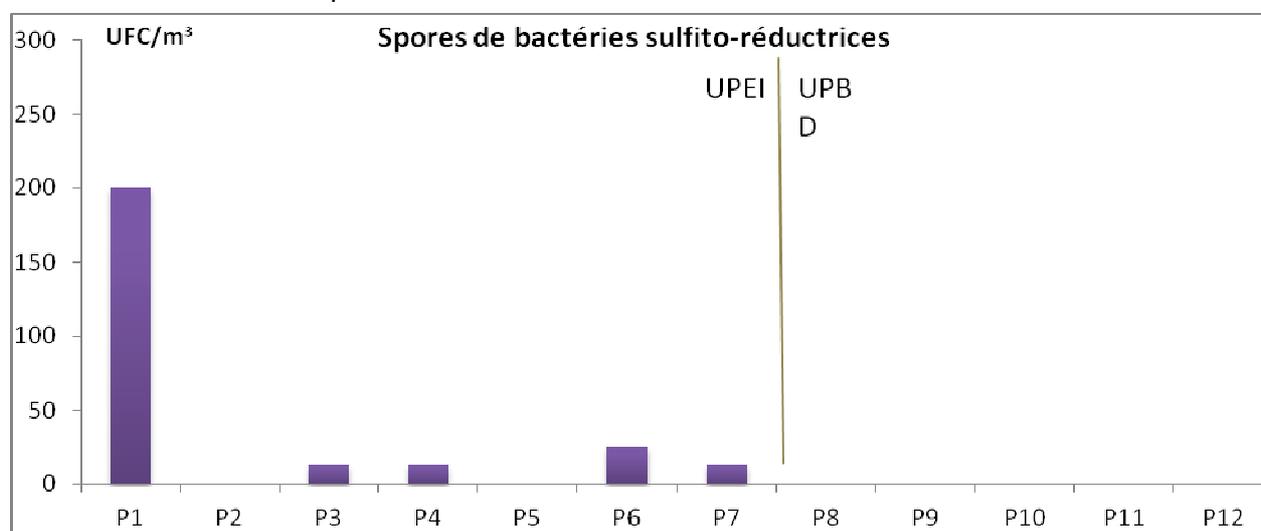
Les valeurs d'endotoxines mesurées sont ici relativement faibles et toutes en dessous des VLE régulièrement en cours (de 200 à 2000 UE/m³ selon ces dernières). Néanmoins il est intéressant de constater qu'à nouveau les postes P1 et P6 se détachent nettement en particulier si l'on se réfère à la valeur seuil de 90 UE/m³ retenue par le DECOS des Pays-bas.



Cf. commentaire plus bas



Cf. commentaire plus bas

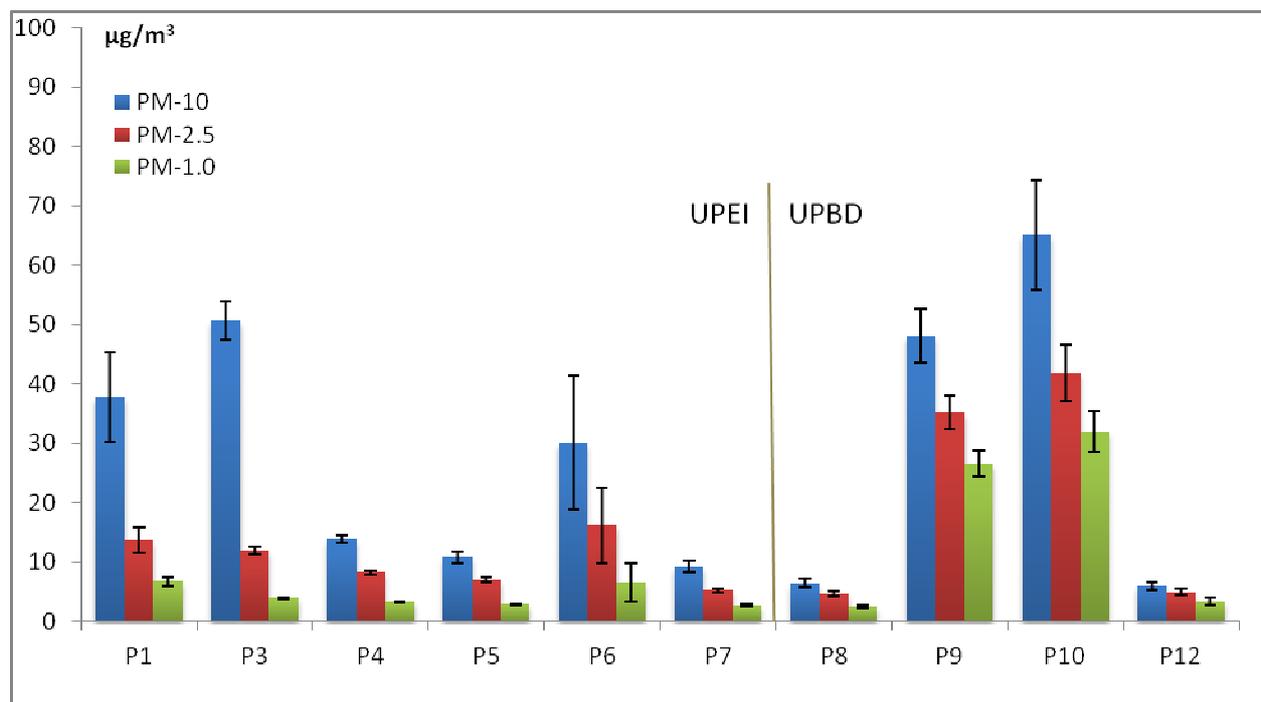


Il est intéressant de constater que tant pour les entérobactéries pathogènes, les entérocoques que pour les spores de bactéries sulfito-réductrices, aucun poste de l'UPBD n'est associé à une quelconque détection mais qu'à nouveau le poste P1 de l'UPEI dépasse en termes d'émission tous les autres de manière très marquée.

Pour ces paramètres, il est difficile de s'appuyer sur la littérature, très restreinte, et l'absence de normes spécifiques ciblant précisément ces biocontaminants n'offre pas non plus d'éclairage particulier. Néanmoins, si l'on se réfère au rapport SIAAP établi par Paffoni & Dubois, nous constatons que les 2 unités log d'entérobactéries identifiées lors de cette étude sont dans la gamme de leurs observations ; le dénombrement de plus de 250 UFC/m³ d'entérobactéries pathogènes et surtout de quasiment 2500 UFC/m³ d'entérocoques conduisent à appeler à porter une attention particulière à P1 (les faibles émissions des autres postes, notamment P3, pouvant être considérées comme négligeables avec une confiance satisfaisante), d'autant plus que ce poste est systématiquement parmi les plus grands (si ce n'est le plus grand) contributeurs d'aérobiocontamination pour tous les paramètres biologiques jusqu'ici explorés.

7.1.3 Particules

Les histogrammes ci-dessous représentent les mesures de particules, subdivisées selon 3 catégories de taille (<PM1, <PM2.5 et <PM10) :



Ils permettent de mettre en évidence qu'il n'y a pas nécessairement de lien direct entre les émissions particulaires et les résultats d'aérobiocontamination, puisque si divers micro-organismes aérosolisés peuvent être comptés dans les particules, les éventuelles toxines qu'ils peuvent libérer ne le sont pas. A l'opposé, un environnement de travail tel que celui d'une usine d'assainissement peut générer une charge particulaire variée qui n'est pas forcément constituée de micro-organismes, fussent-ils viables ou non.

En référant au document « Valeurs limites d'exposition professionnelle aux agents chimiques en France », produit par l'INRS, B. Courtois, en juin 2008 et selon l'article R.4222-10 du code du travail, dans les locaux les concentrations moyennes en poussières inhalables (PM10) et alvéolaires (PM 2.5 et PM 1) de l'atmosphère inhalée par une personne, évaluées sur une période de 8 heures, ne doivent pas dépasser respectivement 10 et 5 mg/m³ d'air (valeur limite réglementaire contraignante). La circulaire du ministère du Travail du 9/05/1985 précise que ces valeurs concernent les poussières réputées sans effet spécifique, c'est-à-dire qui ne sont pas en mesure de provoquer elles seules sur les poumons ou sur tout autre organe ou système du corps humain d'autre effet que celui de surcharge.

Au niveau du site étudié, on ne peut pas affirmer que ces poussières sont exemptes d'effet spécifique, néanmoins les valeurs limites proposées par l'INRS seront utilisées comme référence par défaut.

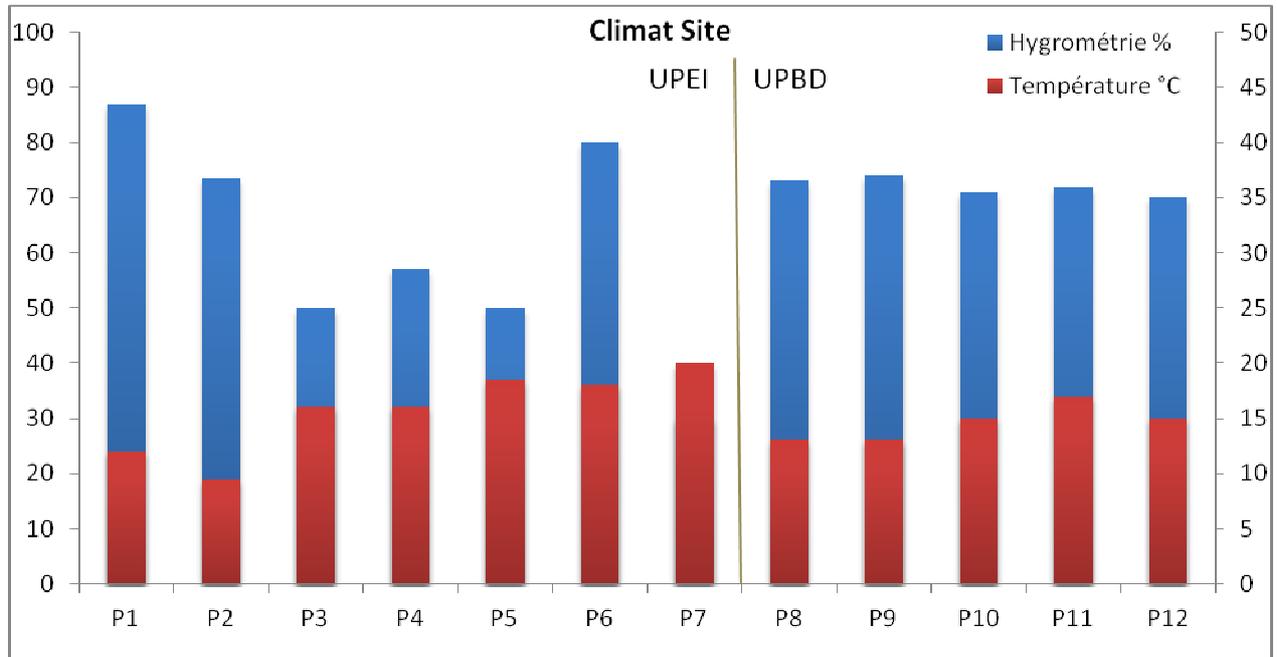
Même s'il n'est pas possible de réaliser des comparaisons à l'identique, il semble que les valeurs relevées puissent être considérées comme en dessous des VLE évoquées ci-dessus et en 4.5 (exemple de VLE édictées par l'Allemagne) et qu'il n'y a donc pas lieu de réaliser de quelconques mises en garde.

Il est néanmoins possible d'observer une certaine cohérence pour les postes P1, P3, P6, P9 et P10, qui corroborent beaucoup d'observations microbiologiques précédentes.

7.2 Campagne 2

7.2.1 Climatologie

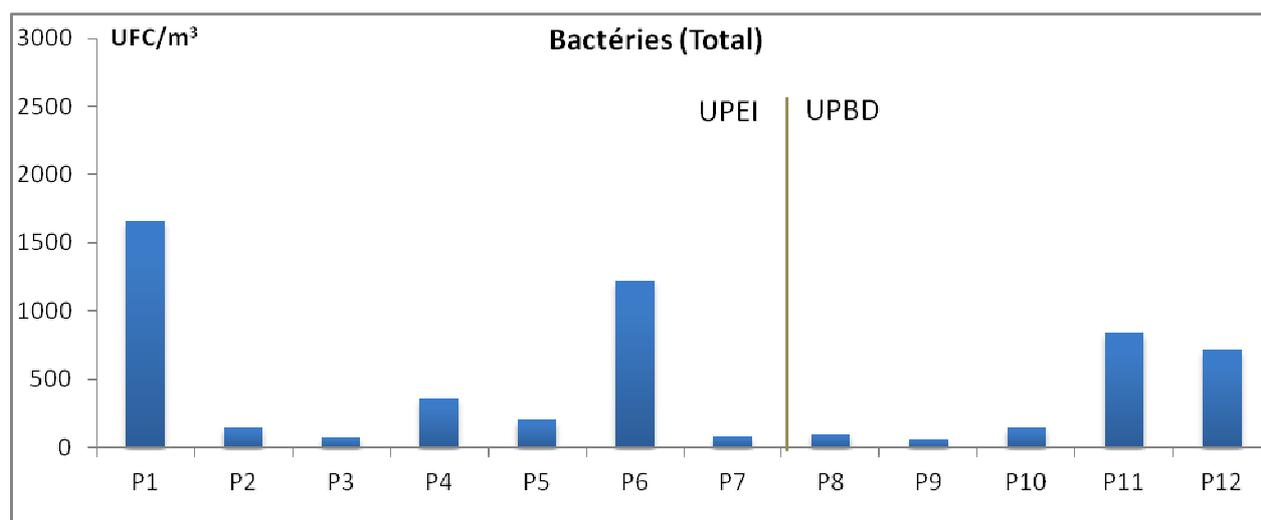
Le graphe suivant illustre les mesures d'hygrométrie et de température effectuées à chaque poste concomitamment avec les échantillonnages d'aérobiocontamination. L'hygrométrie est représentée sur l'axe de gauche, la température sur l'axe de droite :



Par rapport aux mesures équivalentes de la campagne 1, les taux d'hygrométrie ont chuté sur certains postes (P3, P4, P5, P7) tout en s'avérant à la fois plus homogènes et élevés dans les postes de l'UPBD. Les températures apparaissent généralement plus douces et correspondent tout à fait à la période sur laquelle se sont déroulés les échantillonnages. Il n'y a aucune incitation à moduler les conclusions établies au cours de la campagne 1, qui sont plus que jamais valides en ce qui concerne les opportunités de production et dispersion d'éventuels micro-organismes viables ou de leurs toxines, au moins dans le proche environnement des postes de travail examinés.

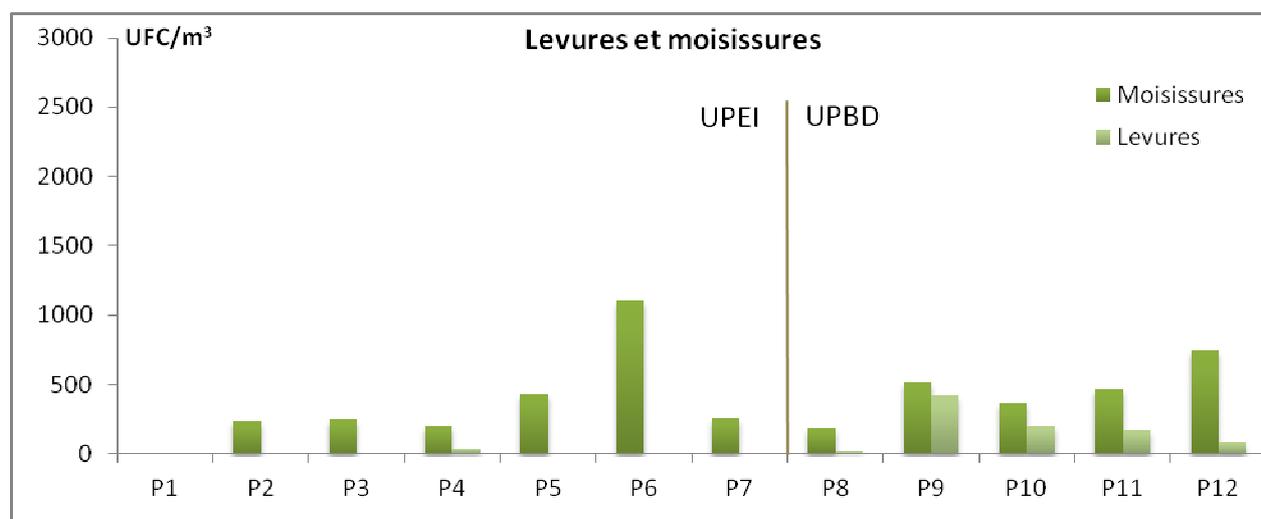
7.2.2 Microbiologie

Comme précédemment, les graphes inclus dans cette section représentent les résultats de mesure pour chaque paramètre d'intérêt. Les paramètres ne figurant pas dans cette section se sont tout simplement révélés non informatifs, la plupart du temps car les relevés se sont avérés inférieurs aux limites de détection décrites des divers protocoles implémentés. Une analyse synthétique est comme de coutume associée à chaque graphe, individuellement ou après remise dans son contexte global.



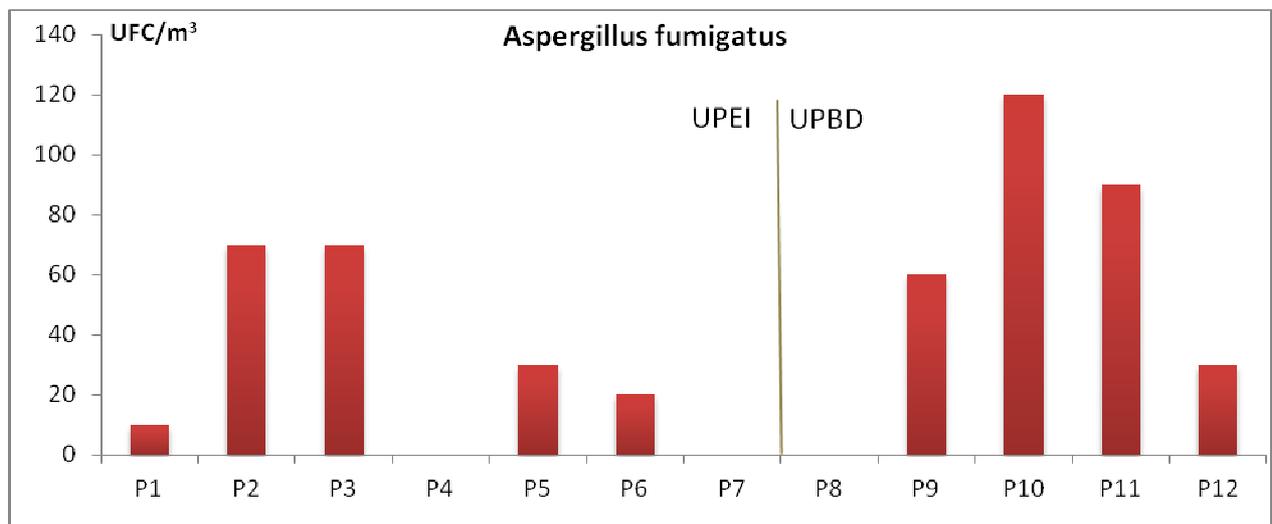
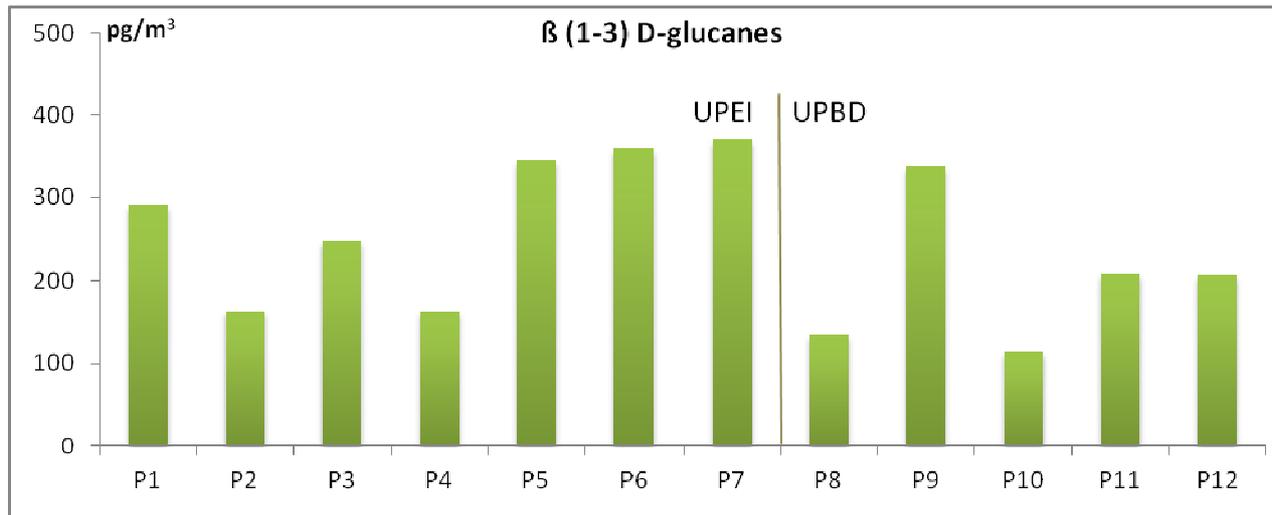
Ces résultats confirment la nature particulièrement émissive des postes P1 et P6, déjà constatée pendant la campagne 1. Les postes P9 et P10 émettent ici de manière négligeable, à l'inverse des postes P11 et P12 qui pourraient potentiellement impacter les travailleurs à ces postes voire les riverains les plus proches.

Néanmoins à nouveau, ces expositions ont vraisemblablement inférieures aux diverses VLE décrites ici et ne devraient pas poser de problème particulier moyennant à nouveau bonnes pratiques opérationnelles et emploi qualifié d'EPI valides.

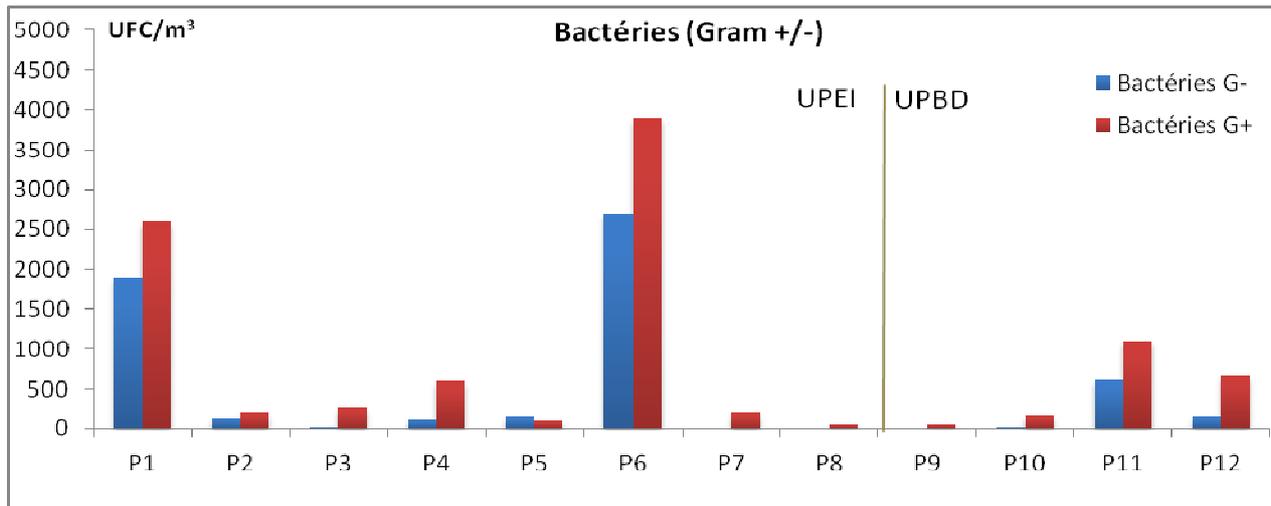


Contrairement aux résultats de la campagne 1, il n'apparaît pas de poste particulièrement émissif ici, mis à part une nouvelle fois P6. Les résultats de P1 sont inexploitable et P9, P10, P11 et P12 restent en deçà des 1000 UFC/m³. Cette variabilité n'est pas nécessairement surprenante en regard des données illustrées dans les paragraphes 5.3 et 5.5. Rien de particulier à signaler ici donc, à part la confirmation de l'attention particulière à porter au niveau du poste P6.

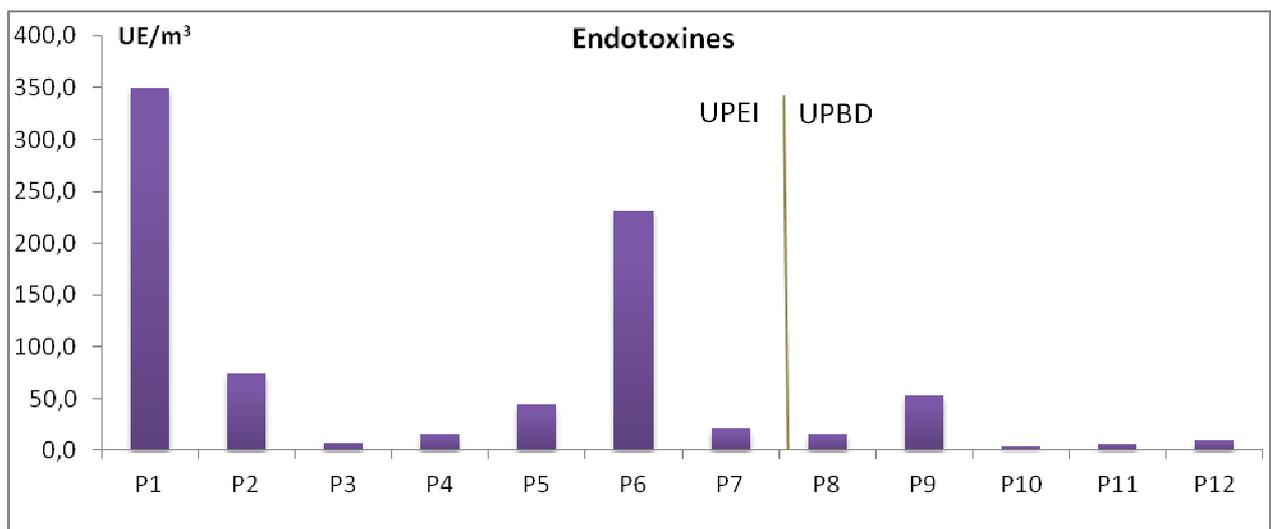
Les résultats portant sur la mesure des $\beta(1-3)$ D-glucanes ci-dessous sont eux aussi très similaires à la campagne 1 :



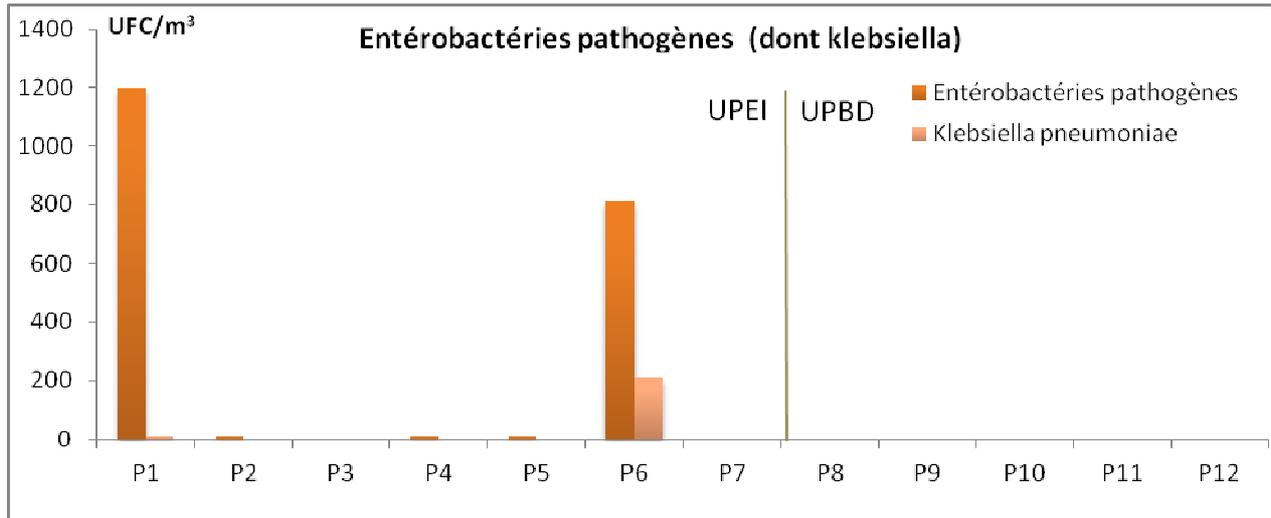
Ci-dessus sont illustrés les relevés spécifiques d'*aspergillus fumigatus*, pathogène soit directement (infectieux) soit au travers de ses émissions de mycotoxines. Les valeurs correspondent à celles décrites dans les références bibliographiques évoquées dans le rapport « Données disponibles pour l'évaluation des risques liés aux bioaérosols émis par les installations de stockage des déchets ménagers et assimilés » (L. Delery INERIS, 2003) et en raison des activités impliquées, il n'est pas surprenant de voir les postes de l'UPBD (toujours P9 à P12) afficher des émissions respectables (fermentations/décompositions). Bien qu'en tout état de faits, ces valeurs ne constituent probablement pas un danger, ces mesures rappellent que chaque poste peut être vecteur de biocontaminants et que toutes les précautions opératoires doivent être respectées (même si des postes comme P4 et P8 semblent de toute évidence des contributeurs systématiquement très modestes, voire nuls).



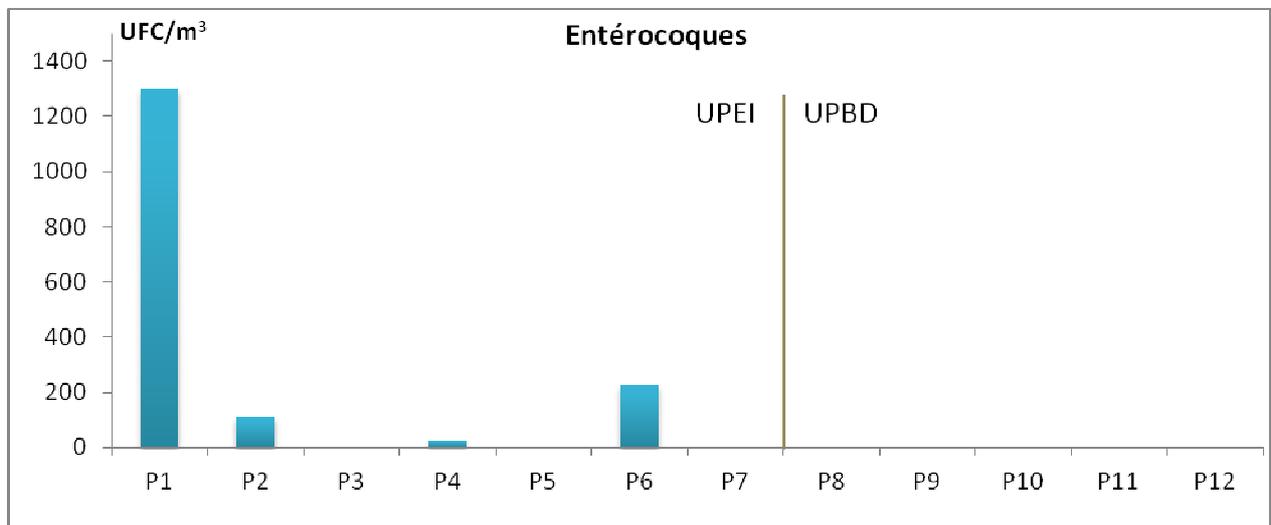
Ici, seuls P1 et P6 témoignent d'aérobiocontaminations mesurables au dessus des VLE pour les bactéries Gram – de l'INRS, du Canada, de la Suisse (10^3 UFC/m³ chacune) et du Royaume-Uni (300 UFC/m³). Mais elles restent inférieures aux VLE proposées par l'ASTEE, et ne permettent vraisemblablement pas de remettre en cause la conclusion établie lors de la campagne 1 pour ces postes si ce n'est le rappel qu'une attention particulière devrait leur être portée en termes d'émissivité.



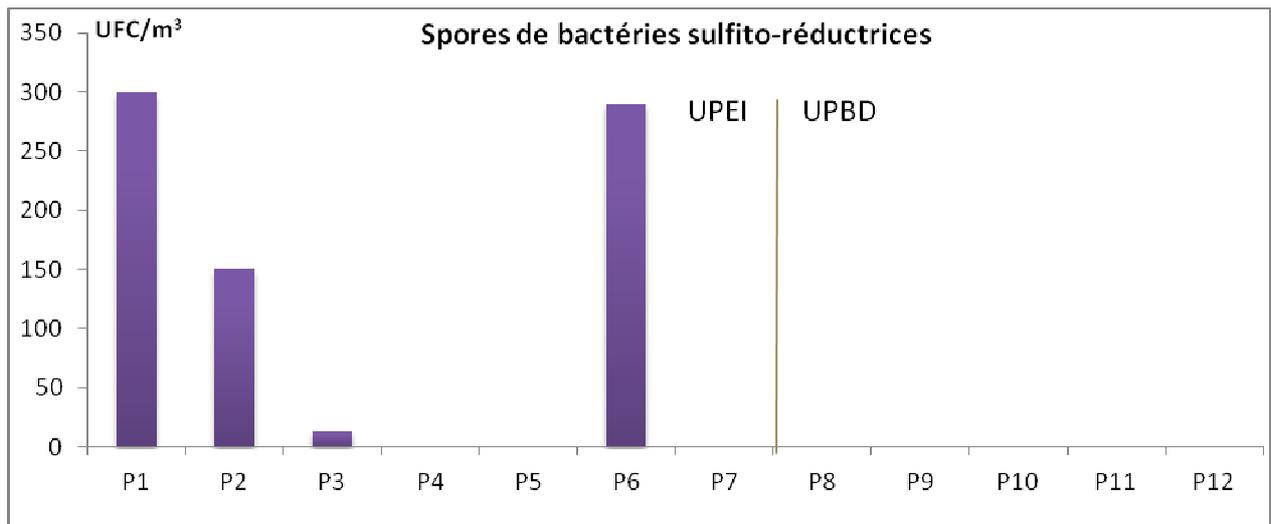
Les valeurs d'endotoxines mesurées sont du même ordre de grandeur que celles obtenues au cours de la campagne 1 et restent relativement faibles même si elles apparaissent plus élevées dans cette campagne. Les postes P1 et P6 se détachent encore nettement, avec quelques légers « sursauts » aisément négligeables de P2, P5 et P9.



Cf. commentaire plus bas



Cf. commentaire plus bas



De nouveau, en ce qui concerne les entérobactéries pathogènes, les entérocoques et les spores de bactéries sulfito-réductrices, aucun poste de l'UPBD n'est associé à une quelconque détection.

De même le poste P1 de l'UPEI se démarque à nouveau en ce qui concerne l'intensité de ses émissions, et si les relevés correspondant aux entérocoques sont ici réduits de moitié par

rapport à la campagne 1, les valeurs d'entérobactéries pathogènes ont plus que quadruplé par rapport à cette même référence.

Tout aussi marquant, le poste P6 qui s'est lui aussi illustré dans de nombreux résultats d'émission mais qui semblait ne pas contribuer aux émissions pour ces paramètres dans la campagne 1 affiche maintenant des valeurs comparables à P1, au moins en ce qui concerne les spores de bactéries sulfito-réductrices et les entérobactéries pathogènes. A ce propos, ce même poste est associé à la détection spécifique du pathogène *klebsiella pneumoniae* qui, s'il est difficile à relier à une évaluation du risque, reste néanmoins une observation à ne surtout pas négliger en termes de conséquences sanitaires possibles. A ce propos, les intervenants médicaux du site Seine-Aval ont déjà souligné l'existence de symptômes digestifs rattachables à ce poste malgré les eaux comparativement peu chargées qui y circulent. C'est d'ailleurs la raison originelle de l'inclusion de ce poste dans cette étude, qui s'avère a posteriori pertinente et à plus forte raison au vue des mesures systématiquement associées à ce poste.

Les quelques « sursauts » en zone Biogaz (poste P2) peuvent aisément être négligés en raison de leur caractère plutôt modéré.

7.2.2.1 Cas particuliers des coliformes thermotolérants et légionelles

De manière cohérente avec tout ce qui a été jusqu'à présent décrit, les émissions des postes P1 et P6, et quasi-uniquement ces dernières, sont à nouveau imputables à la détection de deux types de pathogènes avérés, les coliformes thermotolérants et surtout les légionelles.

Si la mesure des coliformes thermotolérants reste relativement modérée, avec 380 UFC/m³ pour le poste P1 et 130 UFC/m³ pour le poste P6 (tous les autres étant en dessous du seuil de détection), la détection des légionelles est raisonnablement plus préoccupante : si 5500 UG/m³ sont détectées pour le poste P1, cette valeur monte à 74000 pour le poste P6 (et à noter, une valeur légèrement au dessus du seuil de détection de la technique pour P7, comprise entre 1300 et 3800 UG/m³).

Toutes données confondues, il apparaît donc que les postes P1 et surtout P6 se distinguent par leurs émissions potentiellement problématiques à de nombreux niveaux.

7.2.2.2 Comparaison des résultats obtenus par méthodes alternative et standard

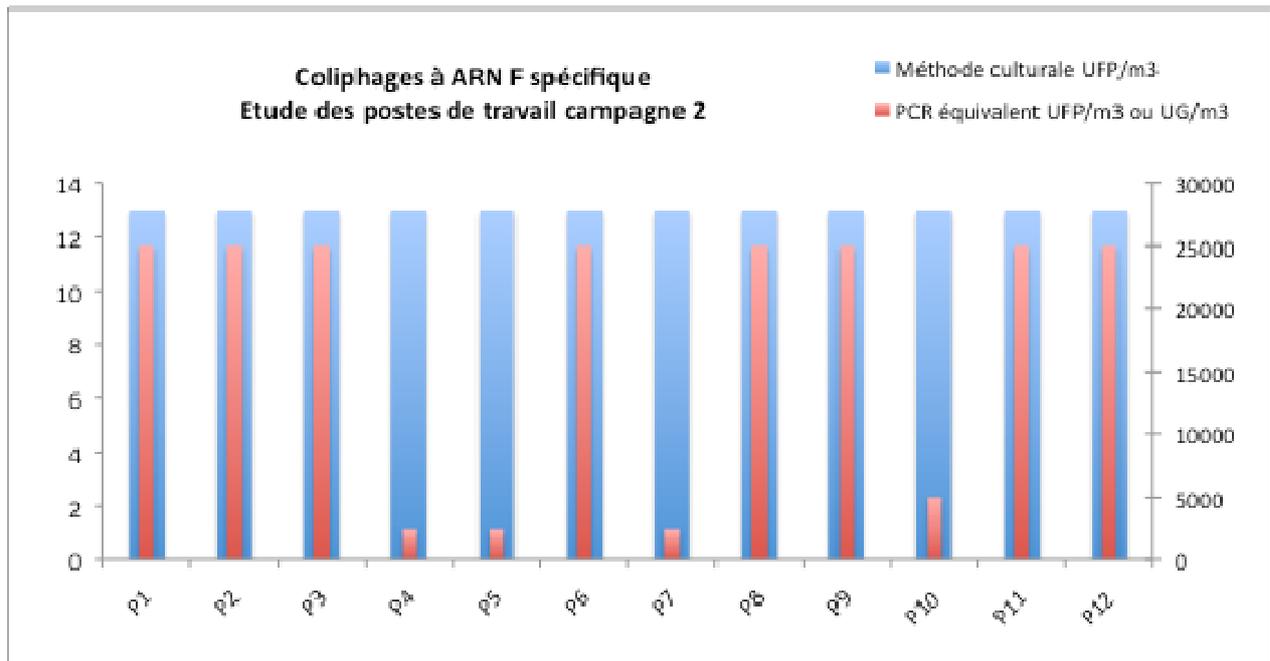
Les bactériophages sont des virus qui infectent les bactéries par des sites récepteurs situés à la surface de la cellule hôte. Il a été publié plusieurs études sur l'utilisation de bactériophages comme indicateurs de la présence de virus entériques dans les eaux contaminées par des matières fécales. [Payment et Armon 1989; Groupe d'étude sur la microbiologie de la santé de l'AIQE 1991; Payment et Franco 1993, Havelaar 1993; Havelaar et al. 1993; Havelaar et Sobsey 1995; OMS 1996; AWWA 1999a; Payment et al. 2000; Grabow 2001; Hurst et al. 2001].

Selon les responsables canadiens de la santé dans leur « Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada » d'avril 2004, les bactériophages ne posent aucun risque pour la santé humaine au point qu'ils ont été utilisés comme indicateurs de l'efficacité des traitements en les ajoutant parfois à l'eau potable au cours d'études et de recherches pour évaluer le degré d'élimination ou d'inactivation des virus entériques reconnus, eux, pour infecter les êtres humains au cours du traitement.

Au cours de cette étude, à l'exception d'un des points de la dispersion UPEI lors de la campagne 1 (50 UFP/m³), le dénombrement des Coliphages à ARN F spécifiques par la méthode culturale, (Riverains, poste de travail et dispersion UPBD et UPEI) restent constamment en

dessous de 17 UFP/m³. Par PCR, les résultats sont soit inférieurs à 2500 UG/m³ (riverains), soit compris entre 2500 et 25000 UG/m³.

Sachant qu'il n'existe pas de consensus sur la nature du bactériophage qui convient le mieux pour la détection des virus entériques et qu'il reste en outre de nombreuses questions de normalisation et de contrôle de qualité à régler [OMS 1996; Deere et al. 2001], aucune référence documentaire ne permet d'établir un comparatif. Néanmoins, compte tenu de la difficulté à dénombrer des virus par les méthodes culturales, la fréquence élevée des valeurs PCR les plus importantes observée notamment lors de l'investigation des postes de travail durant la campagne 2, renforce les conclusions obtenues par ailleurs concernant l'attention à porter à certains postes de travail (P1, P6,...).



Coliphages à ARN F spécifique		
	Méthode culturale UFP/m ³	PCR équivalent UFP/m ³
P1	13	25000
P2	13	25000
P3	13	25000
P4	13	2500
P5	13	2500
P6	13	25000
P7	13	2500
P8	13	25000
P9	13	25000

P10	13	5000
P11	13	25000
P12	13	25000

Les résultats obtenus par PCR concernant le dénombrement des Entérovirus sont systématiquement inférieurs au seuil de sensibilité de la méthode (250 PFU/m³) quel que soit le site de prélèvement et la campagne. Compte tenu des propriétés de la méthode de dénombrement et modulo les incertitudes relatives aux caractéristiques de l'échantillonnage, ces résultats ne permettent pas de conclure à une représentation préférentielle de ce groupe d'organisme sur l'un ou l'autre des sites investigués au seuil et au delà du seuil de mesure.

La recherche de Légionelles était particulièrement importante puisque son inhalation peut aboutir à une pneumopathie potentiellement mortelle et que cette bactérie environnementale contamine naturellement les eaux usées. Dans notre étude, 24 analyses de PCR *Legionella pneumophila* (dont sérotype 1), réalisées auprès des riverains ou en milieu professionnel, sont restées inférieures à 2500 UG/m³. Aucune valeur de référence de PCR Légionelles n'est actuellement publiée.

A noter que les valeurs recommandées disponibles ne concernent que les Légionelles présentes dans l'eau des tours de refroidissement et non dans les bioaérosols et qu'il s'agit de méthode par culture. Bien que les données soient encore incomplètes sur ce point, il est raisonnable de supposer que, pour un même prélèvement, les résultats en terme de PCR soient, bien que de façon inconstante, d'environ 1 log plus élevés que les résultats par culture.

Ensuite, il faudrait tenir compte d'un facteur d'aérosolisation permettant l'interprétation des niveaux d'aérosols à partir de niveaux en eaux usées. Outre les incertitudes liées à la nature parasitaire de fraction de la population bactérienne vis à vis des amibes, pour que la bactérie puisse se développer et entraîner une infection, elle ne doit pas avoir subi de dégradation au cours de l'aérosolisation (ex : dessiccation).

Dans le cas de l'étude, la positivité de la PCR Légionelle peut témoigner de la présence de cette bactérie, mais son potentiel infectieux, surtout après aérosolisation, ne peut être apprécié. L'absence de positivité de la culture est rassurante.

Legionella spp.		L. pneumophila (dont sérotype 1)	
Méthode culturale UFC/m ³	PCR UG/m ³	Méthode culturale UFC/m ³	PCR UG/m ³
P1	<310	5500	<1300
P2	<310	<1300	<1300
P3	<310	<1300	<1300
P4	<310	<1300	<1300
P5	<310	<1300	<1300

P6	<310	74000	<310	<1300
P7	<310	entre 1300 et 3800	<310	<1300
P8	<310	<1300	<310	<1300
P9	<310	<1300	<310	<1300
P10	<310	<1300	<310	<1300
P11	<310	<1300	<310	<1300
P12	<310	<1300	<310	<1300

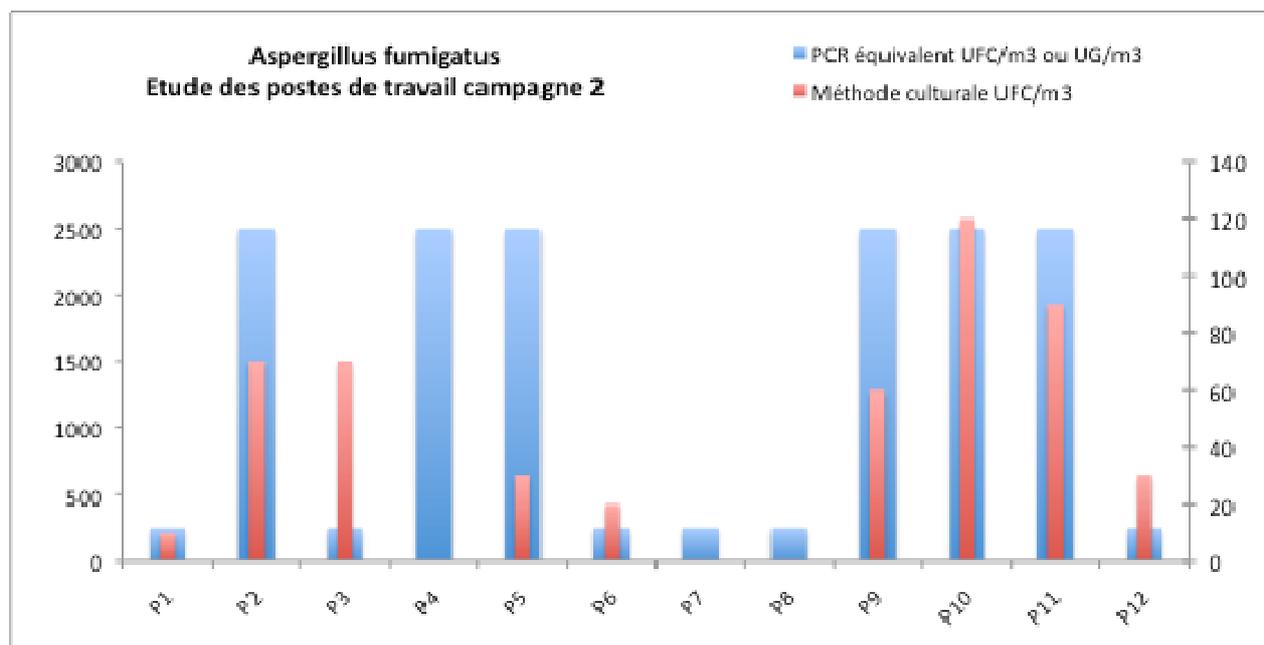
Initialement suivi uniquement par PCR, une méthodologie culturelle a très rapidement été implémentée par les laboratoires afin de pallier à la faible sensibilité (25000 UFC/m³) de la méthode alternative concernant le dénombrement d'*Aspergillus fumigatus*. Lors de la seconde campagne, l'adaptation de la méthode alternative notamment en terme de seuil de sensibilité autorise la prise en compte des deux approches.

L'*Aspergillus fumigatus* est un champignon que l'on retrouve notamment dans de nombreuses atteintes des voies respiratoires telle l'aspergillose bronchopulmonaire. Bien qu'il existe diverses études sur l'importance de ce micro-organisme dans les métiers de l'environnement [Health Hazard Manual: Wastewater Treatment Plant and Sewer Workers : Nellie J. Brown 97 ; Une approche du risque microbiologique en usine de compostage de déchets ménagés AIMT du Bas-Rhin N.Delaunay ; Octobre 2008 Rapport de l'Environment Agency Development of Amenity Risk Assessments at Organic Waste Treatment Facilities], aucune référence consensuelle n'émerge.

Dans le cadre de notre étude les résultats de la campagne 2 sont les plus instructifs, aussi bien la méthode culturelle que la méthode alternative mettent en évidence la présence de ce champignons dans l'atmosphère mais aucune ne permet pour autant de distinguer significativement un contexte d'un autre (riverains, poste de travaux,..).

De la même façon que pour les Légionelles, nous constatons globalement une différence d'1 log entre la méthode culturelle et la méthode alternative. Dans tous les cas, les concentrations mesurées par méthode culturelle restent très en deçà des observations faites par exemple en industrie de compostage (de 150 à 16000 UFC/m³) et équivalentes à la mesure en air ambiant (25 UFC/m³) [Une approche du risque microbiologique en usine de compostage de déchets ménagés AIMT du Bas-Rhin N.Delaunay].

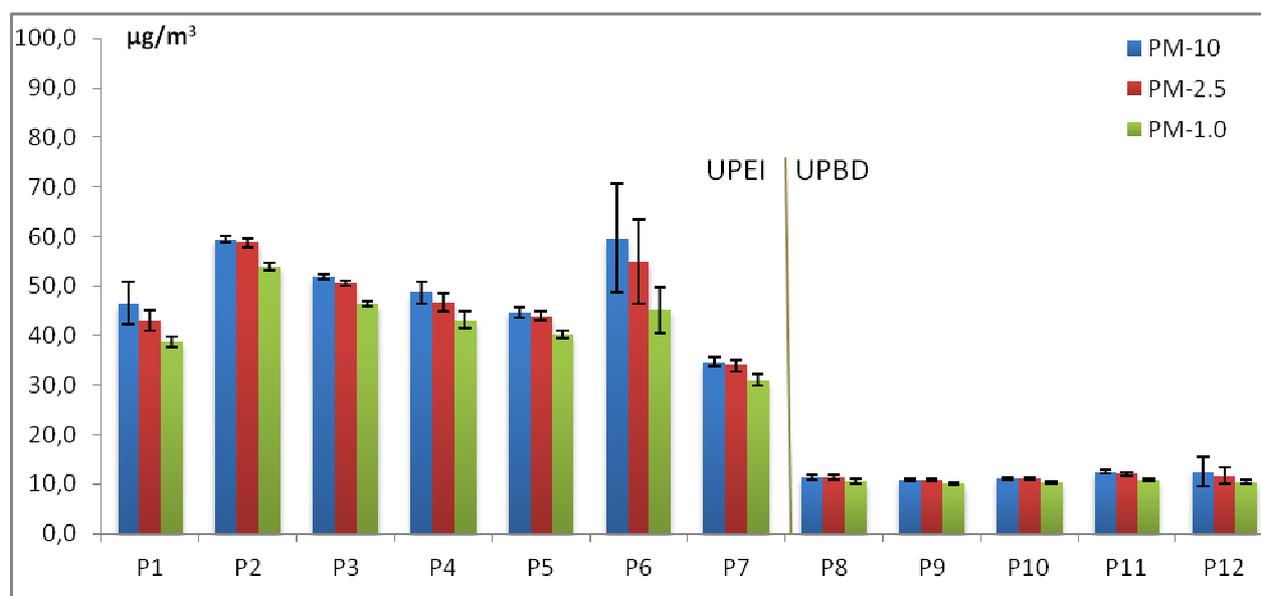
Les mesures culturelles, confirmées dans une certaine mesure par les mesures PCR, en station de travail sont certainement les plus contrastées et viennent conforter la hiérarchisation réalisée par ailleurs.



Aspergillus fumigatus		
	Méthode culturale UFC/m ³	PCR équivalent UFP/m ³ ou UG/m ³
P1	10	<250
P2	70	>250 et <2500
P3	70	<250
P4	envahi par une mucorale	>250 et <2500
P5	30	>250 et <2500
P6	20	<250
P7	0	<250
P8	0	<250
P9	60	>250 et <2500
P10	120	>250 et <2500
P11	90	>250 et <2500
P12	30	<250

7.2.3 Particules

Les histogrammes ci-dessous représentent les mesures de particules, subdivisées selon 3 catégories de taille (<PM1, <PM2.5 et <PM10) :



Les résultats, bien que toujours relativement acceptables en référence aux valeurs guides antérieurement évoquées (paragraphe 7.1.3) et dans les mêmes ordres de grandeur qu'au cours de la campagne 1, sont relativement différents : l'émission est plus homogène pour les postes de l'UPEI, et tout autant homogène mais bien plus modérée pour tous les postes de l'UPBD. Il est difficile d'expliquer ces données en dehors du fait que les expérimentations ont par nature été réalisées à une période de temps bien différente et éloignée (et en postulant que les processus sont restés identiques d'une campagne à l'autre). Ceci dit, dans la mesure où elles ne semblent pas constituer des cas présentant une dangerosité particulière, il n'est pas nécessaire de se pencher plus avant sur ces observations.

7.3 Conclusion exposition professionnelle

La conclusion principale de ces deux campagnes est la mise en valeur de sources particulières d'aérobiocontamination en ambiance de travail au niveau des postes P1 et P6. Ces derniers se distinguent en effet systématiquement tant en quantité qu'en nature de tous les autres postes étudiés. Si à nouveau il convient de rappeler que l'exercice de comparer les présentes données avec divers VLE (non consensuelles, pas nécessairement adaptées au présent contexte ou tout simplement pas comparables en raison de différences de protocoles d'exploration) il apparaît néanmoins que ces postes peuvent s'avérer problématiques et que les observations réalisées constituent une base factuelle incitant à la prudence.

Le poste P6 à plus particulièrement et constamment fait preuve d'un caractère émissif particulier qui, si le risque y étant associé est encore flou, est vraisemblablement une cause possible d'exposition à des pathogènes avérés. Il conviendrait donc de réaliser des études complémentaires afin d'évaluer ce risque et/ou de développer des procédures le circonscrivant dans des limites acceptables. Le poste Biostyr, relié par le passé à des symptômes digestifs qui furent à l'origine de son inclusion dans les postes à explorer en dépit du fait qu'a priori les observations préliminaires montraient des eaux peu chargées, ne se singularise pas lors de ces investigations au regard des paramètres étudiés. Néanmoins, compte tenu des observations médicales, ces résultats ne doivent pas exclure ce poste de la liste de ceux qu'il convient de surveiller.

Enfin, même si les postes de l'UPBD apparaissent ici bien moins émetteurs que ceux de l'UPEI en globalité, il ne faut pas ignorer certaines observations pouvant les inscrire en tant que

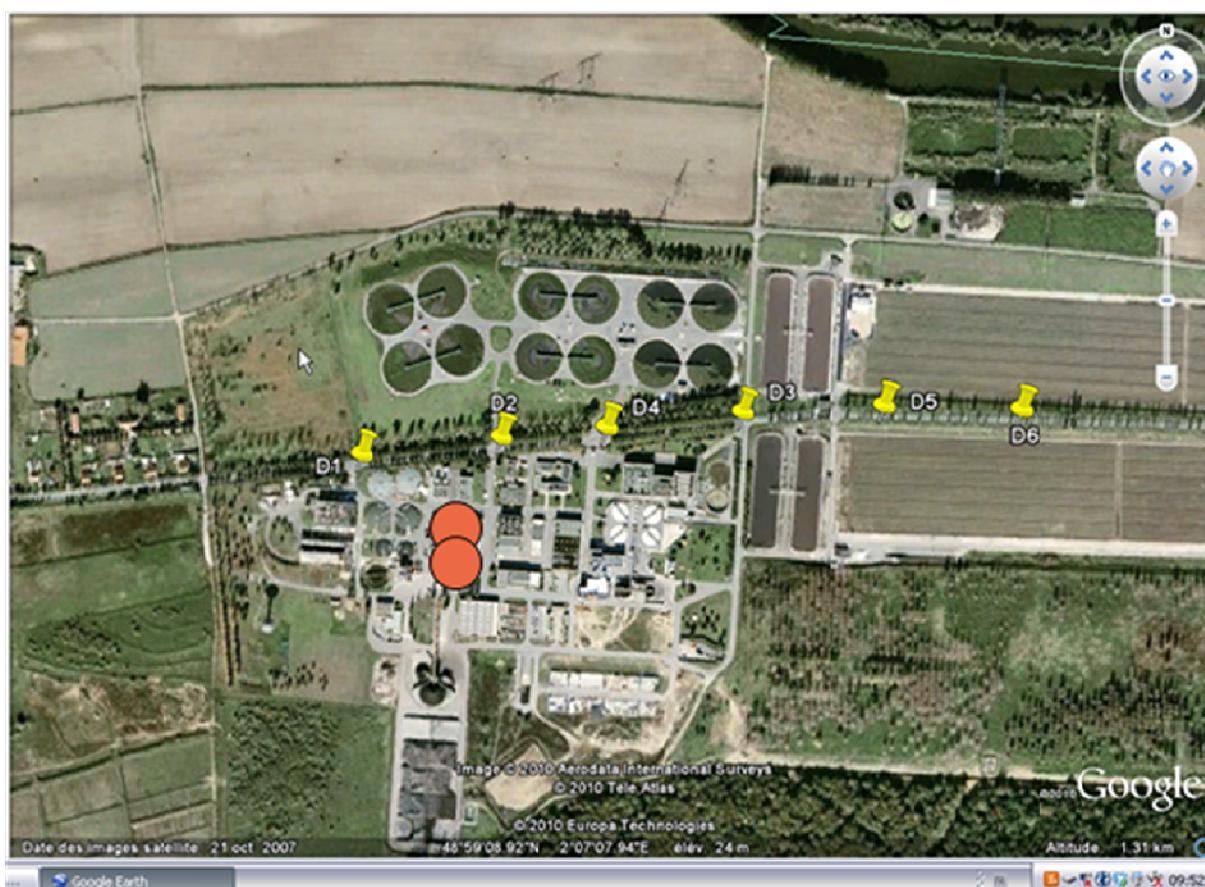
contributeurs non négligeables à une certaine aérobiocontamination, notamment (mais pas uniquement) de nature fongique.

8 Dissémination

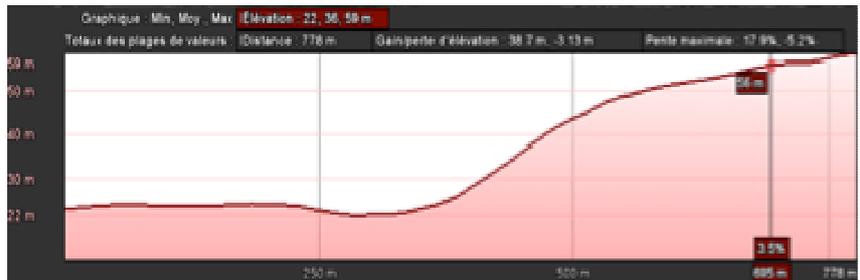
8.1 Campagne 1

8.1.1 Points d'investigation

Les images en vue aérienne ci-dessous illustrent les points de mesures réalisées à partir de l'UPBD (les localisations indiquées par des cercles vermillons correspondent à P9 et P10). 6 points ont été suivis sous les vents dominants mesurés concomitamment, bien qu'en périphérie du panache et ce sur une distance totale de 810 mètres hors dénivelé (quasi nul sur cette zone). La totalité des points est située sur le site Seine-Aval, et correspondent aux références D1 à D6.



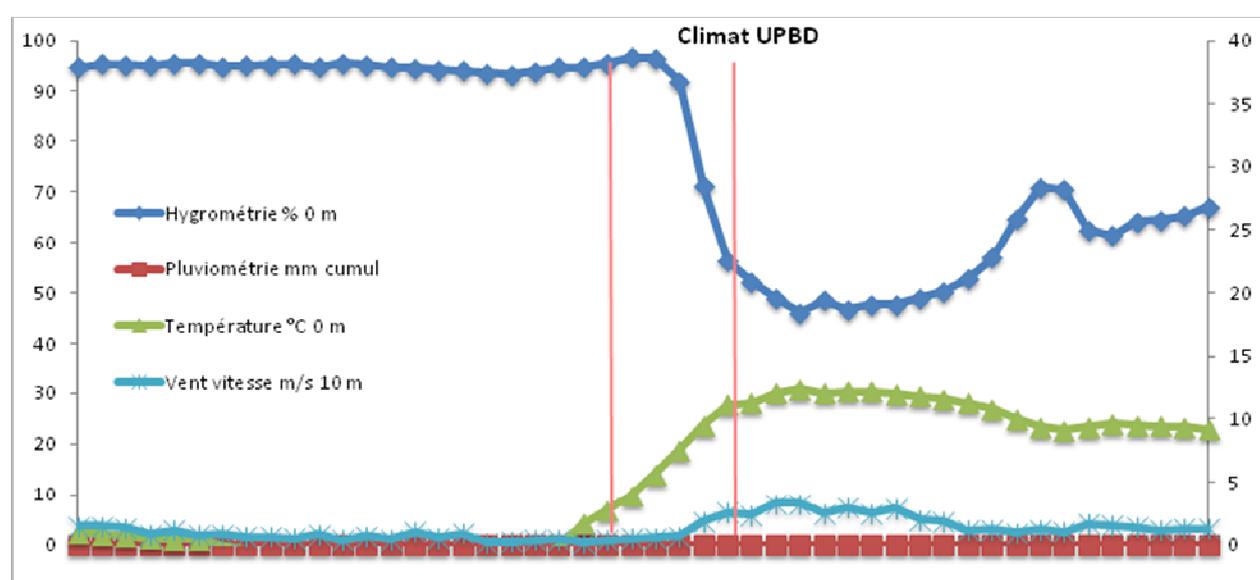
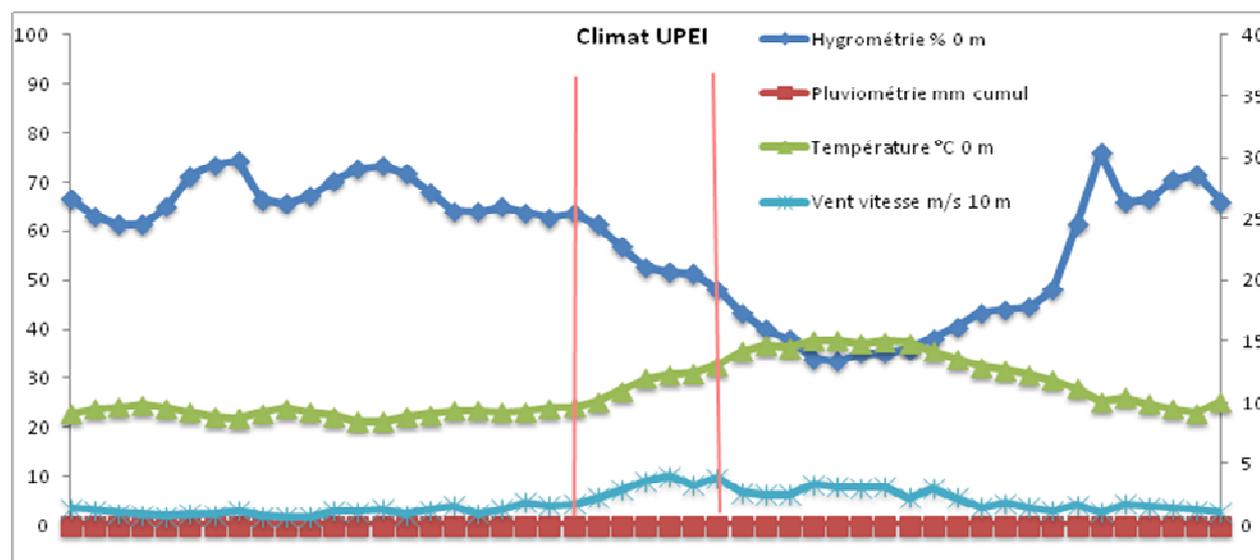
Les images en vue aérienne suivantes illustrent les points de mesures réalisées à partir de l'UPEI (la localisation indiquée par un cercle vermillon correspond à P6). 6 points ont été suivis le long de l'axe des vents dominants mesurés concomitamment, sur une distance totale de 610 mètres hors dénivelé (cf. graphe illustrant ce dernier après l'imagerie). La moitié des points sont situés sur le site Seine-Aval, l'autre moitié dans les agglomérations urbaines au delà de la Seine. Ces points correspondent aux références D7 à D12.



8.1.2 Climatologie

Les figures suivantes indiquent les conditions climatiques sur les sites UPEI et UPBD au moment des mesures de dissémination.

L'axe de gauche témoigne de l'hygrométrie en % alors que l'axe de droite sert au report de la pluviométrie (en mm cumulés), la température en °C et enfin la vitesse du vent en m/s (prise à 10m d'altitude). L'intervalle en rouge correspond à la présence effective sur le site (11h17-13h26 pour l'UPEI et 10h37-13h13 pour l'UPBD sur deux jours différents).

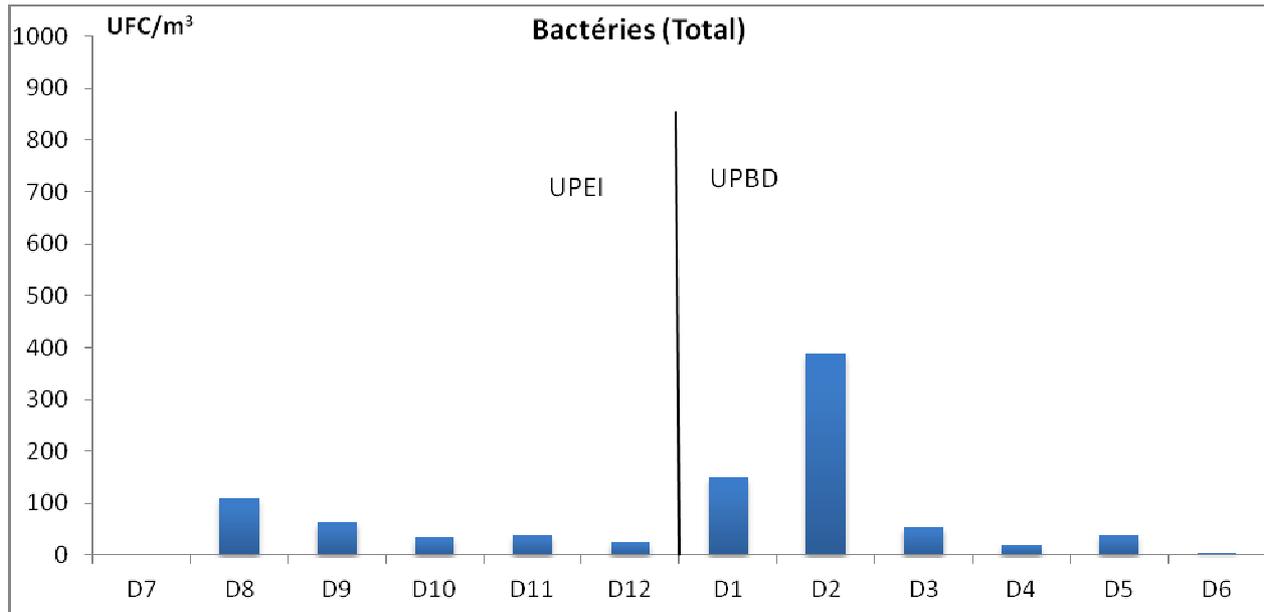


Dans les deux cas, la pluviométrie s'est avérée nulle. La vitesse du vent, quoi qu'augmentant légèrement au cours des mesures à partir de l'UPEI est restée modérée. En ce qui concerne l'UPBD, le vent ne s'est levé qu'en seconde moitié d'expérimentation, fait à retenir pour l'interprétation de certains résultats.

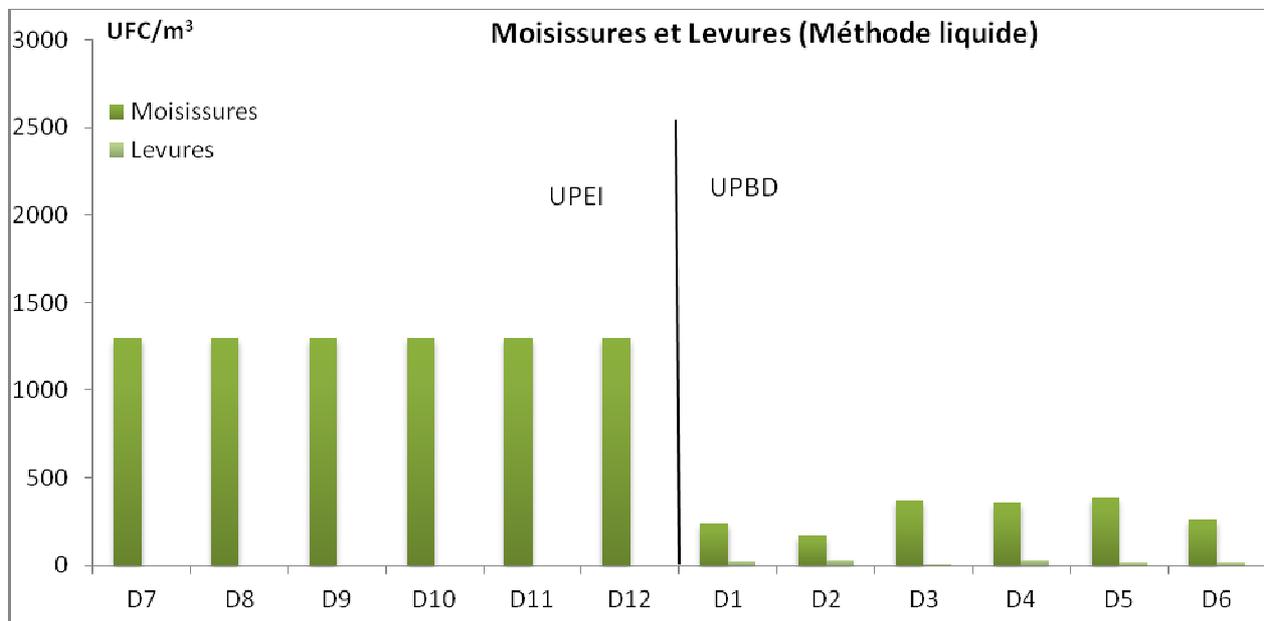
On peut en outre assister à une chute de l'hygrométrie et une montée simultanée de la température à mesure que le jour progresse. Ces variations se sont avérées bien plus importantes le jour des expérimentations au niveau de l'UPBD mais ne devraient pas perturber plus avant les divers relevés effectués.

8.1.3 Microbiologie

Les graphes suivants regroupent les résultats de mesure pour chaque paramètre d'intérêt. Seuls les paramètres de contamination générale (bactéries totales ou Gram-/, endotoxines, levures et moisissures) apparaissent ici, tous les autres présentant quoi qu'il en soit des valeurs négligeables. Une analyse synthétique est associée à chaque graphe, individuellement ou après remise dans son contexte global.



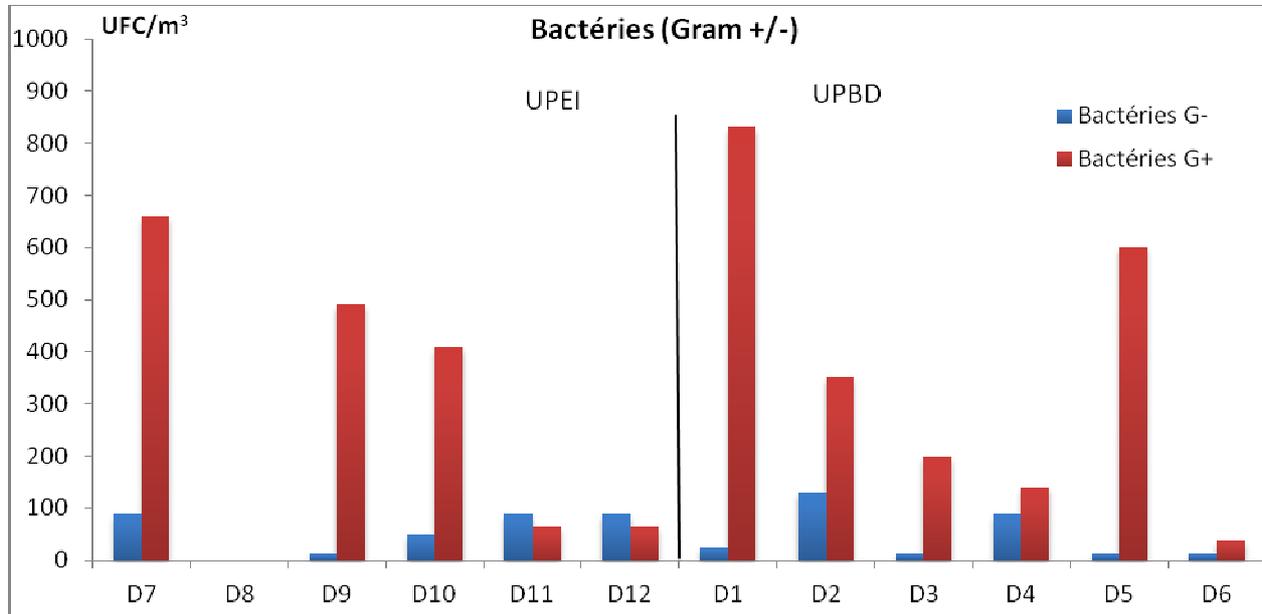
Le point D7 est ici inexploitable. Les valeurs en UPEI sont bien plus faibles que les relevés effectués directement au niveau des postes de travail alors que les valeurs UPBD sont dans la gamme du bruit de fond enregistré au niveau des zones urbaines et boisées au cours de la pré-étude. *In fine*, on observe une diminution rapide et graduée des valeurs mesurées en passant de D1 à D6 (nonobstant la progression mesurée au point D2) et D8 à D12. Le site Seine-Aval ne semble pas être un contributeur à une quelconque aérobiocontamination au niveau de ces paramètres et dans la présente expérience.



Deux constats ici : une saturation/contamination non négligeable des relevés moisissures et levures au niveau des points D7 à D12 (UPEI) alors que les échantillons réalisés au niveau de l'UPBD (D1 à D6) montrent des taux stables correspondant à un bruit de fond non préoccupant.

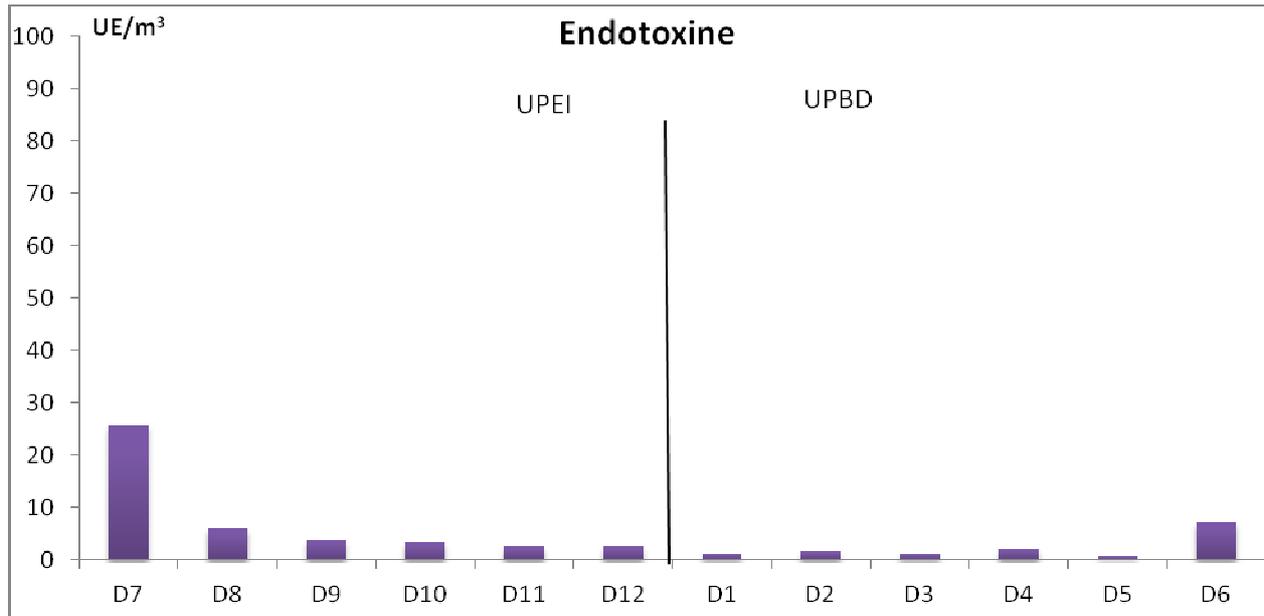
En raison de la saturation des points UPEI, il est difficile d'interpréter les données. Cette dernière peut être due à la méthode de prélèvement retenue, les impactions solides n'ayant pas

été concluantes sur cette série, ou bien tout à fait correspondre à une exposition réellement marquée à ces microorganismes sans qu'il ne soit possible de pouvoir trancher. Cependant les relevés D1 à D6 ne placent pas le site Seine-Aval, ou tout du moins l'UPBD, comme un contributeur particulier à une quelconque aérobiocontamination.



Les histogrammes révèlent ici des profils très informatifs, notamment en ce qui concerne les mesures de bactéries Gram + (les quantités de bactéries Gram – peuvent être considérées négligeables et sont extrêmement plus faibles que les mesures effectuées au niveau des postes de travail). Une décroissance distance dépendante peut ainsi être observée, tant dans l'UPEI que dans l'UPBD, même si le point D5 représente une valeur difficile à expliquer et sans doute reliée à une particularité au niveau des décanteurs tous proches.

Quoi qu'il en soit, les valeurs deviennent négligeables dès D6 et D11/D12, ces derniers correspondant à des points en plein milieu urbain (D10 est situé au niveau de la rive droite de la Seine). Il est ainsi évident que si les deux unités du site Seine-Aval apparaissent comme émettrices au moins de bactéries Gram -, à distance du site cette aérobiocontamination n'est plus observable et se mêle au bruit de fond. Ceci est particulièrement important lorsqu'on considère les agglomérations alentour.

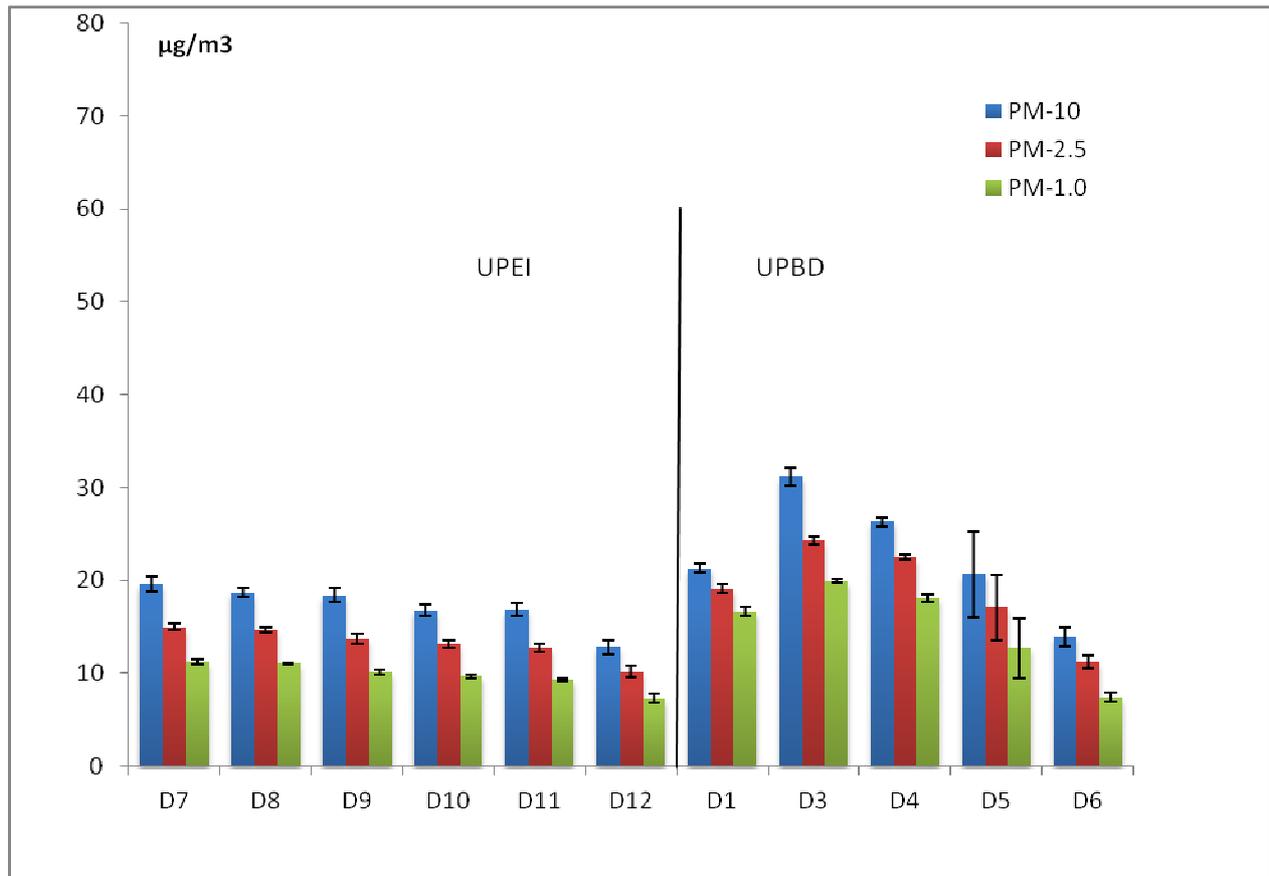


Les valeurs d'endotoxines sont ici assez faibles - y compris au niveau de D7 qui, alors qu'il apparaît associé à des valeurs légèrement plus élevées, correspond peu ou prou aux seuils observés au niveau du dégrillage dans la précampagne. Quoi qu'il en soit, les mesures deviennent négligeables avec l'éloignement. Ainsi et à nouveau, ces observations confortent les précédentes et la perception que le site Seine-Aval n'apparaît pas être un gros contributeur d'aérobiocontamination dans l'absolu, surtout dès lors que l'on s'éloigne de postes de travail bien définis.

8.1.4 Particules et modélisation des odeurs

8.1.4.1 Particules

Les histogrammes ci-dessous représentent les mesures de particules, subdivisées selon 3 catégories de taille (<PM1, <PM2.5 et <PM10) :



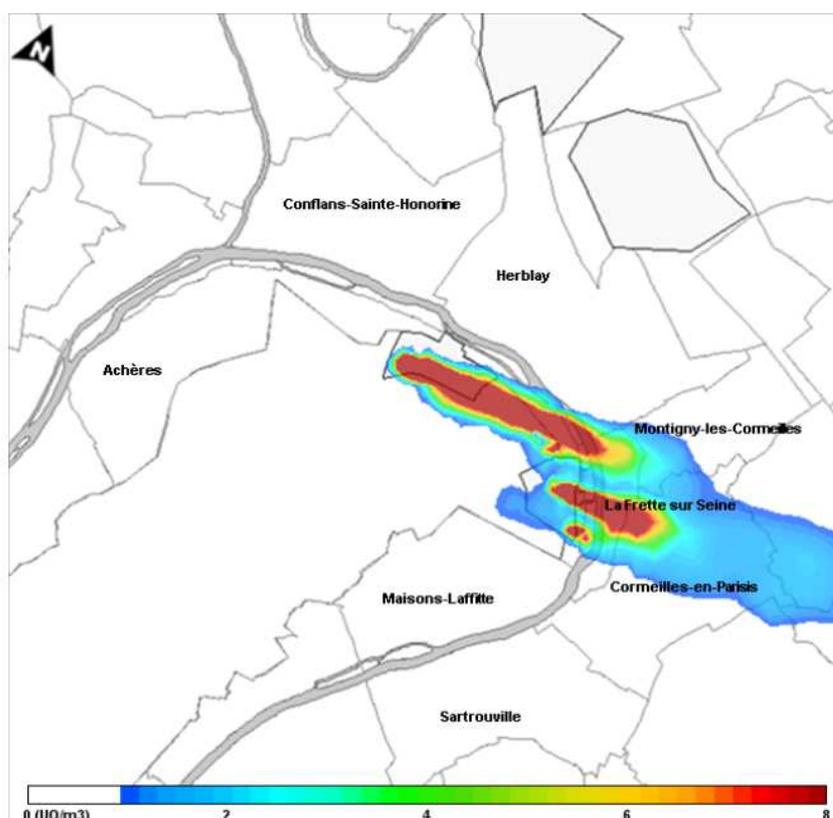
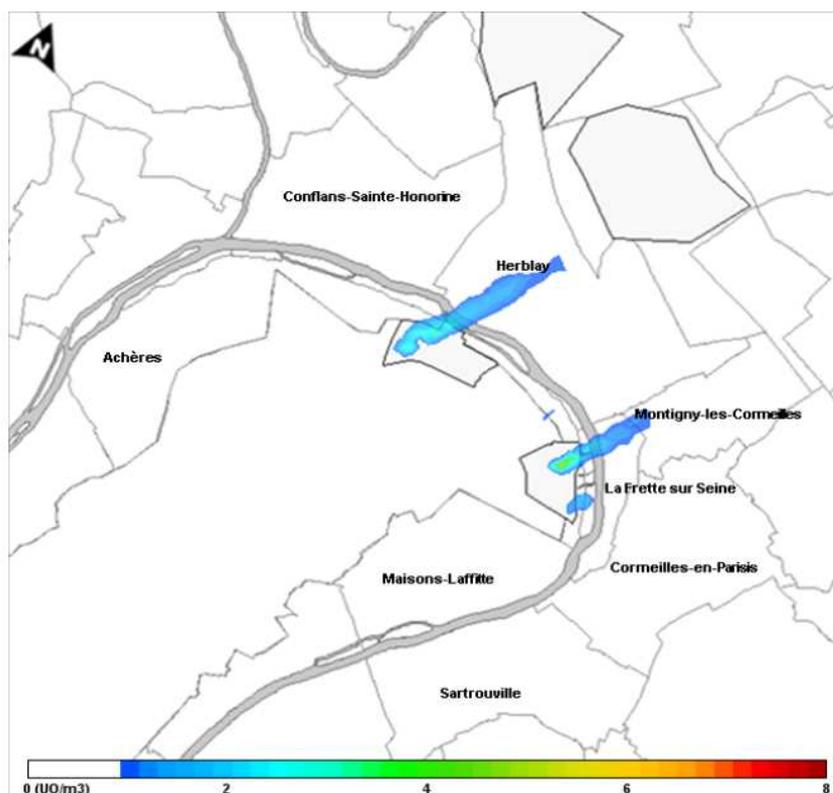
Les mesures sont dans l'ensemble très faibles et stables, même si une décroissance éloignement dépendante semble prendre place entre D3 et D6. Pas de conclusion particulière quant à un apport du site Seine-Aval en termes de particules, au moins après analyses de ces seules données.

8.1.4.2 Odeurs

Les nuisances olfactives, qui font sporadiquement l'objet de plaintes de la part des riverains des communes avoisinantes (et pour lesquels il existe tout un réseau de suivi), sont modélisées par un outil unique, le SYPROS, consultable par tout un chacun à l'adresse <http://www.siaap.fr/tableau-de-bord-sypros/>.

Cet outil repose sur un calcul complexe de dispersion tridimensionnelle associant données météorologiques et prévisions d'activité au niveau du site Seine-Aval afin de prévoir d'éventuels épisodes de nuisances.

Les deux figures suivantes représentent respectivement le panache d'odeur SYPROS le jour de l'investigation à l'UPEI et celui du jour de l'investigation à l'UPBD :



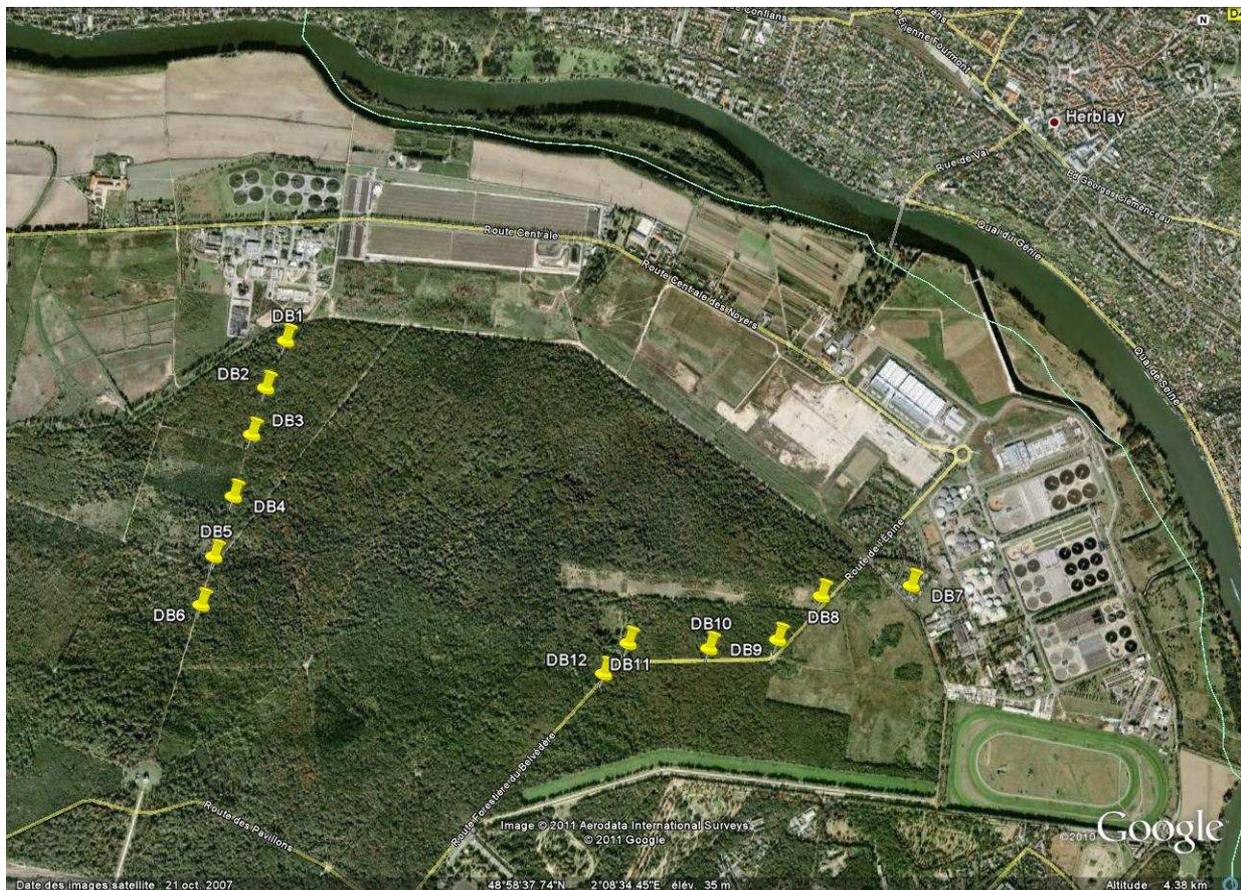
Ces données ne peuvent être corrélées directement avec celles d'aérobiocontamination, car les odeurs sont généralement des molécules organiques volatiles incomparablement plus sujettes à aérosolisation ou dispersion aérienne (dans les trois dimensions) que ne peuvent l'être les particules de matière, même les plus petites. Néanmoins elles permettent de confirmer le

choix pertinent des axes de dissémination choisis pour établir les points de mesure, ainsi qu'illustrer que les points D11 et D12, au niveau de Montigny-les-Cormeilles, auraient pu être théoriquement sous un vent favorable à une éventuelle exposition aux émissions de l'UPEI, lesquelles n'ont cependant pas été mises en évidence.

8.2 Campagne 2

8.2.1 Points d'investigation

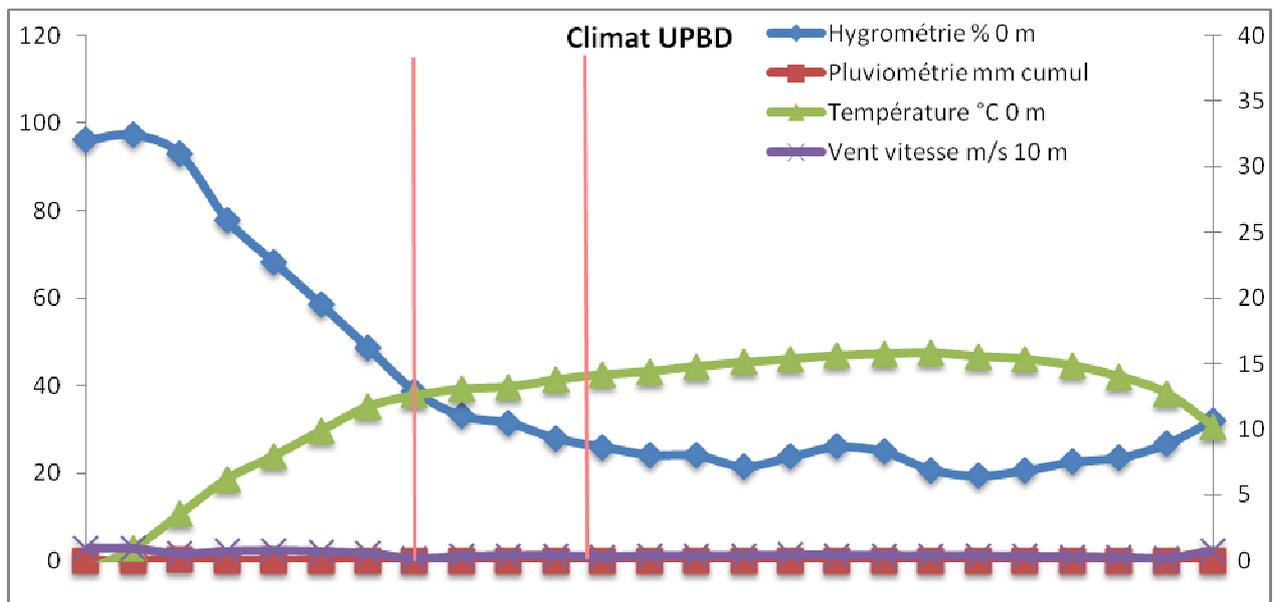
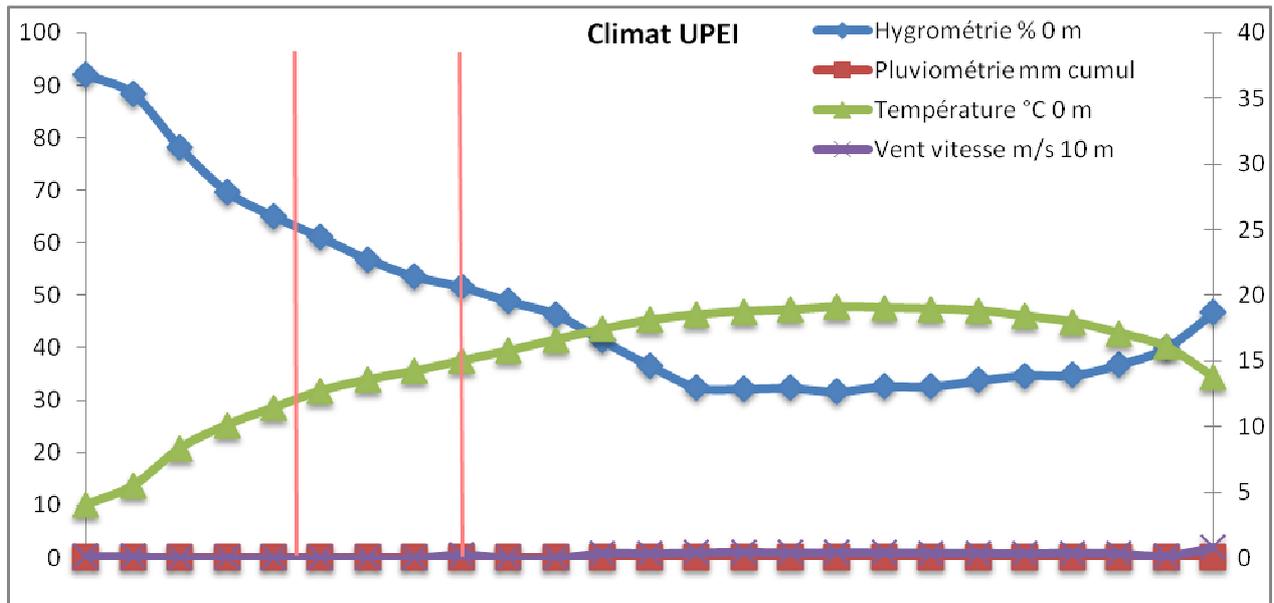
Les images en vue aérienne ci-dessous illustrent les points de mesures réalisées à partir de l'UPBD (points D1 à D6) et de l'UPEI (D7 à D12) au cours de deux jours différents. Tous les points sont situés le long de voies d'accès traversant une zone très boisée à la déclivité quasi nulle, lesquelles voies se sont révélées être très bien orientées sous les vents dominants lors de la mise en place des capteurs.



8.2.2 Climatologie

Les figures suivantes indiquent les conditions climatiques sur les sites UPEI et UPBD au moment des mesures de dissémination.

L'axe de gauche témoigne de l'hygrométrie en % alors que l'axe de droite sert au report de la pluviométrie (en mm cumulés), la température en °C et enfin la vitesse du vent en m/s (prise à 10m d'altitude). L'intervalle en rouge correspond à la présence effective sur le site (10h12-11h56 pour l'UPEI et 11h25-13h21 pour l'UPBD sur deux jours différents).

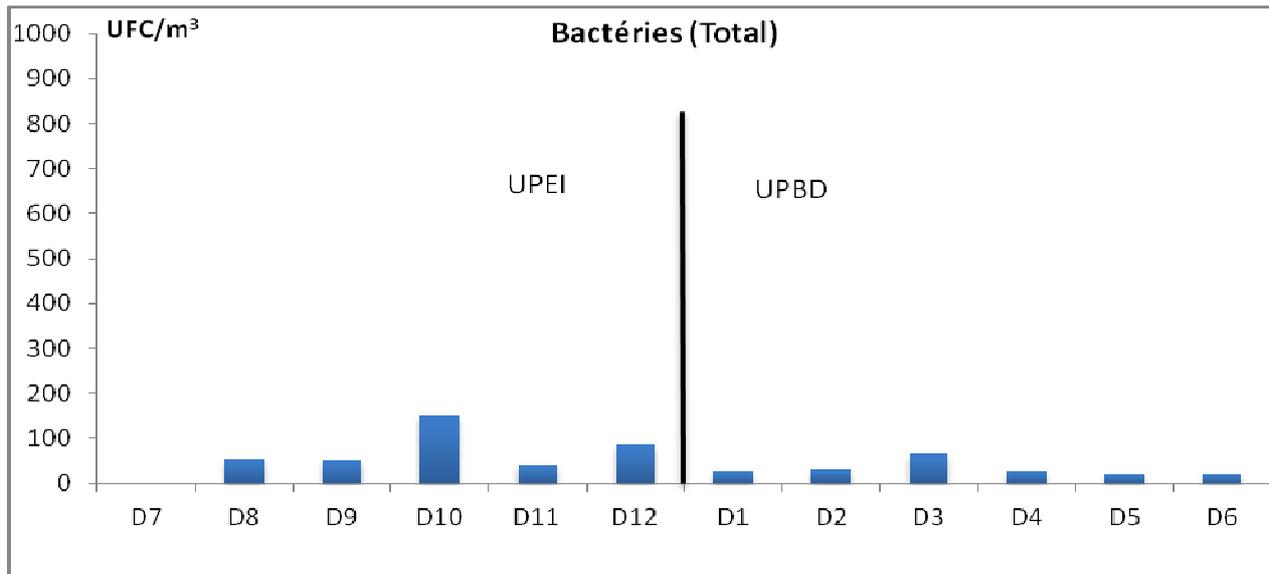


Dans les deux cas, la pluviométrie s'est avérée nulle, de même que la vitesse du vent, sans doute en raison du caractère relativement abrité des lieux de mesures, bordés d'arbres de part et d'autre.

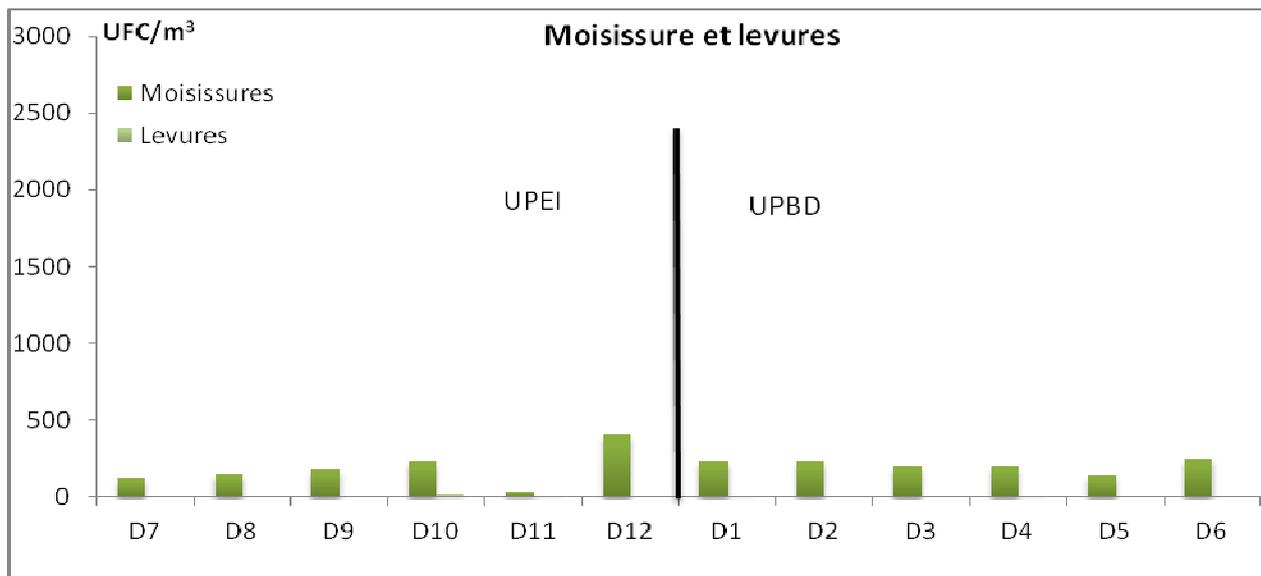
On peut en outre à nouveau assister à une chute de l'hygrométrie et une montée simultanée des températures (lesquelles sont naturellement plus douces que pour la campagne 1) classiques à mesure que le jour progresse.

8.2.3 Microbiologie

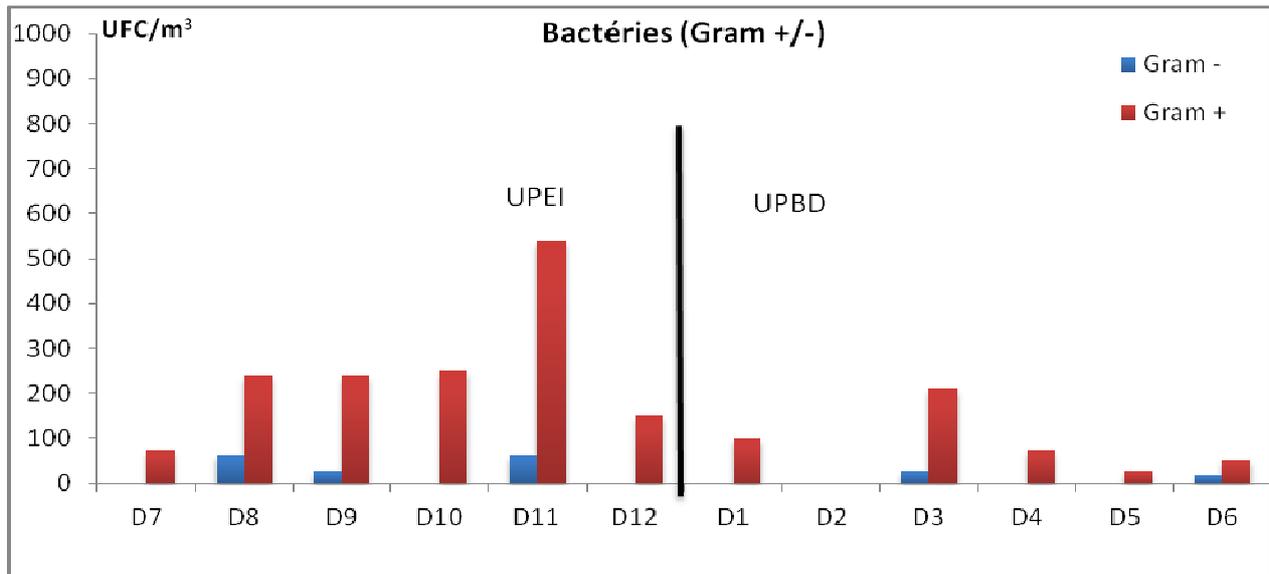
Les graphes suivants regroupent les résultats de mesure pour chaque paramètre d'intérêt. Les paramètres de contamination générale (bactéries totales ou Gram-/+, endotoxines, levures et moisissures) ont été ici représentés, adjoints de la mesure des actinomycètes thermophiles qui a donné des résultats méritant un commentaire. Une analyse synthétique est associée à chaque graphe, individuellement ou après remise dans son contexte global.



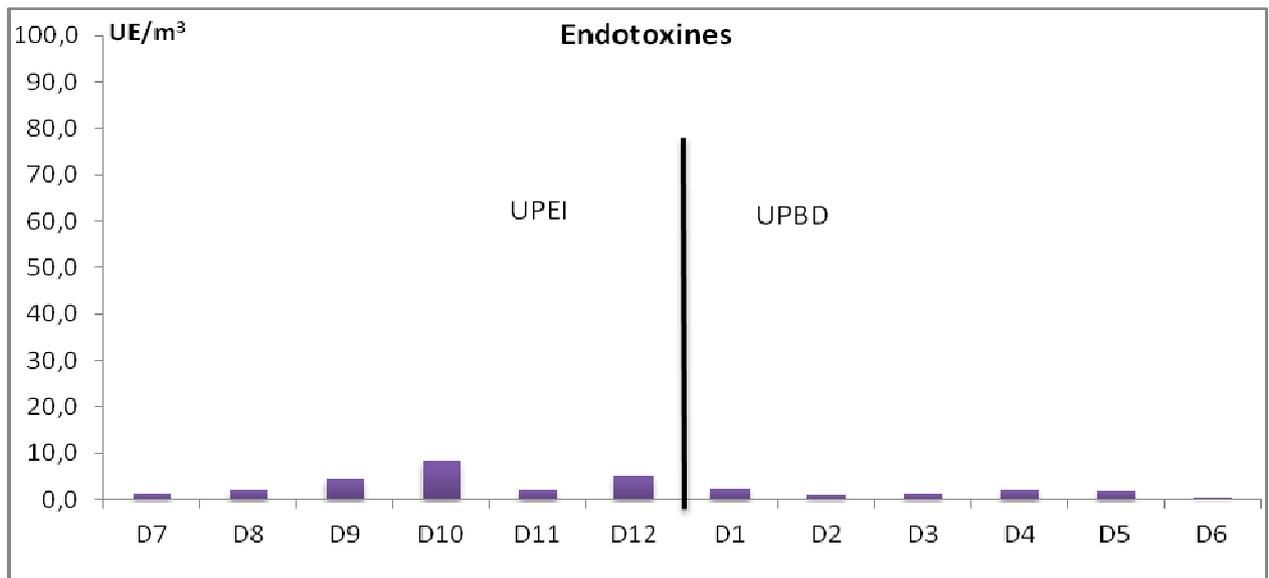
Toutes les mesures bactériennes sont faibles et aisément négligeables. Le point D10, légèrement plus élevé, pourrait être influencé par sa localisation forestière, mais quoi qu'il en soit aucun des relevés n'est réellement significatif.



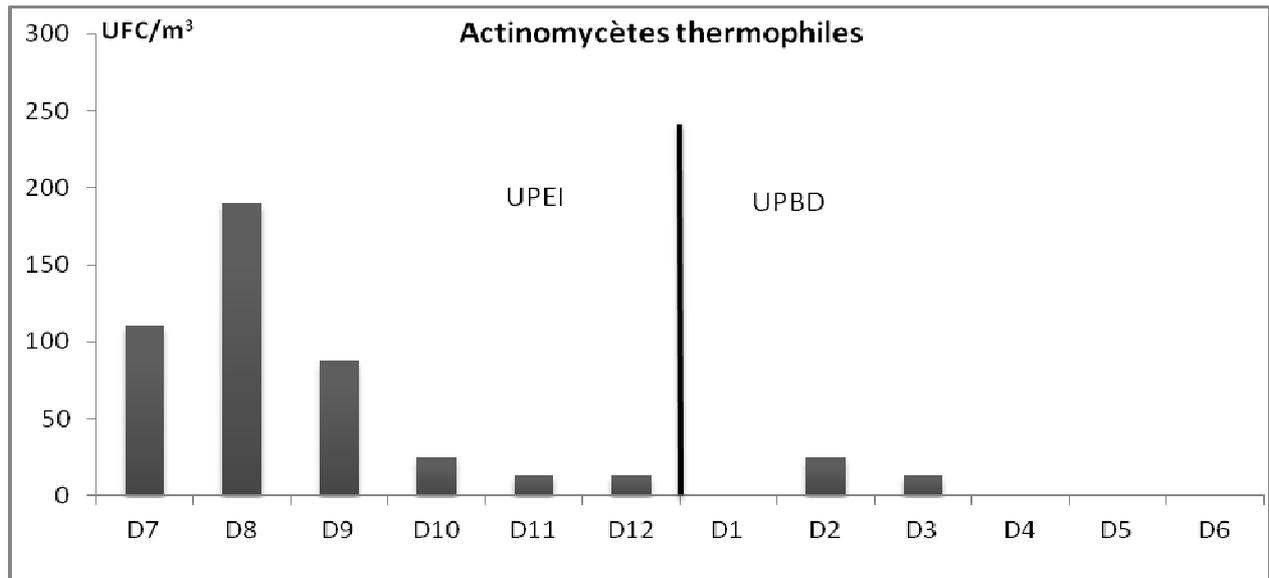
En comparaison des valeurs observées jusqu'à maintenant, aucune de ces mesures ne présente de signes d'aérobiocontamination particuliers, y compris en regard de la localisation des points d'échantillonnage (les forêts étant connues pour être des émetteurs significatifs de microorganismes et particules variés). En conséquence, pas de phénomène de dissémination vérifiable.



Les diverses valeurs constatées ici sont bien plus faibles que celles observées jusqu'à présent (pour ces paramètres, bien entendu). Le point D11 semblerait toutefois présenter un caractère particulier, mais étant donné les valeurs associées aux points D7 (le plus proche de l'UPEI) et les suivants, rien ne laisse conclure à un quelconque phénomène de dissémination à partir du site. La source éventuelle d'émission responsable de la mesure au niveau de D11 est vraisemblablement naturelle, ou tout du moins non liée au site Seine-Aval en tant que tel.



Les mesures d'endotoxines sont ici toutes négligeables, y compris au niveau des points les plus proches de l'usine. Bien évidemment, pas de danger à souligner ici.



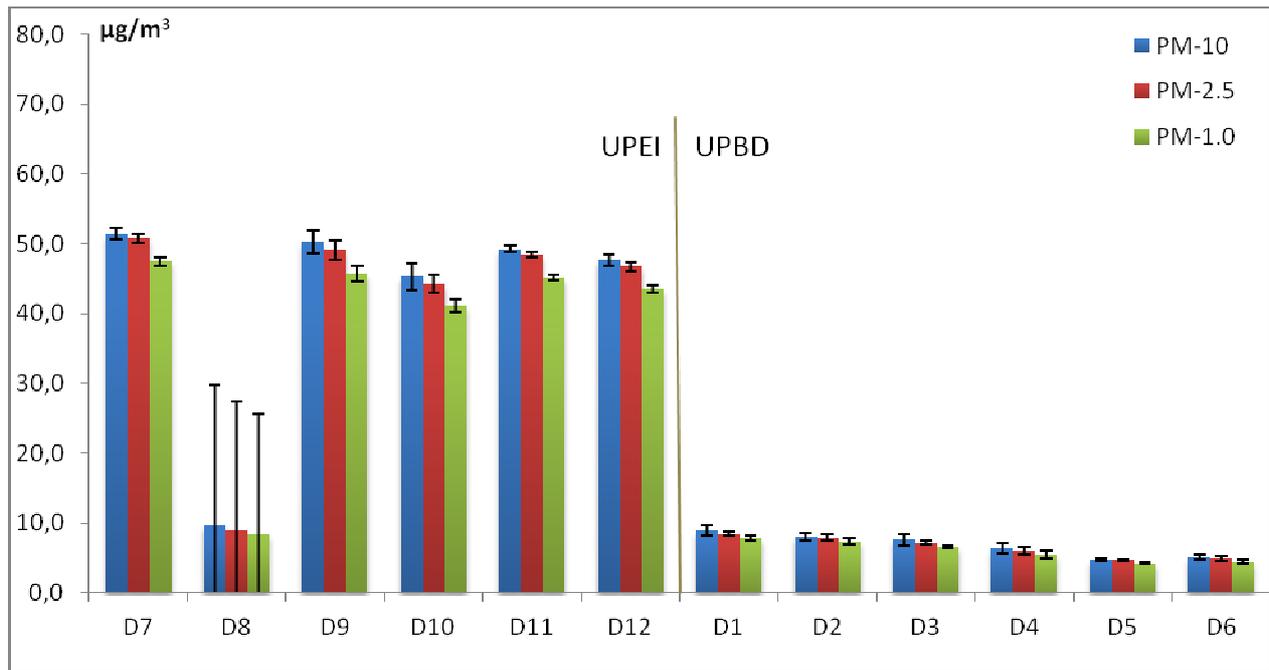
La mesure des actinomycètes thermophiles est renseignée ici en raison de certaines valeurs ressortant au niveau des points D7 à D9. Même si dans l'ensemble les mesures sont très modérées, ces trois points présentent un léger sursaut. Il semble y avoir une source d'aéribiocontamination limitée (tant en quantité qu'en portée) entre D7 et D8, laquelle peut être liée au site Seine-Aval lui-même ou à quelconque autre source, anthropique ou non, à proximité.

En revanche, comme la dissémination apparaît pratiquement nulle au delà, il n'est pas nécessaire de s'étendre outre mesure sur le danger éventuel qu'elle aurait pu éventuellement présenter.

8.2.4 Particules et modélisation des odeurs

8.2.4.1 Particules

Les histogrammes ci-dessous représentent les mesures de particules, subdivisées selon 3 catégories de taille (<PM1, <PM2.5 et <PM10) :

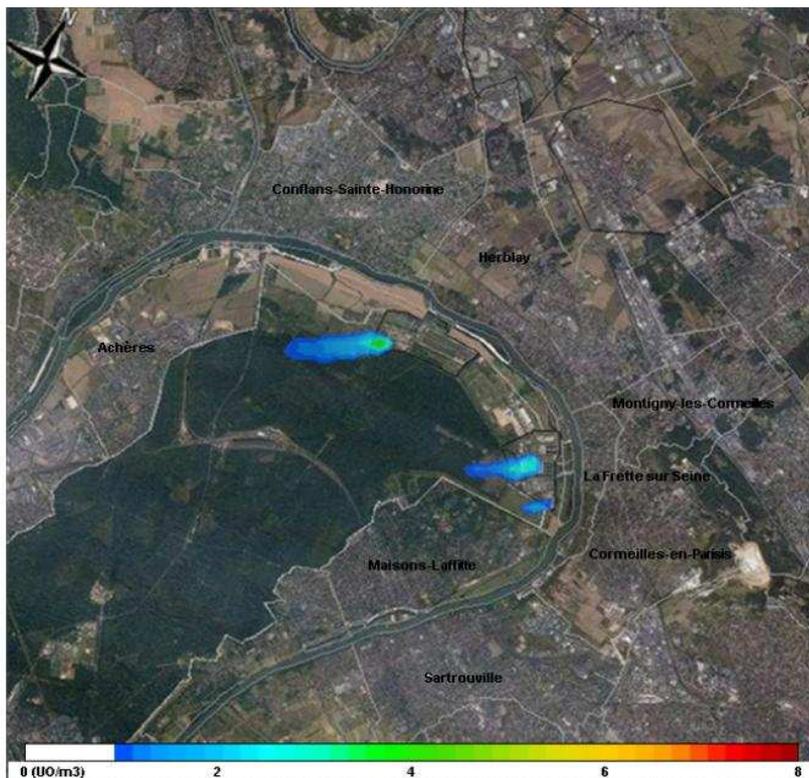
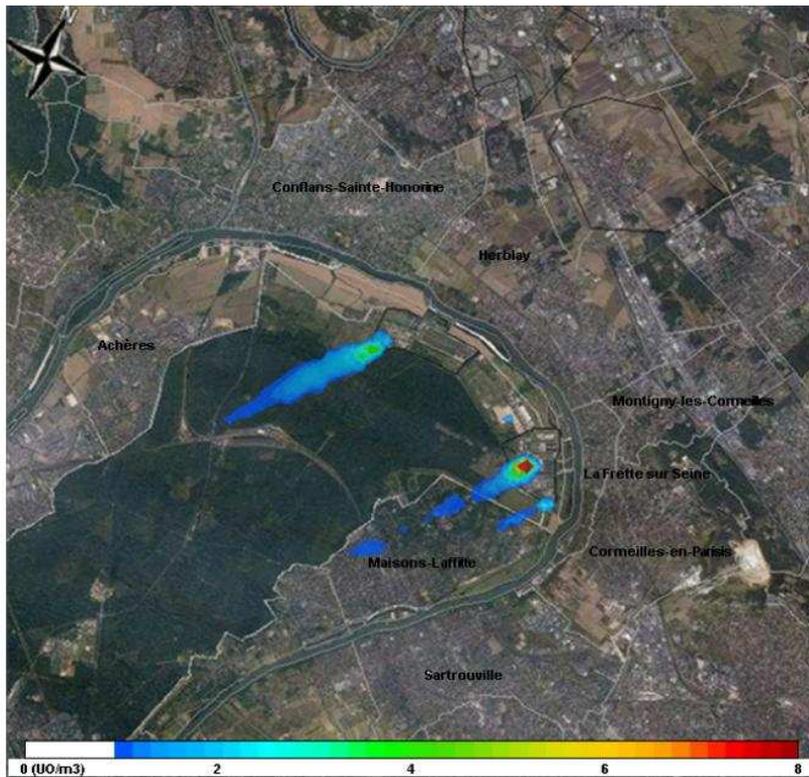


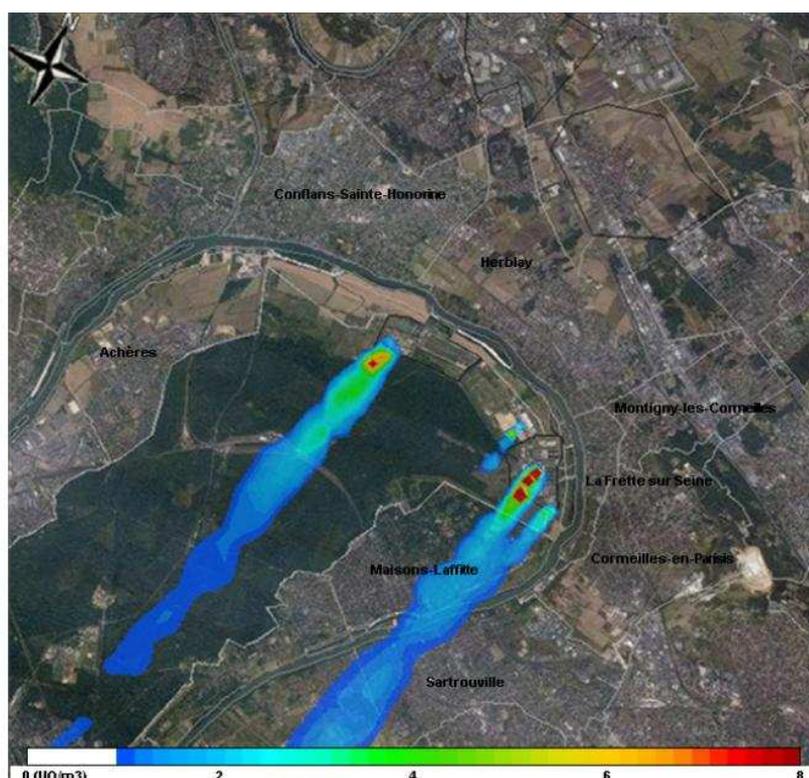
De toute évidence, les résultats des mesures effectuées au niveau de l'UPEI sont bien supérieurs à ceux constatés au niveau de l'UPBD, qui sont relativement négligeables. Il convient de rappeler que les mesures n'ont pas pu, pour des raisons strictement matérielles/opératives, être réalisées le même jour. Ceci peut expliquer les différences observées entre les points UPBD et les points UPEI (le point en D8 étant naturellement identifiable comme non exploitable ainsi qu'en témoignent les écarts types et valeurs aberrantes).

Quelles que soient les intensités des charges particulières et les éventuelles difficultés à les relier à une quelconque source, il est toutefois permis de conclure au vu de ces données qu'il n'est pas possible de suspecter une quelconque dissémination environnementale d'aérobiocontaminants au niveau du site Seine-Aval, et plus précisément de contaminants spécifiquement produits au niveau du site.

8.2.4.2 Odeurs

Les trois figures suivantes représentent respectivement le panache d'odeur SYPROS le jour de l'investigation à l'UPEI (2 figures en raison de modification des vents dominants entre la mise en place des capteurs et le début effectif des mesures) et celui du jour de l'investigation à l'UPBD (dernière figure) :





Les trois figures ci-dessus présentent des profils offrant diverses opportunités de dissémination. De manière intéressante, la seconde figure, qui représente les conditions ayant présidé aux mesures au niveau de l'UPEI, est tout à fait compatible avec un transfert possible d'actinomycètes thermophiles tel qu'observé au niveau des points D7 et D8 (direction et position du panache).

Toutefois, étant donné qu'aucune source d'émission possible ne s'est *in fine* réellement détachée, tous les résultats de dissémination obtenus ont amené à postuler l'absence d'impact distal ou même proximal, des activités du site Seine-Aval.

8.3 Conclusion dissémination

Les rapports DM17 (Monitoring of particulate matter in ambient air around waste facilities, Technical Guidance Document, 2004 Environment Agency) et « Bioaerosol emissions from waste composting and the potential for workers' exposure, HSE, 2010 » de l'Environment Agency (UK), pointent la difficulté à estimer des OELs pour les bioaérosols en milieu professionnel, du fait de données insuffisantes sur la relation dose/effet et des limites des méthodes de mesure. Le rapport critique les « standards » d'autres pays, effectués sur des critères pas toujours très clairs (p.30). L'Environment Agency préconise de dériver des « points de référence » ambiants environnementaux, et préconise une limite de 250 m (les bioaérosols doivent être à un niveau acceptable à 250 m sous la plupart des conditions atmosphériques). (Référence Swan et al. (2003)).

Pour des paramètres expérimentaux définis (« two single-stage Andersen samplers in parallel using selective media for viable micro-organisms and a sampling time of 20–30 minutes, carried out 25 m upwind and up to 200 m downwind of the composting site ») l'Environment Agency (UK) considère comme un niveau acceptable, un niveau qui n'excède pas :

- ceux avant le démarrage du processus,

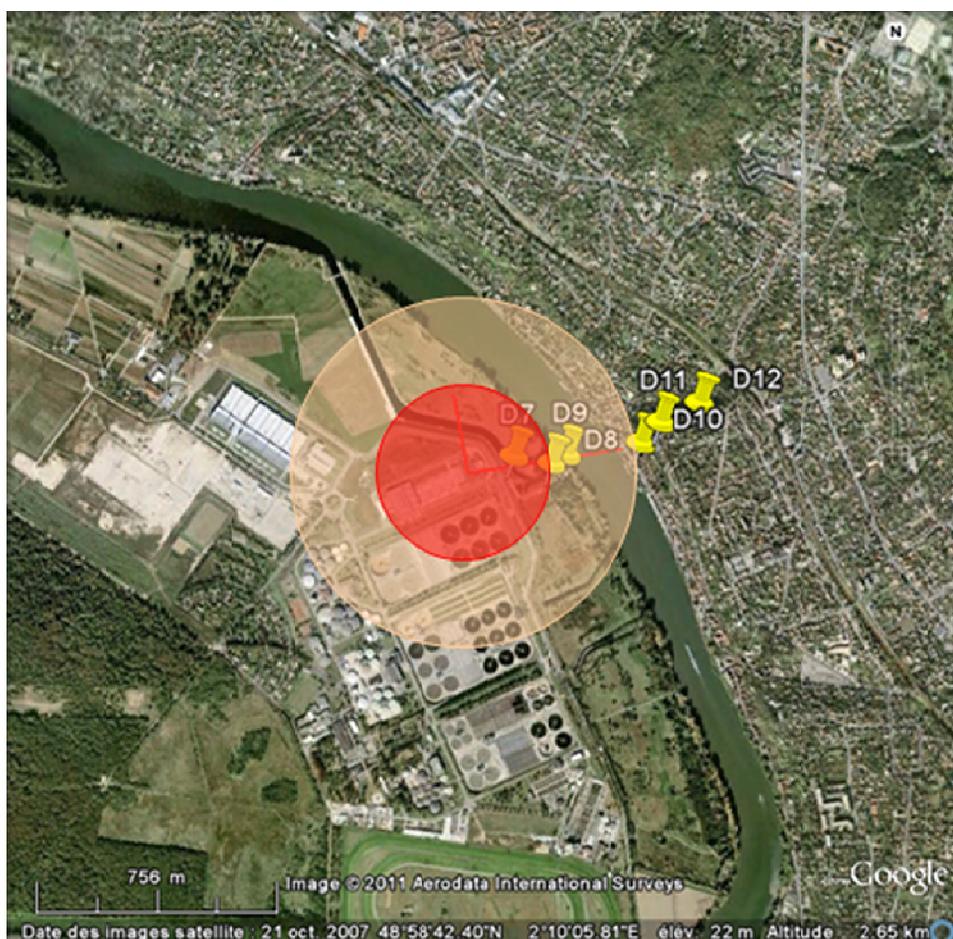
- 1000 CFU (colony forming units) /m³ bactéries totales, 1000 CFU/m³ fungi totaux et 300 CFU/m³ bactéries gram négatives.

De toute évidence, l'ensemble des résultats obtenus ici ne permet pas de postuler une dissémination significative d'aérobiocontaminants de la part du site Seine-Aval, ni même de rattacher ce dernier à une émission atmosphérique particulière en dehors de la possible exposition directe lors d'opérations à des postes de travail identifiés.

Toutefois, il est possible de postuler un scénario extrêmement conservateur sur la base des valeurs obtenues, qui impliquerait 3 zones d'exposition possible au niveau du site Seine-Aval :

- Une zone comprise entre 0 et 250m où l'exposition est possible et envisageable tout en restant compatible avec les précautions professionnelles en vigueur au niveau de ce type d'ouvrages,
- Une zone comprise entre 250m et 500m où l'exposition est toujours possible mais extrêmement limitée et donc bénigne,
- Une zone au delà de 500m où l'exposition est vraisemblablement nulle.

En raison de la taille du site et de sa disposition particulière, il est aisé de constater que la seule zone potentiellement problématique, la zone comprise entre 0 et 250m, ne concernera qu'un nombre nul ou en tous cas très limité de riverains (logements de fonction du site Seine-Aval, hippodrome proche etc. Et ce, où qu'elle puisse être centrée, ainsi que le schématise l'illustration suivante (en rouge, zone entre 0 et 250m, en orange, zone entre 250 et 500m):



Il apparaît donc que le site Seine-Aval, sur la base des données de cette expérience, n'est pas apparu comme potentiellement problématique en termes de génération et de dissémination d'aérobiocontaminants.

9 Exposition riverains

Les points expérimentaux retenus pour les mesures au niveau des riverains des communautés avoisinantes sont illustrées dans la figure de la section 6.1.3 et décrit plus en détail dans le tableau de la section susnommée.

Ces points regroupent :

- une sélection de sites proches de l'usine Seine-Aval mais n'étant pas inclus dans l'ouvrage lui-même, comme des habitations (R10 et R12) ou même un hippodrome (R11),
- des riverains participant au panel de suivi des nuisances olfactives (R1, R2, R6),
- des lieux publics sensibles, notamment trois écoles (R4, R5, R7) et deux cliniques (R3 et R9), A noter que la clinique en R9 est incluse dans les points étiquetés « site » en raison de sa situation sur la rive gauche de la Seine, la même rive que le site Seine-Aval, donc.
- Enfin, un point de contrôle basal urbain situé dans une localité éloignée mais comparable à bien des égards aux agglomérations potentiellement impactées par le site Seine-Aval (R8, à Nogent sur Marne).

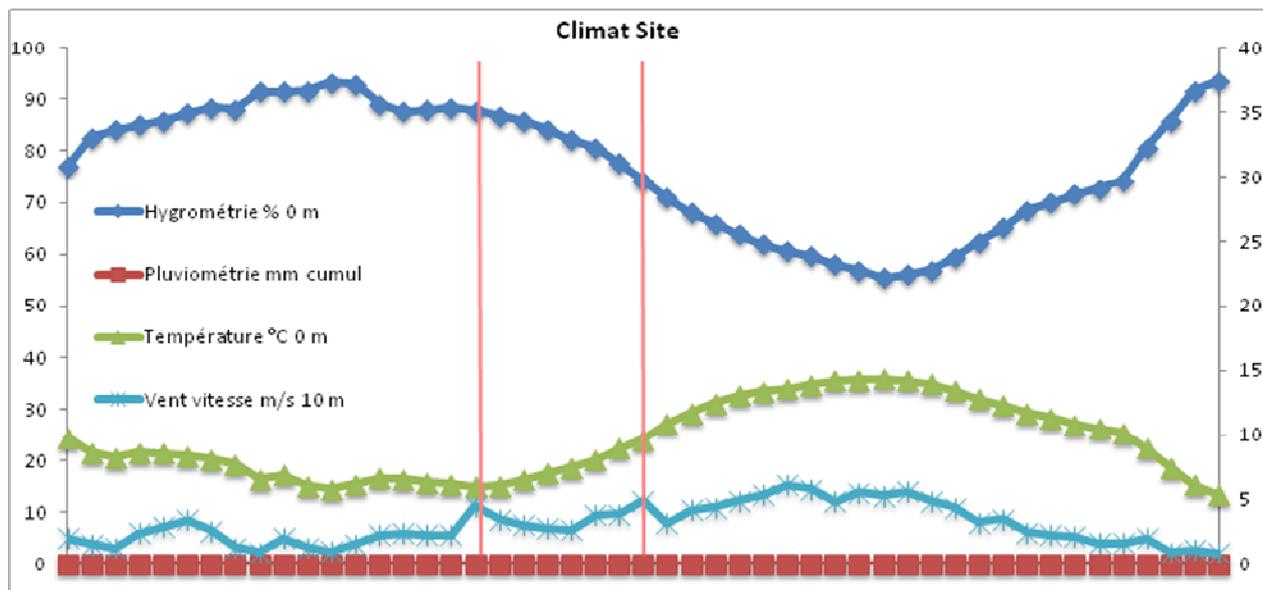
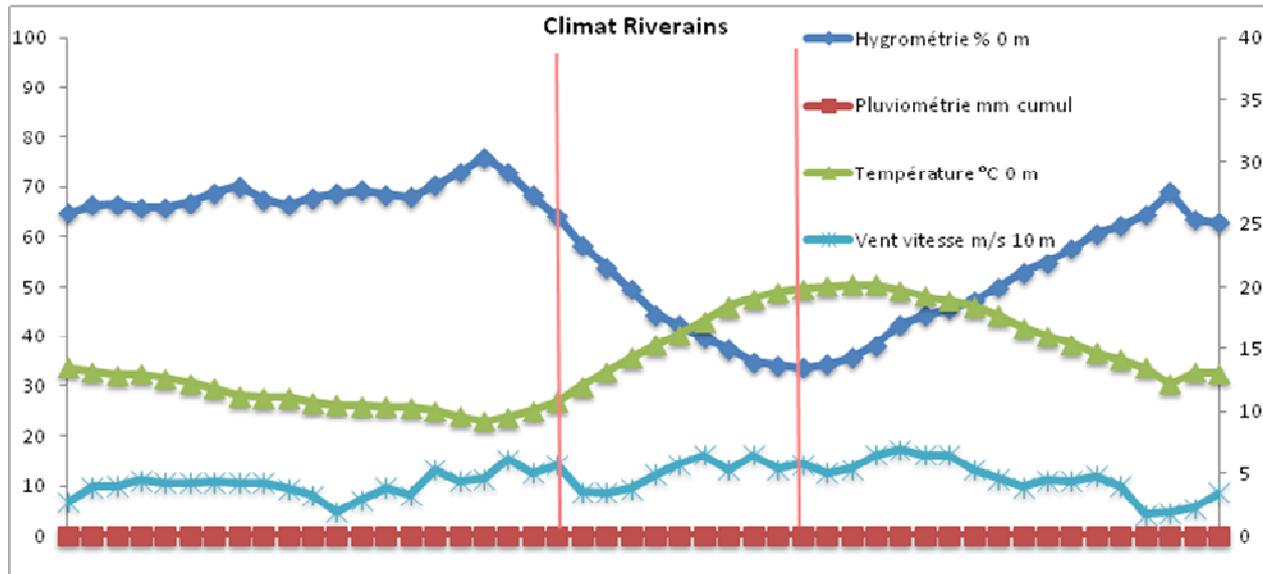
Il convient donc de noter que ces choix permettront une comparaison des conditions au niveau de riverains très proches du SIAAP et sur la même rive de la Seine avec celles de riverains situés dans le tissu bien plus dense d'agglomérations en rive droite, lesquels peuvent être soumis à une grande variété de contaminants aériens possibles indépendamment du site Seine-Aval (commerces, industries locales, transports, activités particulières etc.)

9.1 Campagne 1

9.1.1 Climatologie

Les figures suivantes indiquent les conditions climatiques au niveau des riverains proches du site Seine-Aval et situés sur la même rive de la Seine (noté « Climat site ») et au niveau de tous les autres points, effectués rive droite (noté « Riverains »).

L'axe de gauche témoigne de l'hygrométrie en % alors que l'axe de droite sert au report de la pluviométrie (en mm cumulés), la température en °C et enfin la vitesse du vent en m/s (prise à 10m d'altitude). L'intervalle en rouge correspond à la présence effective sur le site (10h37-13h13 au niveau des riverains et 11h17-13h26 au niveau du site).

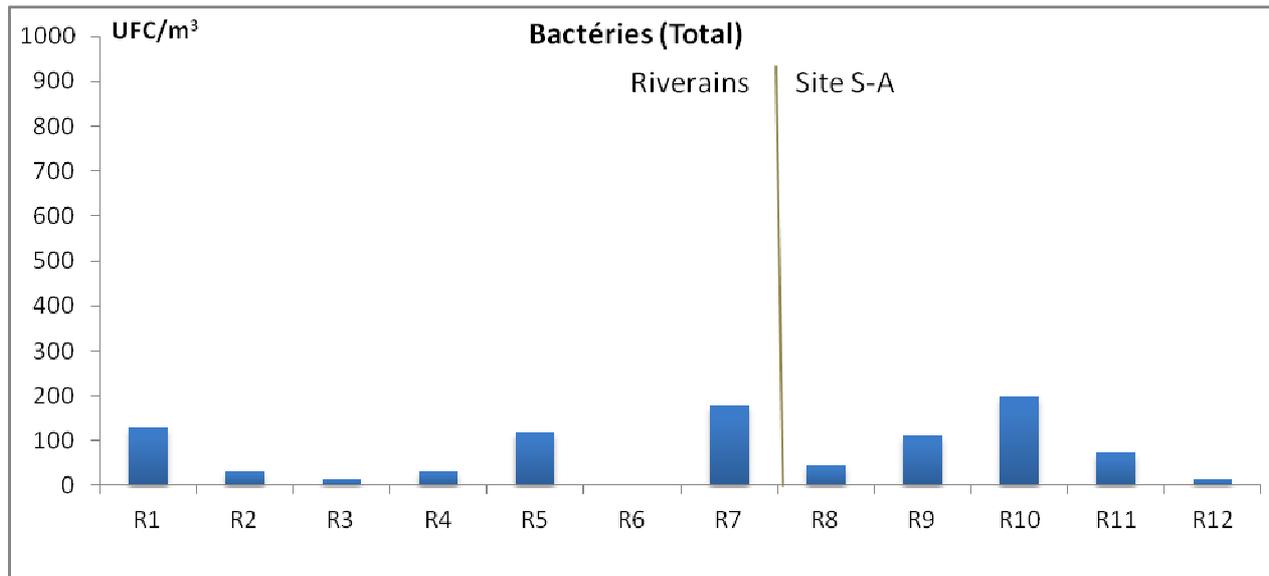


A nouveau, la pluviométrie s'est avérée nulle tout au long des mesures. La vitesse du vent, modérée, est néanmoins non négligeable et peut, la direction aidant, contribuer au transfert de contaminations aérosolisées de diverses natures et provenances.

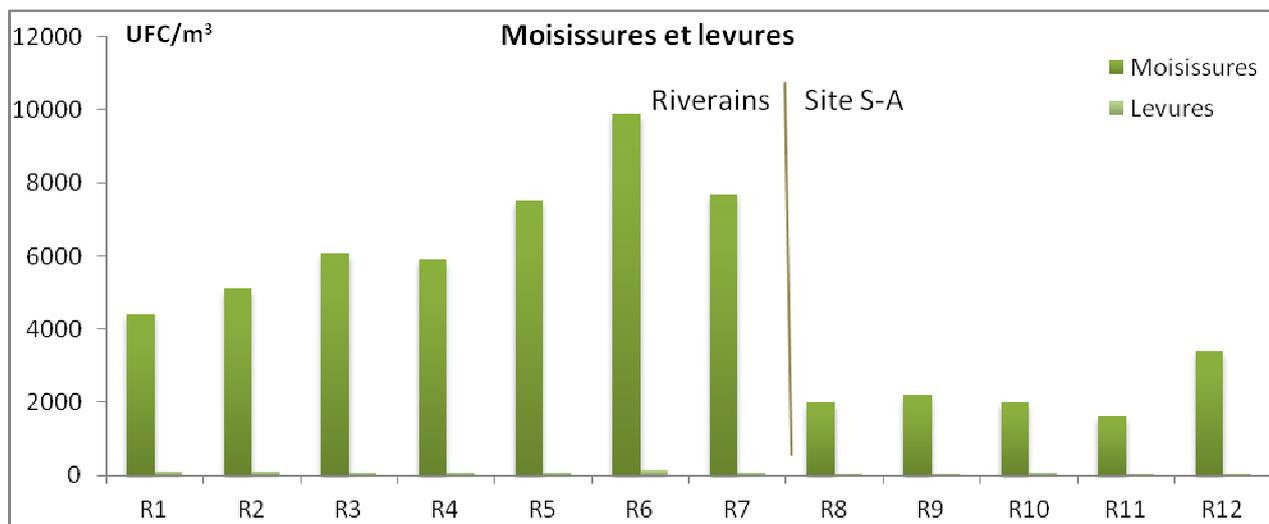
On peut en outre assister à la chute de l'hygrométrie associée à une montée simultanée de la température à mesure que le jour progresse, ainsi qu'observé systématiquement dans la région. Ainsi qu'attendu, l'hygrométrie est plus élevée et les températures plus basses au niveau des sites de la rive gauche (zone fortement boisée) qu'au niveau de la rive droite plus urbanisée.

9.1.2 Microbiologie

Les graphes suivants regroupent les résultats de mesure pour chaque paramètre d'intérêt, intentés de prime abord (contamination « générale ») ou suite à des explorations ultérieures (paramètres plus spécifiques). Les paramètres ne figurant pas dans cette section se sont tout simplement révélés non informatifs. Une analyse synthétique est associée à chaque graphe, individuellement ou après remise dans son contexte global.



Toutes les mesures bactériennes sont relativement faibles et aisément négligeables (de l'ordre de 10^2 UFC/m³ conformément aux observations de Paffoni & Dubois). A noter que les points R7 et R10 semblent se détacher légèrement sans pour autant que cela ne se prête a priori à une analyse négative en raison des valeurs affichées (à titre d'illustration, lors de la précampagne les valeurs obtenues pour le point R8 de référence à Nogent sur Marne étaient de 110 UFC/m³).



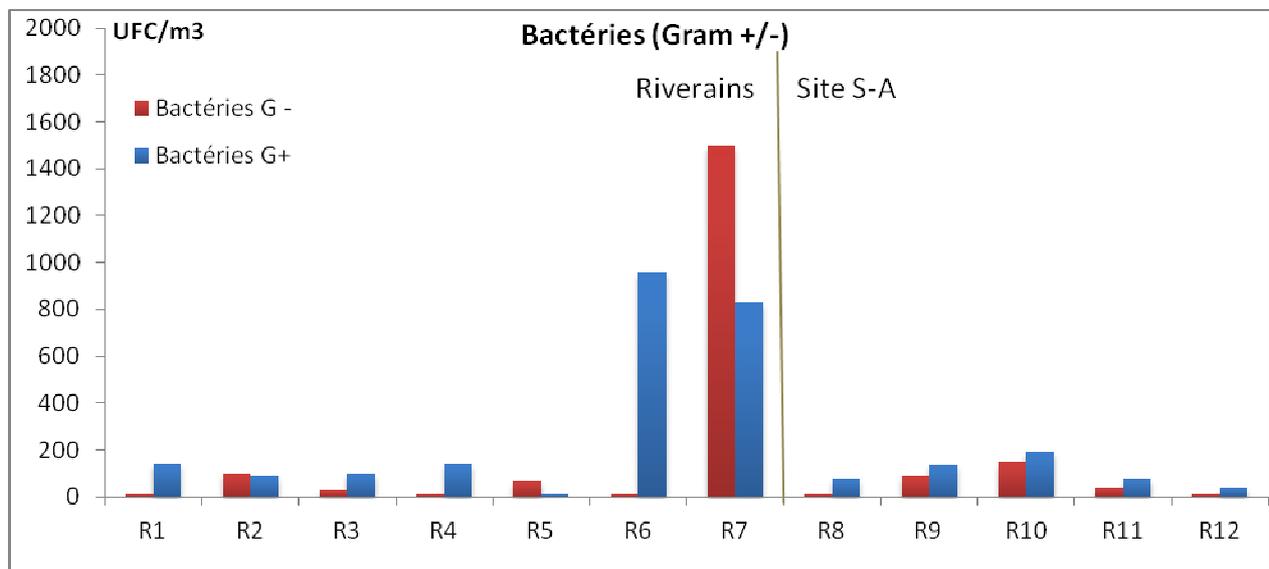
Les mesures de contamination globale en moisissures et levures révèlent une disjonction marquée entre les points situés sur la rive gauche et ceux localisés au niveau de la rive droite. Ces derniers présentent au moment de la mesure des valeurs non négligeables mais en accord avec les données déjà obtenues (notamment pendant les études de dissémination de cette même campagne), alors que les points au niveau de la rive gauche démontrent des taux d'aérobiocontaminants bien supérieurs, supérieurs y compris à la plupart des mesures effectuées sur les postes de travail de la station.

Bien qu'il soit difficile d'attribuer ces valeurs élevées à une ou de quelconque(s) source(s), en tout état de causes l'environnement urbain est sans surprise relativement chargé en aéro(bio)contaminants divers et multiples, sans doute largement d'origine (directement ou

indirectement) anthropique. Il est aussi toujours possible que ces valeurs élevées puissent être tout à fait correctes mais refléter un léger biais d'échantillonnage le jour de la mesure.

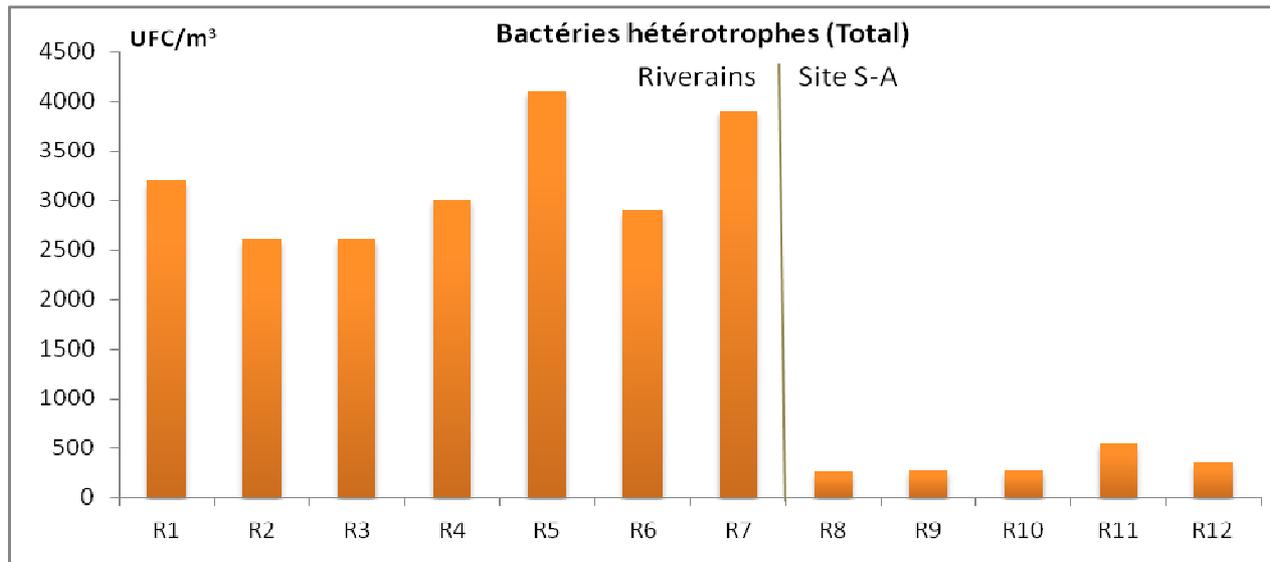
Il est difficile de conclure sur les résultats obtenus au niveau des points R5, R6 et R7, qui forment un trio se détachant encore plus du reste des mesures en ce qui concerne la contamination en moisissures. Les mesures de contaminants biologiques plus spécifiques seront sans doute plus éclairantes, mais quoi qu'il en soit, il convient de marquer ces points pour analyse plus poussée, éventuellement.

Néanmoins, cette disjonction est extrêmement intéressante et informative au sens où elle semble *de facto* écarter du site Seine-Aval toute suspicion d'émission de contaminants qui pourraient atteindre les riverains, quelle que soit leur localisation dans la région. Ou, si exposition il y a (ce que n'ont suggéré aucune des données analysées jusqu'à ce point de l'étude), elle est vraisemblablement mêlée à cette charge basale conséquente.

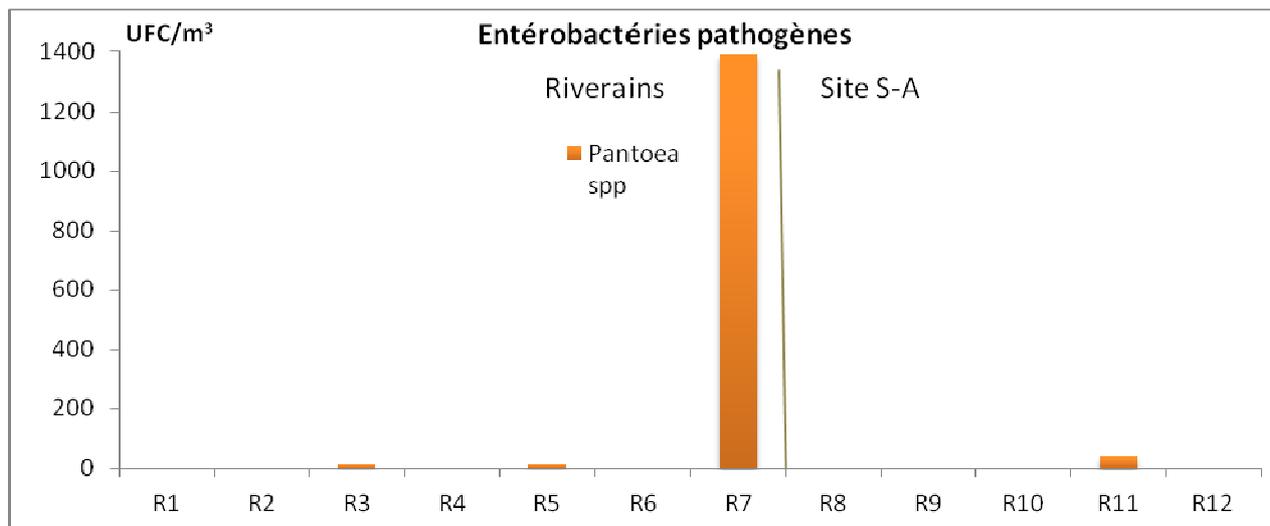


Les points R6 et R7 se détachent ici nettement des autres et même si les données obtenues ne sont en rien comparables aux relevés effectués, par exemple, au niveau des postes de travail lors de l'exposition professionnelle, il faut tout de même noter la singularité du point R7 en termes de présence de bactéries Gram -. Ce point est vraisemblablement à surveiller.

Néanmoins, les profils obtenus renforcent à nouveau les éléments plaidant en faveur d'une absence de contamination issue spécifiquement du site Seine-Aval, qui est l'investigation princeps du présent travail.



Les bactéries hétérotrophes totales constituent ici un indicateur peu informatif : il présente certes des valeurs élevées mais qui s'avèrent n'offrir que peu de capacité de discrimination fine entre les sites. Ceci dit la disjonction entre les points de la rive gauche et ceux de la rive droite est encore ici évidente, et renvoie donc aux conclusions du paramètre précédent.



La recherche d'entérobactéries pathogènes a ici été particulièrement pertinente. Alors qu'en accord avec les observations du rapport SIAAP établie par Paffoni & Dubois, les concentrations en entérobactéries sont non détectables dans l'atmosphère extérieure, le point R7 apparaît être le siège d'une teneur importante. Ces microorganismes potentiellement problématique se sont avérés être spécifiquement de type *Pantoea* spp, ex *Enterobacter agglomerans*. Cette espèce est relativement rarement isolée [B. Joly et A. Reynaud « Systématique et méthodes de diagnostic », 2007].

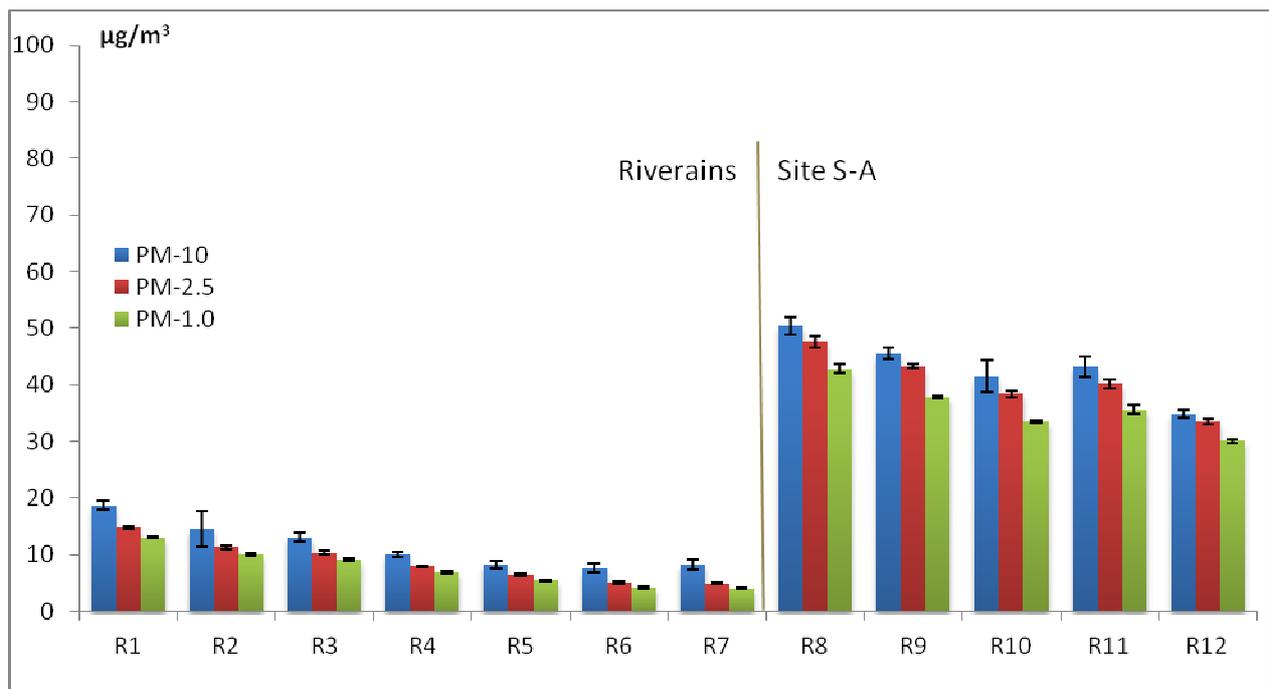
Les modes de contamination couramment décrits par cette bactérie sont le plus souvent reliés au contact direct (souvent invasif – cathéters, aiguilles) avec des produits d'usage médical/chirurgical [Cruz et al., J. Clin. Microbiol. 2007] et selon toute vraisemblance, ces données conduisent à penser que l'impact sur l'Homme devrait ici être très faible, d'autant plus dans le cas d'une contamination via l'air.

Néanmoins, le fait que R7 a été sélectionné car c'est une école (maternelle, qui plus est) incite à ne pas ignorer ces données et, le cas échéant, à éventuellement suggérer un signalement aux autorités concernées, même si ceci sort du cadre du présent rapport. La source vraisemblable de cette contamination proviendrait d'un terrain vague tout proche, lequel semble servir de dépendance à une « supérette » de quartier qui y dépose régulièrement débris, palettes de bois laissées à pourrir et autres sources potentielles évidentes de contaminations diverses.

Enfin quelques *Pantoea* ont été détectées au niveau du point R11, un logement de fonction de certains travailleurs du site Seine-Aval. Si le site lui-même peut être mis hors de cause dans ces observations, on peut imaginer un lien entre ce point et le point R7 au travers des activités quotidiennes des personnes pouvant être amenées à relier ces deux points (R7 étant donc ici la source originelle de la contamination). Les auteurs du rapport laissent le soin de décider de la marche à suivre aux agents compétents.

9.1.3 Particules

Les histogrammes ci-dessous représentent les mesures de particules, subdivisées selon 3 catégories de taille (<PM1, <PM2.5 et <PM10) :



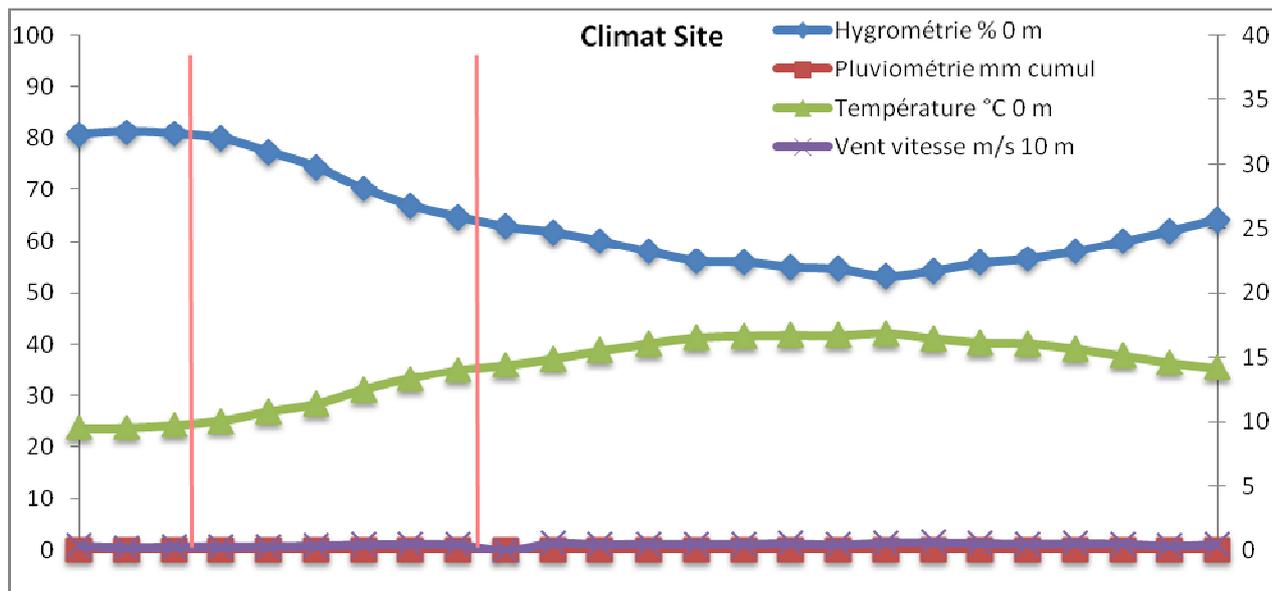
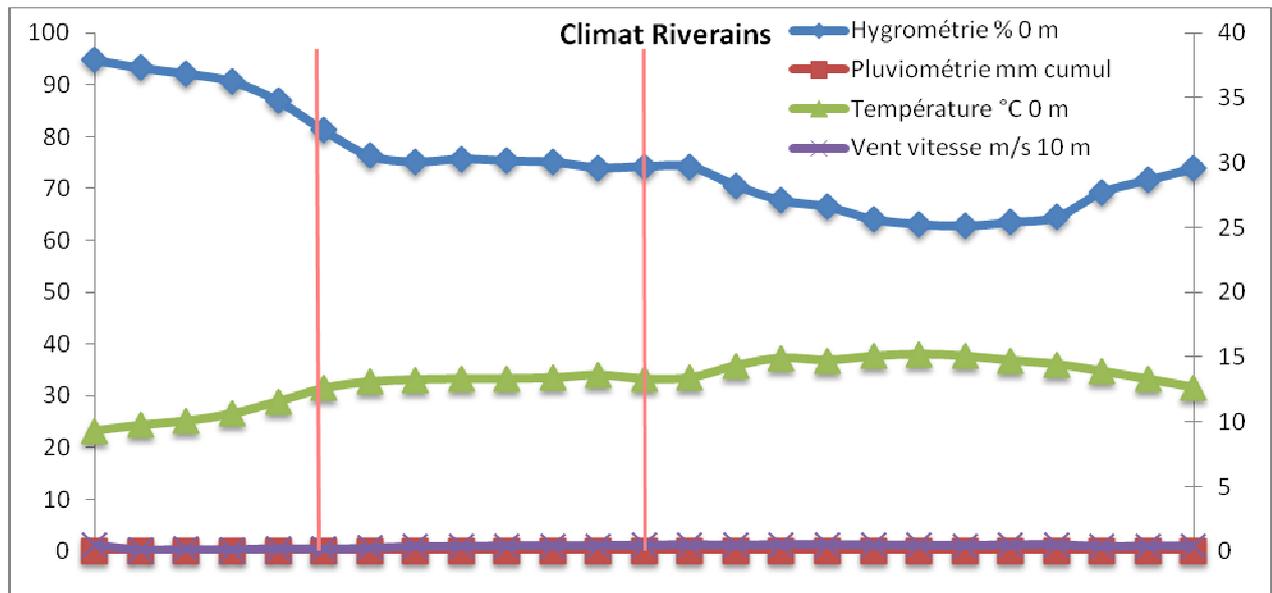
Les taux de particules ici observés montrent eux aussi la disjonction rive gauche/rive droite. A noter que le point R8, à Nogent sur Marne, laisse penser à une simple différence de niveau basal le jour de la mesure. Ces valeurs ne sont pas aberrantes et ont été rencontrées maintes fois au cours de la présente étude. Ceci étant dit, elles penchent elles aussi à nouveau en faveur d'une absence de contribution émissive du site Seine-Aval au niveau des communes riveraines, ou alors simplement sous une forme bénigne noyée dans le bruit de fond, quel qu'il soit.

9.2 Campagne.2

9.2.1 Climatologie

Les figures suivantes indiquent les conditions climatiques au niveau des riverains proches du site Seine-Aval et situés sur la même rive de la Seine (noté « Climat site ») et au niveau de tous les autres points, effectués rive droite (noté « Riverains »).

L'axe de gauche témoigne de l'hygrométrie en % alors que l'axe de droite sert au report de la pluviométrie (en mm cumulés), la température en °C et enfin la vitesse du vent en m/s (prise à 10m d'altitude). L'intervalle en rouge correspond à la présence effective sur le site (10h23-14h05 au niveau des riverains et 9h09-12h10 au niveau du site).

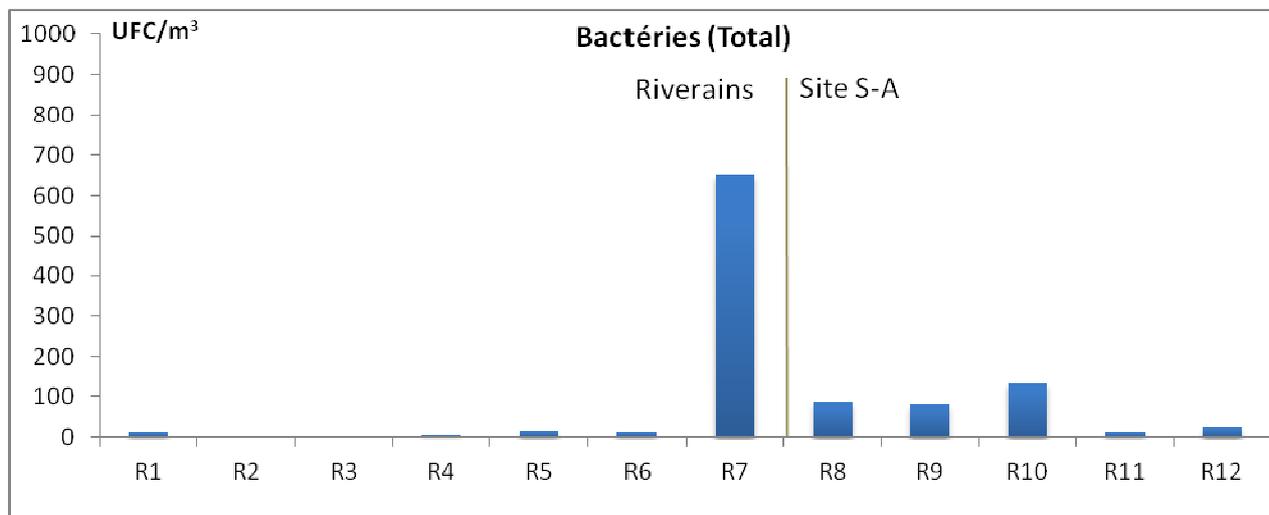


Ces relevés se caractérisent par une totale absence non seulement de pluie mais surtout de vent, présageant de conditions très peu propices à une quelconque dissémination, même si jusqu'à présent aucune n'a pu être mise en évidence, du moins par voie aérienne, dans cette étude.

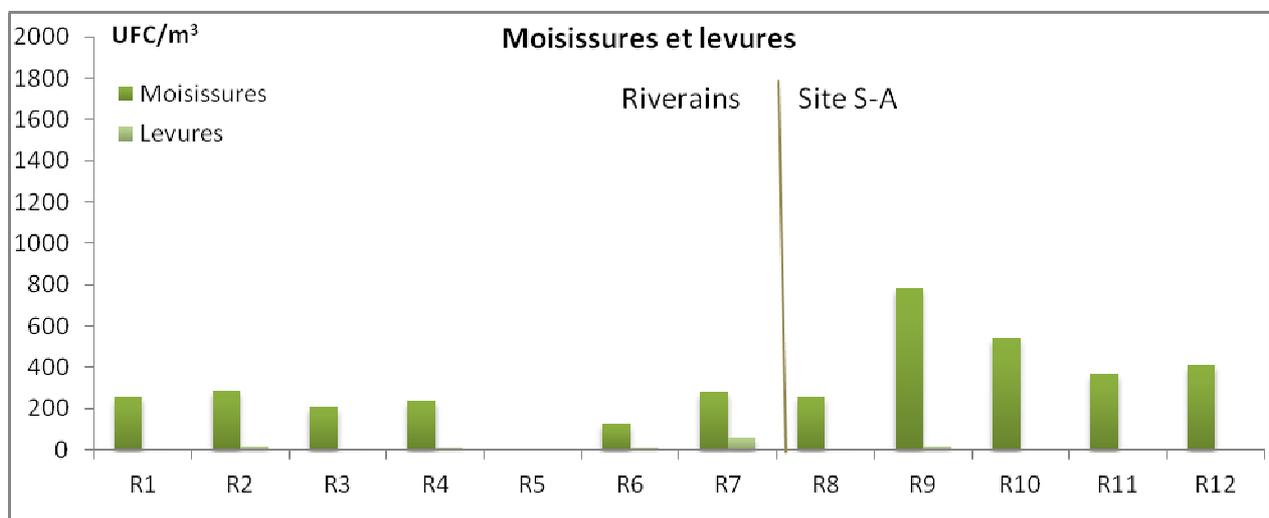
On peut au contraire penser que ces conditions sont très favorables à l'immobilisation locale de charges d'aérobiocontamination préexistantes, les températures et l'hygrométrie relativement courantes pour la saison y participant.

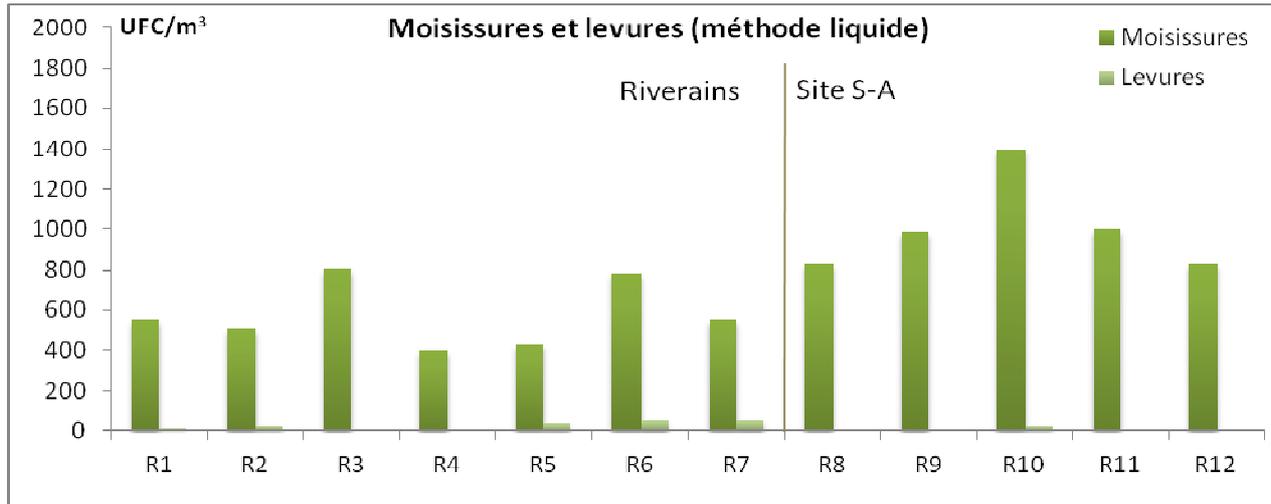
9.2.2 Microbiologie

Comme pour les résultats de la campagne précédente, les graphes suivants regroupent les résultats de mesure pour chaque paramètre d'intérêt, intentés de prime abord (contamination « générale ») ou suite à des explorations ultérieures (paramètres plus spécifiques). Les paramètres ne figurant pas dans cette section se sont tout simplement révélés non informatifs. Une analyse synthétique est associée à chaque graphe, individuellement ou après remise dans son contexte global.



Les mesures effectuées au niveau de la population globale bactérienne sont éminemment similaires à celles de la campagne précédente, et les mêmes observations s'appliquent. Il est cependant intéressant de constater un profil particulier pour le point R7, déjà évoqué, qui se distingue par des valeurs plus importantes que le reste des mesures. Cependant dans l'ensemble ces dernières ne peuvent être considérées comme réellement problématiques et de surcroît rien ne permet de postuler à une quelconque possibilité d'exposition à des aérobiocontaminants générés et dispersés au niveau du site Seine-Aval.

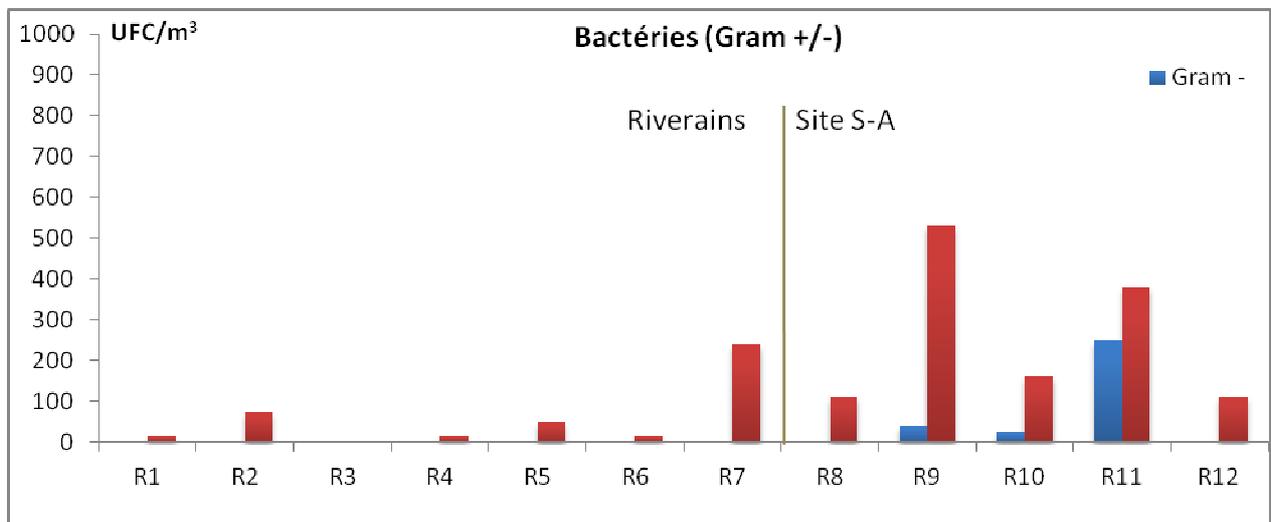




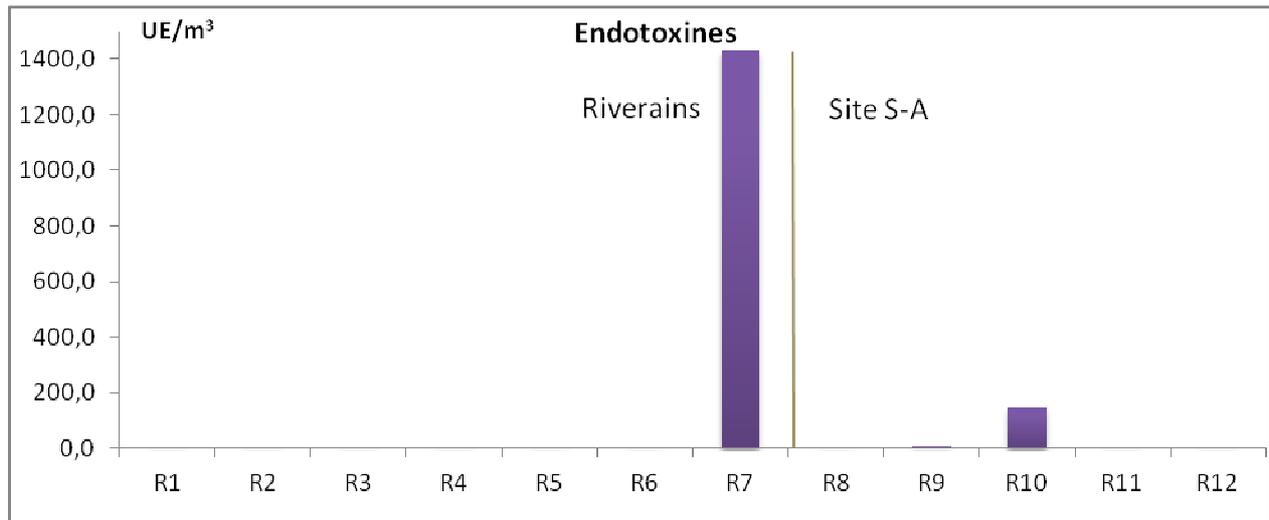
Les mesures se révèlent là encore très similaires à celles déjà observées au cours de la première campagne, même si la disjonction rive gauche/rive droite n'est ici plus apparente car les mesures au niveau des riverains sont redescendues à un niveau plus usuel.

Les deux modes d'échantillonnage (impaction directe sur gélose ou impaction liquide) donnent des résultats très comparables même si l'impaction liquide semble plus efficace.

Pas de remarque particulière à propos de ces résultats, si ce n'est qu'ils ne sont pas alarmants et qu'ils ne relient en rien le site Seine-Aval à une source possible de contamination.

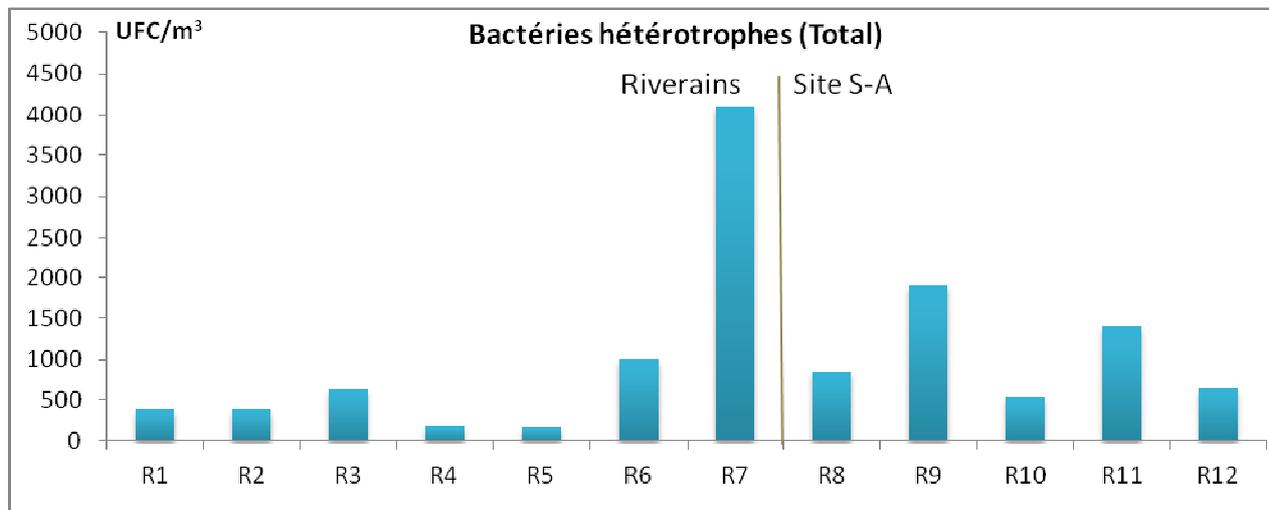


Peu d'informations décisives à extraire de ces mesures, surtout en raison des valeurs relativement basses relevées au niveau des bactéries Gram -. Ces résultats n'apparaissent en rien problématiques, à quelque niveau que ce soit.



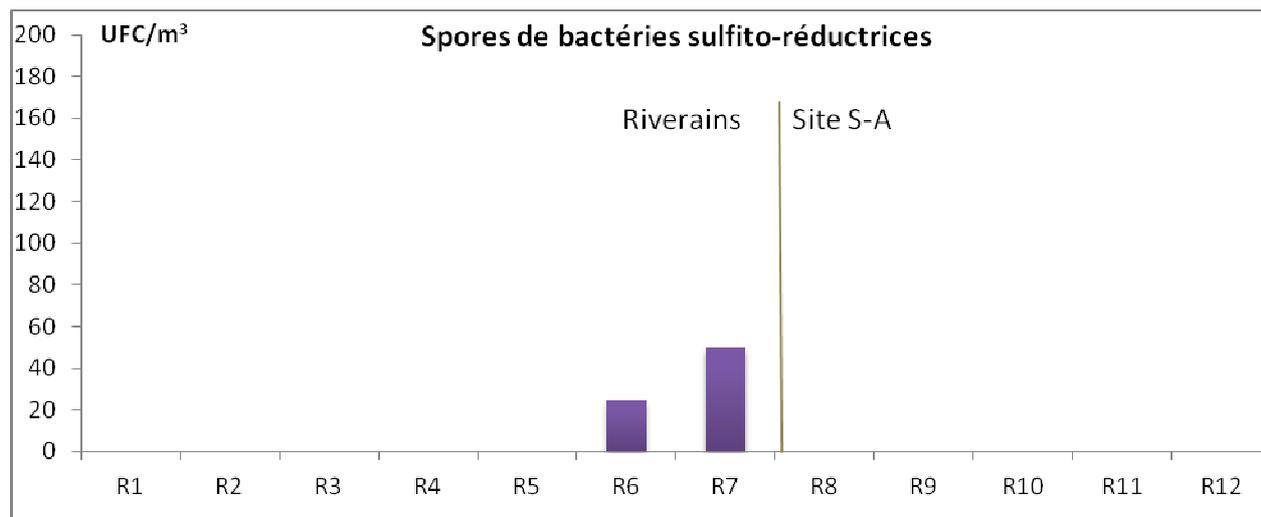
Les mesures d'endotoxines sont particulièrement éloquentes en ce qui concerne, cette fois encore, le point R7. Sans pour autant présager de la nature des contaminants et donc de l'éventuel danger qu'ils peuvent présenter, il est clair que la situation déjà constatée au cours de la campagne 1 perdure et que les usages et habitudes prises au niveau soit du terrain vague jouxtant la « supérette » proche constituent des sources possibles de contamination par des agents biologiques.

Le point R11 est le seul qui, en dehors de R7, se détache dans ces mesures. Il est difficile de faire le lien avec les éventuelles activités se déroulant à l'hippodrome mais il est fort probable qu'elles soient la raison à la base de ces observations.

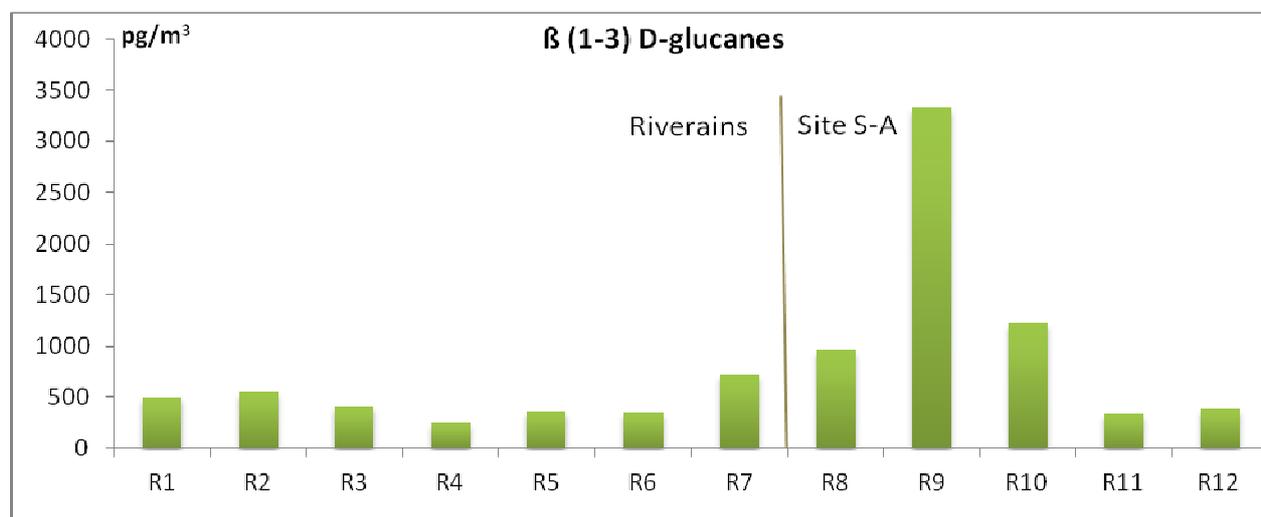


A nouveau, ces données illustrent le caractère particulier des relevés au niveau du point R7, qui se démarque cette fois encore par des valeurs (ici de bactéries hétérotrophes) relativement élevées. Ceci repose la question de la pertinence d'un éventuel signalement de cette situation, qui concerne rappelons-le une école.

Les points R9 et 11 (ce qui fait lien avec l'observation précédente) se détachent eux aussi mais de manière plus modérée. Il y a visiblement un lien avec soit leur localisation particulière (sans pour autant mettre en cause le fonctionnement du site Seine-Aval lui-même), soit avec les activités qui y prennent place. Les résultats obtenus sur la rive droite sont très similaires à ceux obtenus dans la localité de Nogent sur Marne (R8), et peuvent donc être considérés comme basaux.

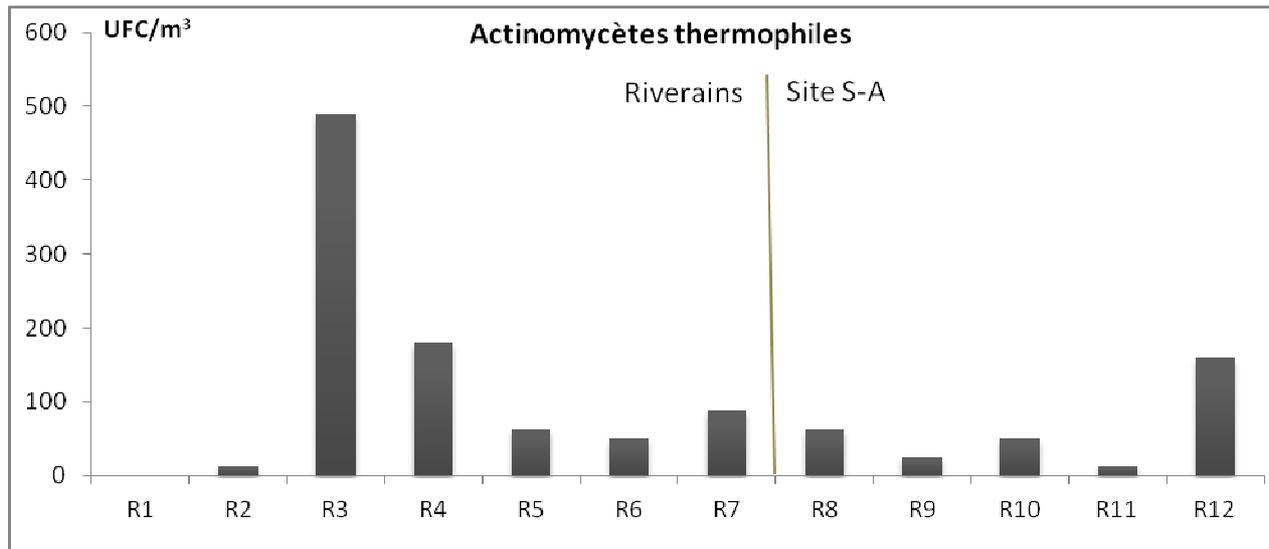


Cette figure, peu informative dans l'absolu, est toutefois fournie pour illustrer plus avant le statut particulier des observations au niveau du point R7.



Les résultats illustrés ci-dessus sont eux en lien avec la mesure des bactéries hétérotrophes, dont ils constituent un appoint pertinent. En effet, on y observe une nouvelle fois que les points riverains présentent des valeurs somme toute relativement faibles (cf. référence en R8) mais que R9, en raison sans doute purement de sa localisation, se détache de manière conséquente.

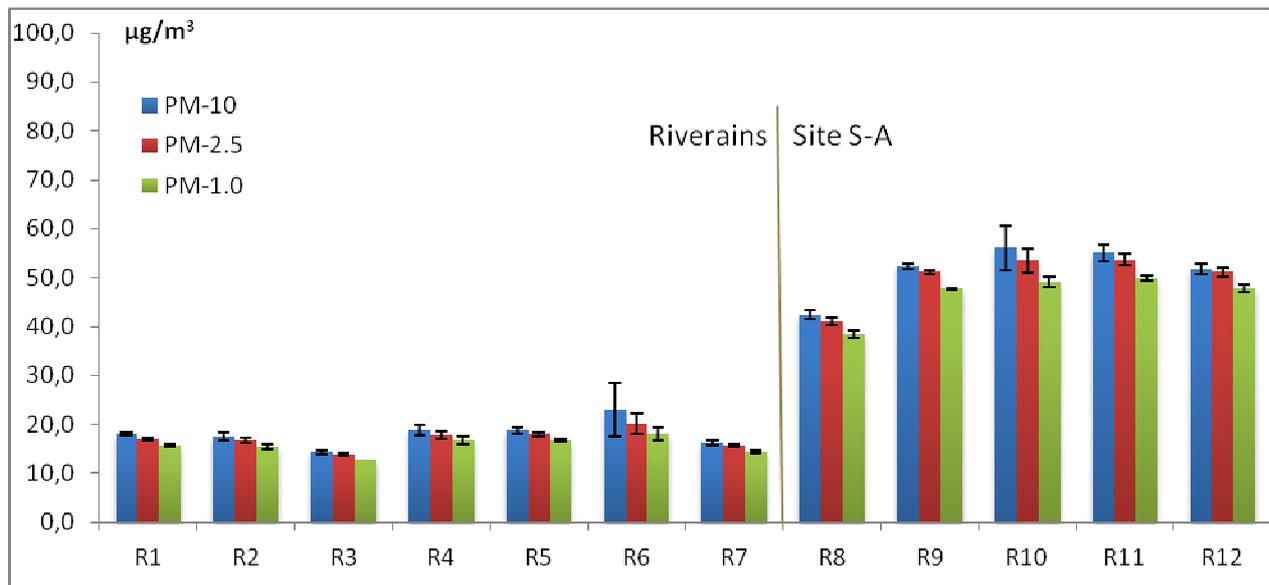
On ne retrouve pas non plus la disjonction entre les points rive gauche et les points rive droite pourtant constatée en campagne 1. Néanmoins, ces mesures ont l'avantage d'enrichir les observations précédentes, et surtout de constituer cette fois encore des indications fortes qu'il est sans doute pertinent de mettre hors de cause le site Seine-Aval ou ses activités en ce qui concernerait une possible exposition distale à des contaminants.



Ces résultats, au demeurant relativement anodins dans leur globalité, sont ici exposés pour illustrer la diversité des expositions possibles en milieu urbain indépendamment de source spécifique problématique. Le point R3 se détache ainsi nettement, sans qu'il soit possible de mettre en cause aucun des facteurs investigués.

9.2.3 Particules

Les histogrammes ci-dessous représentent les mesures de particules, subdivisées selon 3 catégories de taille (<PM1, <PM2.5 et <PM10) :



Même si la différence de jours de mesure entre les sites rive gauche et les sites rive droite explique facilement la différence de niveau de base observée entre ces deux zones, il reste que les points R9 à R12 sont significativement supérieurs au point R8, ce qui peut aisément s'expliquer par leur localisation dans des lieux fortement boisés.

Cependant, les données illustrent à nouveau qu'il n'y a pas de nécessairement de lien facile à établir entre l'empoussièremement global et les aérobiocontaminations, et que dans tous les cas il est vraisemblable qu'au moins pour ce paramètre l'environnement du site Seine-Aval est bien plus contributeur que le site lui-même.

Par ailleurs, selon le site du Ministère de l'Écologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement, mise à jour du 10 mars 2011), les valeurs limites des PM 10 pour la protection de la santé humaine (déclinée à partir de la réglementation européenne de janvier 2005) étant établis à :

- 50 µg/m³ (en moyenne journalière à ne pas dépasser plus de 35 fois par an)
- 40 µg/m³ (en moyenne annuelle civile),

les mesures réalisées lors de ces deux campagnes, bien que n'étant pas directement comparables car ce ne sont que des mesures ponctuelles, ne permettent pas de penser que ces seuils soient atteints.

9.3 Conclusion exposition riverains

Tous facteurs pris en compte, force est de constater sur la base des données disponibles que le site Seine-Aval ne peut être considéré comme une source possible de biocontaminants qui, par voie aérienne, pourraient impacter les populations alentour du site, qu'elles fussent localisées au niveau de la rive gauche de la Seine, ou de sa rive droite, plus densément peuplée.

Les expérimentations ont cependant pu mettre en évidence certaines contaminations particulières, notamment aux abords de l'école maternelle « Les Chênes » à Herblay. Bien que ces contaminations ne soient en aucune façon de l'ordre des aérobiocontaminations qui sont l'objet de la présente étude, elles permettent en contraste de valider la pertinence de l'approche déployée.

Incidentement, elles posent la question de la suite à donner à ces observations (qui impactent potentiellement par nature des enfants en bas âge), même si elles sortent du cadre de ce travail.

10 Etude de risque sur le paramètre endotoxine

En France, L'INERIS, le GT RECORD (REseau COopératif de Recherche sur les Déchets), l'ASTEE et l'ENS ont, depuis 10ans, réalisé un état des connaissances et édité certains principes de bonne conduite d'évaluation du risque sanitaire liés aux bioaérosols des installations de traitement de déchets. Cependant force est de constater que le risque est plus souvent pris en compte au sein des installations de compostage, sur les sites d'épandage plutôt que dans les stations d'épurations pour lesquelles il y a presque aucune étude spécifique.

A l'étranger, le gouvernement anglais est le principal producteur de données et le plus avancé dans le domaine des bioaérosols des installations de traitement de déchets.

Le rapport d'octobre 2008 de l'Environment Agency (Development of Amenity Risk Assessments at Organic Waste Treatment Facilities) fait le point sur les programmes de recherche concernant l'émission des bioaérosols des installations de traitement de déchets. Ainsi sont traités la modélisation de la dispersion des bioaérosols (*A.fumigatus*) pour lequel l'Agence n'est pas en mesure de recommander des outils de modélisation de dispersion des bioaérosols sous le vent, ainsi que la nécessité d'études concernant les valeurs seuil, et les relations doses effets. Le document Dispersion of bioaerosol from composting facilities (2006), est complémentaire ; il examine à l'aide des modèles SCREEN 3 et ADMS 3.3 l'usage de données météorologiques expérimentales, la modélisation des bioaérosols en tant que particules et gaz, l'agglomération en particules de *A.fumigatus*.

Par ailleurs, le rapport Guidance on the evaluation of bioaerosol risk assessments for composting facilities publié par l'Environment Agency (UK) est un support destiné à l'évaluation du risque lié au bioaérosols et le DEFRA a mandaté une étude approfondie (IOM, 2008, Exposure-response relationships for bioaerosol emissions from waste treatment processes) afin de faire le point sur les relations exposition-effets des bioaérosols des installations de traitements de déchet sur la santé humaine (exposition professionnelle et des populations riveraines) à des fins de régulation. Ce rapport a étudié six paramètres : poussières organiques, bactéries, endotoxines, peptidoglycane, champignons et bêta (1,3) glucane.

Tous ces travaux se réfèrent à des cellules pouvant croître sur un milieu de culture sélectif. Cependant des cellules viables peuvent ne pas croître sur ce milieu : on parle de « viable mais non cultivable ». Les cultures peuvent donc sous-estimer l'exposition totale aux bioaérosols. Il est estimé que moins de 10 % peuvent être cultivés et les cellules non-viables peuvent être toxiques ou allergéniques.

Les données étant insuffisantes pour les composés autres que les endotoxines et sachant que selon le rapport IOM-DEFRA (2008) il n'y a aucune donnée sur les niveaux d'endotoxines dans l'air ambiant hors installation, il est donc presque impossible de comparer des données de modélisation ou d'expérimentation avec des données réglementaires dans de telles conditions. Au final on se doit de conclure que les données actuelles sont insuffisantes pour définir un risque autre que celui liés aux endotoxines.

Les Endotoxines étant connues comme des lipopolysaccharides des membranes externes de Bactéries gram négatif libérées à la lyse. Ce sont des substances complexes qui donnent lieu à des incertitudes de mesure et de comparaison. Néanmoins, le relevé de la littérature sur les méthodes de prélèvements et les études réalisées sur des unités de traitement d'eaux usées, de compostage et de traitement d'ordures ménagères nous ont cependant permis d'extraire un certain nombre de données résumées ci-dessous :

10.1 Valeurs sélectionnées

Endotoxines bactériennes : 50 EU/m³ soit 4,5 ng/m³ pour 8 h /jr (INERIS et Dutch Expert Committee on Occupational Standards-PAYS BAS) mais 90 EU/m³ pour 8h/jour d'exposition d'après le DECOS (Pays Bas, 2010)

Rapport INERIS 2003

La NOAEL (No Observed Adverse Effect Level) de 9 ng/m³ (soit environ 100 UE/m³) basé sur des effets respiratoires aigus observés dans une étude sur la population générale ayant été exposée à des endotoxines provenant de poussières de coton a été retenue.

Relation dose dépendante [Rylander 1997], cité par Deloraine dans le rapport INERIS 2003)

20 ng (200- 280 EU)/m³ entraînent une augmentation de la réactivité bronchique

200 ng (2000- 2800 EU)/m³ entraînent une altération de la fonction pulmonaire

300 ng (3000- 4200 EU)/m³ entraînent des symptômes d'oppression respiratoire

1000 ng (10000 à 14 000 EU)/m³ entraînent une pneumopathie toxique.

Guidance on the evaluation of bioaerosol risk assessments for composting facilities

1000-2000 (ng/m³) Organic dust toxic syndrome ODTS

100-200 ng/m³ bronchoconstriction aiguë

20-50 ng/m³ Mucous membrane irritation

(Valeurs proposée par l'ICOH, « International Commission on Occupational health », mais le même organisme a proposé plus récemment des valeurs plus basses pour les sujets sensibles :

- 200 ng/m³ pour l'ODTS

- 100 ng/m³ pour les effets systémiques

- 10 ng/m³ pour l'inflammation des voies respiratoires

10.2 Résultats

La VLE de 50 UE/m³ (4.5 ng/m³) pour 8H/jr est retenue en milieu professionnel

En milieu professionnel, sont sélectionnées les rapports (Concentration dans l'air ambiant observé UE/m³)/50 UE/m³ > 1

La NOAEL de 9 ng/m³ (soit environ 100 UE/m³) est retenue pour la population générale en phase dissémination et riverains.

10.2.1 Professionnels

Ne sont retenues pour la caractérisation du risque que les valeurs supérieures à 50 UE/m³

Campagne 1

UPEI :

- P1 191 UE/m³

- P6 187 UE/m³

Bien que supérieure à la VLA, soit 17 ng/m³, on peut considérer ces valeurs comme acceptables en ambiances de travail, sauf pour des sujets sensibles.

Campagne 2

UPEI :

- P1 450 UE/m³ soit 40 ng/m³

- P6 232 UE/m³ soit 21 ng/m³

Les valeurs sont supérieures à 20 ng/m³ et suggèrent donc des valeurs qui peuvent entraîner une augmentation de la réactivité bronchique.

10.2.2 Dissémination

Toutes les valeurs sont très inférieures à 30 UE (moins de 3 ng/m³) donc inférieures à la NOAEL.

10.2.3 Riverains

2 valeurs sont supérieures à 100 UE/m³, les autres valeurs étant proches de 0.

Campagne 1

Valeurs proches de 0

Campagne 2

R7 1431 UE/m³ = 129 ng/m³

R10 144 UE/m³ = 13 ng/m³

Le point R10 (hippodrome) enregistre des valeurs qui peuvent entraîner une bronchoconstriction.

Le point R7 enregistre une valeur pouvant entraîner une inflammation des voies respiratoires chez les sujets sensibles.

11 Conclusion générale

Malgré des paramètres très ponctuellement peu informatifs (pour des raisons ne dépendant pas nécessairement de l'étude elle-même mais tout simplement de la complexité du contexte), une certaine difficulté à comparer des mesures ayant eu lieu à des mois d'écart et l'impossibilité parfois d'établir un lien causal entre les données connues et les résultats obtenus, l'étude peut être considérée comme probante et a atteint ses objectifs.

Ainsi, ce travail s'est axé sur l'exploration des trois facteurs constitutifs d'une évaluation de risque : la présence d'une source de contaminations dangereuses, l'éventuelle dispersion de ces dernières au delà de la source par quelque voie que ce soit et des populations potentiellement cibles de ces contaminations. Cette démarche a été mise en place tant au niveau de l'exposition professionnelle, en opérant *in situ* par rapport aux activités identifiées comme potentiellement impactées et pendant lesdites activités, qu'au niveau de l'exposition de riverains distants du site en mettant en place une série de mesures spécifiquement dédiée à la dispersion. Enfin, deux campagnes ont été réalisées à des mois d'écart afin de pouvoir au besoin normaliser des facteurs saisonniers (météorologie, activité industrielle ou autre) ainsi que renforcer la significativité et la confiance imputable à chaque observation.

Les résultats d'exposition professionnelle, sans surprises étant donné le contexte, révèlent diverses sources de biocontaminants au niveau de certains postes de travail du site. La plupart, sinon tous, n'apparaissent pas comme problématiques selon, par exemple, de récents travaux portant spécifiquement sur les ouvrages d'assainissement (ex : VLE suggérées par les travaux du groupe ASTEE). Ceci dit certains postes se détachent tout de même, notamment ceux concernant le processus de dénitrification. Bien qu'il ne se distingue pas des autres en termes de résultats analytiques, le fait que ce poste fut inclus dans les points d'intérêt avant même le début des campagnes expérimentales sur la base de la description de symptômes d'ordre digestif constatés par les instances médicales du site devrait attirer une attention particulière. Le poste de clarifloculation est, lui, apparu tout au long de l'étude comme une source non négligeable de biocontamination. Ceci le désigne comme un poste à surveiller pour lequel des précautions doivent être envisagées dans le but de réduire l'exposition des travailleurs. Certaines autres actions, comme par exemple le nettoyage à grandes eaux au niveau de la chambre des vannes de La Frette, pourraient aussi éventuellement bénéficier d'explorations ultérieures. Quels que soient les développements envisagés au cours de la future refonte de l'usine, cette étude à

démonstré l'utilité d'une telle exploration comme base d'évaluation et d'action pour mieux qualifier et si besoin renforcer la sécurité des professionnels du site.

Néanmoins, les résultats des campagnes de dissémination et d'exposition possible de riverains, tant au niveau de la rive gauche de la Seine que de sa rive droite, sont (au moins sur la base des données récoltées ici) sans appel : le site Seine-Aval ne peut pas être considéré comme un émetteur significatif de biocontaminants qui pourraient impacter de manière distale les populations des agglomérations proches. En de nombreuses occurrences, il a d'ailleurs été montré que le contexte complexe de la station (grande zone boisée d'un côté, zone plus fortement urbanisée, avec des activités diverses de l'autre) semble nettement plus contributeur que le site lui-même, y compris dans un environnement relativement proche.

Il serait tentant d'opposer à ces observations le fait que le site Seine-Aval fait l'objet de plaintes olfactives relativement régulières, auxquelles le SIAAP a répondu par la mise en place de réseaux de surveillance et d'alerte humains mais aussi par celle d'un outil informatique unique de modélisation de création et dispersion d'odeurs. Cependant, deux facteurs soutiennent la conclusion établie précédemment : tout d'abord, tout au long de l'étude a été observée une nette disjonction entre les résultats d'empoussièrement (y compris pour les plus fines) et les résultats de contaminations. Tous les aérosols ne sont donc pas biologiquement actifs, ni même simplement représentatifs d'une éventuelle charge biologique aérosolisée. De surcroît, les molécules odorantes sont souvent des molécules organiques dont la volatilité, et donc le potentiel de dispersion, sont incommensurablement supérieurs à celle des microorganismes.

En conséquence, les plaintes pour nuisances olfactives et l'absence de détection, au moins dans cette étude, de génération et de dissémination de contaminants biologiques au niveau du site Seine-Aval (outre bien entendu à proximité des postes de travail) ne sont donc pas incompatibles.

Enfin, la pertinence des paramètres suivis dans ce travail s'est révélée plus encore dans le cadre d'une détection de contaminants potentiellement problématique d'origine locale, aux abords d'une école maternelle. S'il n'est pas dans le cadre et l'objectif du présent travail de qualifier plus précisément cette observation, elle peut néanmoins faire l'objet d'une investigation plus poussée par les instances compétentes.

12 Bibliographie

Airborne enteric coliphages and bacteria in sewage treatment plants. Water Res. 2009 May;43(9):2558-66. Epub 2009 Mar 17.

Airborne virus detection in hospital environments - Amiens Hospital (France) - Bertin publication.

A Korpi et al. Slight respiratory irritation but not inflammation in mice exposed to (1-3)- β -D-glucan aerosols Mediators of Inflammation, 12(3), 139/146 (June 2003).

Alternative solution for airborne contamination sampling - Successful validation according to ISO 14 698-1 - Bertin publication.

Altmeyer N. et al. Risques microbiologiques et travail dans les stations d'épurations des eaux usées - document pour le médecin du travail, N°44, 4e trim., 1990. American Conference of Industrial Hygienists, 1999.

ALTMAYER N., ABADIA G., SCHMITT S., LEPRINCE A. Risques microbiologiques et travail dans les stations d'épuration des eaux usées. 1990, INRS.

Anna Góra et al. OCCUPATIONAL EXPOSURE TO ORGANIC DUST, MICROORGANISMS, ENDOTOXIN AND PEPTIDOGLYCAN AMONG PLANTS PROCESSING WORKERS IN POLAND. *Ann Agric Environ Med* 2009, 16, 143–150.

Anne DELORAINE, Lynda HEDREVILLE, Claire ARTHUS. ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE SUR L'ÉVALUATION DES RISQUES LIÉS AUX BIO-AÉROSOLS GÉNÉRÉS PAR LE COMPOSTAGE DES DÉCHETS - Contrat ADEME / CAREPS rapport n° 317 , Mars 2002.

Aspergillus detection in healthcare establishments. A.Trousseau teaching hospital, Paris - Bertin publication

B Breza-Boruta, Z. Paluszak. Influence of Water Treatment Plant on Microbiological Composition of Air Bioaerosol *Polish J. of Environ. Stud.* Vol. 16, No. 5 (2007), 663-670.

B. Courtois, « Valeurs limites d'exposition professionnelle aux agents chimiques en France », 'INRS, 2008.

Bertin Technologies' equipments synergy for airborne microorganisms détection - Bertin publication

BIOAEROSOLS AND GREEN-WASTE COMPOSTING IN CALIFORNIA , Final Report , California Department of Health Services Environmental Health Investigations Branch ,Oakland, California, June, 1999.

Bioaerosol emissions from waste composting and the potential for workers' exposure, Prepared by the Health and Safety Laboratory for the Health and Safety Executive 2010.

Brooks JP, Tanner BD, Gerba CP, Haas CN, Pepper IL. Estimation of bioaerosol risk of infection to residents adjacent to a land applied biosolids site using an empirically derived transport model. *J Appl Microbiol.* 2005;98(2):397-405.

Brooks JP, Tanner BD, Josephson KL, Gerba CP, Haas CN, Pepper IL. A national study on the residential impact of biological aerosols from the land application of biosolids. *J Appl Microbiol.* 2005;99(2):310-22.

BÜNGER J, ANTLAUF-LAMMERS M, SCHULZ TG, WESTPHAL GA, MÜLLER MM, RUHNAU P, HALLIER H. Health complaints and immunological markers of exposure to bioaerosols among wastecollectors and compost workers. *Occup. environ. Med.*, 2000, 57, 458-464.

Carol Y. Rao, Margaret A. Riggs, Ginger L. Chew, Michael L. Muilenberg, Peter S. Thorne,

David Van Sickle, Kevin H. Dunn, and Clive Brown. Characterization of Airborne Molds, Endotoxins, and Glucans in Homes in New Orleans after Hurricanes Katrina and Rita. *APPLIED AND ENVIRONMENTAL MICROBIOLOGY*, Mar. 2007, p. 1630–1634 Vol. 73, No. 5.

Christiane Behrens-Gütschow, Frank Haverland, Klaus A. Feller and Stefan Köhne. Comparison of Different Aerosol Samplers for the Implementation in Aerosol Warning Systems Bundeswehr Research Institute for Protective Technologies and NBC-Protection (WIS) Munster, Germany.

Christobel Ferguson. Bioaerosols in sewerage, plumbing, and recycled water settings, Ecowise Environmental, Power point.

Clas C, Holz P, Steffen R. Hepatitis A in workers exposed to sewage: a systematic review. *Occup Environ Med* 2001; 58: 762–768.

Commentaires sur le protocole 2009 de l'Environnement Agency :
<http://aplus.adas.co.uk/Services/waste/A-Rough-Guide-to-Bioaerosol-Monitoring.aspx>

C. PAFFONI, A.V DUBOIS. UNE STATION D'EPURATION COMPACTE ET COUVERTE : EXPOSITION DU PERSONNEL AUX RISQUES BACTERIOLOGIQUE ET CHIMIQUE. SIAAP.

Cyprowski M, Sowiak M, Soroka PM, Buczyrska A, Kozajda A, Szadkowska-Staczyk I. Assessment of occupational exposure to fungal aerosols in wastewater treatment plants *Med Pr.* 2008;59(5):365-71.

Daniel Verreault M.Sc, Caroline Duchaine PhD. Detection of airborne virulent bacteriophage of dairy starter culture in a cheese factory. Centre de recherche, Hôpital Laval, Québec, Canada - Bertin publication.

Delphine Forestier et coll. Exposition professionnelle aux bioaérosols : état des connaissances épidémiologiques - Véolia, Microaero Narbonne 2009 (power point).

Development of Amenity Risk Assessments at Organic Waste Treatment Facilities, Environment Agency – October 2008.

Doris Haas & Martina Unteregger & Juliana Habib & Herbert Galler & Egon Marth & Franz F. Reinthaler. Exposure to Bioaerosol from Sewage Systems. *Water Air Soil Pollut* ; 3 June 2009.

Dorota Pomorska. LEVELS OF BACTERIAL ENDOTOXIN IN AIR OF ANIMAL HOUSES DETERMINED WITH THE USE OF GAS CHROMATOGRAPHY – MASS SPECTROMETRY AND LIMULUS TEST. *Ann Agric Environ Med* 2007, 14, 291-298.

Douwes J, Thorne P, Pearce N, Heederik D. Bioaerosol health effects and exposure assessment: progress and prospects. *Ann Occup Hyg.* 2003 Apr;47(3):187-200.

DOUWES J, WOUTERS I, DUBBELD H, VAN ZWIETEN L, STEERENBERG P, DOEKES G, HEEDERIK D. Upper airway inflammation assessed by nasal lavage in compost workers: a relation with bio-aerosol exposure. *Am. J. ind. Med.*, 2000, 37, 459-468 .

DREW G.H. et al. Dispersion of bioaerosol from composting facilities. Proc Waste 2006, Conf., Integrated waste management and pollution control , Stratford-upon-Avon, UK, 19-21 septembre 2006.

Drew, G.H. et al. Guidance on the evaluation of bioaerosol risk assessments for composting facilities. Cranfield University, Centre for Resource Management and Efficiency Sustainable Systems Department.

E. Carvalho, C. Sindt, A. Verdier, C. Galan, L. O'Donoghue, S. Parks, M. Thibaudon. Performance of the Coriolis air sampler, a high-volume aerosol-collection system for quantification of airborne spores and pollen grains. *Aerobiologia* DOI 10.1007/s10453-008-9098-y Springer Science+Business Media B.V. 2008.

Eisenberg JN, Moore K, Soller JA, Eisenberg D, Colford JM Jr. Microbial risk assessment framework for exposure to amended sludge projects. *Environ Health Perspect.* 2008 Jun;116(6):727-33.

Endotoxin exposure and symptoms in wastewater treatment workers. *Am J Ind Med* 2005; 48 : 30-39.

Epstin, Eliot. Exposure to Bioaerosol from Sewage Systems. *Water, Air, & Soil Pollution*, Volume 207, Numbers 1-4 / mars 2010, 49-56.

Doris Haas et al. Controlling Dust and Bioaerosols at a Biosolids Composting Facility - Proceedings of the Water Environment Federation, Residuals and Biosolids Management 2002 , pp. 203-212(10) .

Etat des connaissances sur les micro-organismes dans la filière déchets. *RECORD*,2003, 124 p, n°01-0657/1A.

Etude épidémiologique parmi le personnel des égoutiers de la ville de Paris - rapport INRS/EE; 2004.

Evaluation of Coriolis® microbial air sampler coupled with RMM. Alternative solution for rapid airborne contamination control - Bertin publication.

Ewa Korzeniewska. Emission of bacteria and fungi in the air from wastewater treatment plants - a review. *Front Biosci (Schol Ed)*. 2011 Jan 1;3:393-407.

F. DAL-PAN. Etat de l'opinion des riverains de l'usine d'épuration Seine Aval vis à vis des nuisances en général et de nuisances olfactives en particulier. *SIAAP,- EOG* 2005.

FISCHER G, MULLER T, OSTROWSKI R, DOTT W. Mycotoxins of *Aspergillus* in pure culture and native bioaerosols from compost facilities. *Chemosphere*, 1999, 38, 1745-1755.

Fracchia L, Pietronave S, Rinaldi M, Giovanna Martinotti M. Site-related airborne biological hazard and seasonal variations in two wastewater treatment plants. *Water Res.* 2006 Jun;40(10):1985-94. Epub 2006 May 6.

Françoise Forcier, Engineer, Agronomist, SOLINOV Inc., consultants specializing in waste management. BIOSOLIDS AND BIOAEROSOLS: THE CURRENT SITUATION. Prepared for Quebec Ministry of Environment , September 2002.

Gärner P, Fabrićs JF, Duquenne P, Witschger O, Wrobel R. Bioaerosol sampling by a personal rotating cup sampler CIP 10-M. J Environ Monit. 2006 Jan;8(1):43-8. Epub 2005 Sep 19.

Giusti L. A review of waste management practices and their impact on human health. Waste Manag. 2009 Aug; 29(8):2227-39. Epub 2009 Apr 28.

Grisoli P, Rodolfi M, Villani S, Grignani E, Cottica D, Berri A, Picco AM, Dacarro C. Assessment of airborne microorganism contamination in an industrial area characterized by an open composting facility and a wastewater treatment plant. Environ Res. 2009 Feb;109(2):135-42. Epub 2009 Jan 7.

Guide méthodologique pour l'évaluation du risque sanitaire de l'étude d'impact des installations de compostage soumises à autorisation. Association Scientifique et Technique pour l'Eau et l'Environnement (ASTEE), Juin 2006.

Guides méthodologiques sectoriels : www.sante.gouv.fr/htm/dossiers/.../52_ei.htm

Heederik D, Sigsgaard T. Respiratory allergy in agricultural workers: recent developments. Curr Opin Allergy Clin Immunol. 2005 Apr;5(2):129-34.

Heinonen-Tanski H, Reponen T, Koivunen J. Department of Environmental Science, University of Kuopio, Kuopio, Finland. heinotan@uku.fi. Airborne enteric coliphages and bacteria in sewage treatment plants. Water Res. 2009 May;43(9):2558-66. Epub 2009 Mar 17.

H. Vu-Thien, E. Tessé, Q. Desjonqueres, E. Carvalho. Contamination aéroportée à l'hôpital : Comparaison d'un impacteur sur gélose et d'un biocollecteur en milieu liquide pour la détection d'*Aspergillus*. HYGIÈNES - 2008 - Volume XVI - n°5.

Jacek Dutkiewicz. Exposure to bioaerosols in a municipal sewage treatment plant. Ann Agric Environ Med 2003, 10, 241–248.

Jones AM, Harrison RM. The effects of meteorological factors on atmospheric bioaerosol concentrations - a review. Sci Total Environ. 2004 Jun 29;326(1-3):151-80.

Jorgen Thorn et al. Effects after inhalation of (1[®]3)-b-D-glucan in healthy humans , Effects after inhalation of (1[®]3)-b-D-glucan in healthy humans. Mediators of Inflammation, 10, 173–178 (2001).

J Thorn, L Beijer, R Rylander. Work related symptoms among sewage workers: a nationwide survey in Sweden. Occup Environ Med 2002;59:562–566.

Karra S, Katsivela E. Laboratory of Environmental Chemistry and Biochemical Processes, Department of Natural Resources and Environment, Technological Educational Institute of Crete,

Romanou 3, Halepa, GR 73133 Chania, Greece. Liebers V, Br  ning T, Raulf-Heimsoth M. Occupational endotoxin-exposure and possible health effects on humans. *Am J Ind Med.* 2006 Jun;49(6):474-91.

Khuder SA, Arthur T, Bisesi MS, Schaub EA. Prevalence of infectious diseases and associated symptoms in wastewater treatment workers. *Am J Ind Med* 1998; 33: 571–577.

Korzeniewska E, Filipkowska Z, Gotkowska-P  achta A, Janczukowicz W, Dixon B, Czu  owska M. Determination of emitted airborne microorganisms from a BIO-PAK wastewater treatment plant *Water Res.* 2009 Jun;43(11):2841-51. Epub 2009 Apr 14.

L. Beijer and R. Rylander. (1-3)-  -D-Glucan Does Not Induce Acute Inflammation After Nasal Deposition. *Mediators of Inflammation* , 2005:1 (2005) 50–52.

L. DELERY. Données disponibles pour l'évaluation des risques liés aux bioaérosols émis par les installations de stockage des déchets ménagers et assimilés. Rapport final INERIS, Rapport final , Décembre 2003, 31 P.

Lee JA, Thorne PS, Reynolds SJ, O'Shaughnessy PT. Monitoring risks in association with exposure levels among wastewater treatment plant workers. *J Occup Environ Med.* 2007 Nov;49(11):1235-48.

L.NEHZA. Faisabilité du volet sanitaire des études d'impact-Cas des dossiers des stations d'épuration : intérêts et limites de la démarche d'évaluation de risques, Mémoire de fin d'études, formation des ingénieurs du génie sanitaires. ENSP, 1999.

Leonor Pascual et al. Bioaerosol emission from wastewater treatment plants. *Aerobiologia*, vol19, N 3-4, Septembre 2003, 261-270.

LES RISQUES NON MICROBIOLOGIQUES ASSOCIES AU COMPOSTAGE DES DECHETS. Etude réalisée par l'Ecole Nationale de la Santé Publique, Version du 19 août 2002.

Maria Kozi  l-Montewka et al. MONITORING LEGIONELLA SPECIES IN HOSPITAL WATER SYSTEMS. LINK WITH DISEASE AND EVALUATION OF DIFFERENT DETECTION METHODS. *Ann Agric Environ Med* 2008, 15, 143–147.

Mark Fowles. A Rough Guide to Bioaerosol Monitoring May 2010.

Melbostad E, Eduard W, Skogstad A, Sandven P, Lassen J, S  strand P, Haldal K. Exposure to bacterial aerosols and work-related symptoms in sewage workers. *Am J Ind Med.* 1994 Jan;25(1):59-63.

Microorganisms in bioaerosol emissions from wastewater treatment plants during summer at a Mediterranean site. *Water Res.* 2007 Mar;41(6):1355-65. Epub 2007 Feb 2.

Millner PD. United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service, EMFSL, Beltsville, MD 20705, USA. pat.millner@ars.usda.gov. Bioaerosols associated with animal production operations. *Bioresour Technol.* 2009 Nov;100(22):5379-85. Epub 2009 Apr 22.

MONICA LUNDHOLM AND Ragnar Rylander. Work related symptoms among sewage workers. *British Journal of Industrial Medicine* 1983;40:325-329.

Monitoring of particulate matter in ambient air around waste facilities , Technical Guidance Document (Monitoring) M17. Environment Agency March 2004.

Montandon PE. The use of PCR for detecting pathogenic microorganisms in water. *Schweiz Rundsch Med Prax.* 1994 May 17;83(20):630-7.

M.P.M. Taha et al. Improving bioaerosol exposure assessments – comparative modelling of emissions from different compostages and activities. *Atmospheric Environment*, Volume 41, Issue 21, July 2007, Pages 4504-4519.

Nwachuku N, Gerba CP. Microbial risk assessment: don't forget the children. *Curr Opin Microbiol.* 2004 Jun;7(3):206-9.

Occupational and environmental exposure to bioaerosols from composts and potential health effects - A critical review of published data. Prepared by The Composting Association and Health and Safety Laboratory for the Health and Safety Executive 2003.

O'Hara RE, Rubin R. American Ecology, Inc., Boise, ID 83706, USA. rohara@americanecology.com Reducing bioaerosol dispersion from wastewater treatment and its land application: a review and analysis. *J Environ Health.* 2005 Sep;68(2):24-9.

O. Le Goff, V. Bru-Adan, H. Bacheley, J-J Godon and N. Wery. The microbial signature of aerosols produced during the thermophilic phase of composting. *Journal of Applied Microbiology*, ISSN 1364-5072, 2009.

O. SCHLOSSER , J.F. LORET. LE RISQUE DES BIOAÉROSOLS DANS L'ENVIRONNEMENT DES STATIONS D'ÉPURATION. 2008

Oppliger A, Hilfiker S, Vu Duc T. Influence of seasons and sampling strategy on assessment of bioaerosols in sewage treatment plants in Switzerland. *Ann Occup Hyg.* 2005 Jul;49(5):393-400. Epub 2005 Feb 9.

Our position on composting and potential health effects from bioaerosols. Environment Agency Policy, 29/11/2007.

Particules émises par les activités de traitement des déchets, de la caractérisation à l'impact sanitaire. État des connaissances. RECORD, 2008, 152 p, n°06-0666/1A.

Pillai SD, Ricke SC. Poultry Science Department, Texas A&M University, College Station 77843-2472, USA. spillai@poultry.tamu.edu. Bioaerosols from municipal and animal wastes: background and contemporary issues. *Can J Microbiol.* 2002 Aug;48(8):681-96.

PRAZMO et al. EXPOSURE TO BIOAÉROSOLS IN A MUNICIPAL SEWAGE TREATMENT PLANT , *Ann Agric Environ Med* 2003, 10, 241–248.

Ragnar Rylander. Health effects among workers in sewage treatment plants. *Occup Environ Med* 1999;56:354–357.

Ragnar Rylander et al. (1-3)- β -D-glucan may contribute to pollen sensitivity. *Clin Exp Immunol* 1999; 115:383 – 384.

R.BONNARD. Le risque biologique et la méthode d'évaluation du risque. INERIS Rapport final, 2001.

R. Daneshzadeh Tabrizi e tal. Surfactant protein-D and exposure to bioaerosols in wastewater and garbage workers. *Int Arch Occup Environ Health*, Accepted: 23 February 2010. Research Project DEFRA WR0606 "Exposure-response relationships for bioaerosol emissions from waste treatment processes". IOM Consulting Ltd, 18th January 2008. Alison Searl.

Review of methods to measure bioaerosols from composting sites. Environment Agency April 2009.

Rubin, Robert. Reducing bioaerosol dispersion from wastewater treatment and its land application: a review and analysis. *Journal of Environmental Health*, Sep 1, 2005.

Sánchez-Monedero MA, Aguilar MI, Fenoll R, Roig A. Effect of the aeration system on the levels of airborne microorganisms generated at wastewater treatment plants. *Water Res.* 2008 Aug;42(14):3739-44. Epub 2008 Jul 9.

Schlosser O, Huyard A, Cartnick K, Yañez A, Catalán V, Quang ZD. SUEZ ENVIRONNEMENT, CIRSEE, 38 rue du President Wilson, 78230 Le Pecq, France. olivier.schlosser@suez-env.com. Bioaerosol in composting facilities: occupational health risk assessment. *Water Environ Res.* 2009 Sep-Oct;81(9):866-77.

SEPIA & CAREPS. ETUDE EPIDEMIOLOGIQUE DESCRIPTIVE AUTOUR DU SITE DE L'USINE D'ÉPURATION « SEINE AVAL » - rapport final novembre 2001.

Seuri M. et al. Work-related symptoms and salmonella antibodies among wastewater treatment plant workers. *Epidemiol Infect* 2005 ; 133 : 603-9.

Smit LA, Heederik D, Doekes G, Blom C, van Zweden I, Wouters IM. Exposure-response analysis of allergy and respiratory symptoms in endotoxin-exposed adults. *Eur Respir J.* 2008 Jun;31(6):1241-8. Epub 2008 Feb 6.

Stephen Stagg, Alison Bowry, Adrian Kelsey & Brian Crook. Health and Safety Laboratory Harpur Hill Buxton Derbyshire. Bioaerosol emissions from waste composting and the potential for workers' exposure. Health and Safety Executive 2010.

Tania Paez-Rubio et al. Source Bioaerosol Concentration and rRNA Gene-Based Identification of Microorganisms Aerosolized at a Flood Irrigation Wastewater Reuse Site. *Appl Environ Microbiol.* 2005 February; 71(2): 804–810. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/issues/18221/>.

Thorn J. et al. Measurement stratégies for the détermination of airborne bacterial endotoxine in sewage treatment plant. *Ann.Occup.Hyg.*, vol 46 (6), 549-554, 2002.

Thorn J, Kerekes E. Health effects among employees in sewage treatment plants: A literature Survey. *Am J Ind Med.* 2001 Aug;40(2):170-9.

Thorn J, Kerekes E. Health effects among employees in sewage treatment plants. A literature survey. *Am J Ind Med* 2001; 40: 170–179.

Ulla Irene Ivens et al. Season, equipment, and job function related to gastrointestinal problems in waste collectors. *Occupational and Environmental Medicine* 1997;54:861-867.

Williams Township, Northampton County, Pennsylvania. Ambient Air Monitoring Report, (The purpose of this project was to provide ambient air sample laboratory analytical data to ToxiLogics, Inc. in order to complete a Risk Assessment). *Chrin Brothers Sanitary Landfill* , March 19, 2009.

Westrell T, Schönning C, Stenström TA, Ashbolt NJ. QMRA (quantitative microbial risk assessment) and HACCP (hazard analysis and critical control points) for management of pathogens in wastewater and sewage sludge treatment and reuse. *Water Sci Technol.* 2004;50(2):23-30.