

anses

agence nationale de sécurité sanitaire
alimentation, environnement, travail



Réutilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation des cultures, l'arrosage des espaces verts par aspersion et le lavage des voiries

Avis de l'Anses
Rapport d'expertise collective

Mars 2012

Édition scientifique



anses

agence nationale de sécurité sanitaire
alimentation, environnement, travail



Réutilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation des cultures, l'arrosage des espaces verts par aspersion et le lavage des voiries

Avis de l'Anses
Rapport d'expertise collective

Mars 2012

Édition scientifique

AVIS
de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation,
de l'environnement et du travail

relatif à « la réutilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation des cultures,
l'arrosage des espaces verts par aspersion et le lavage des voiries »

L'Anses met en œuvre une expertise scientifique indépendante et pluraliste.

L'Anses contribue principalement à assurer la sécurité sanitaire dans les domaines de l'environnement, du travail et de l'alimentation et à évaluer les risques sanitaires qu'ils peuvent comporter.

Elle contribue également à assurer d'une part la protection de la santé et du bien-être des animaux et de la santé des végétaux et d'autre part l'évaluation des propriétés nutritionnelles des aliments.

Elle fournit aux autorités compétentes toutes les informations sur ces risques ainsi que l'expertise et l'appui scientifique nécessaires à l'élaboration des dispositions législatives et réglementaires et à la mise en œuvre des mesures de gestion du risque (article L. 1313-1 du code de la santé publique).

Ses avis sont rendus publics.

L'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail (Afsset), devenue depuis le 1^{er} juillet 2010, Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses)¹ a été saisie le 7 août 2009 par le Directeur général de la santé du ministère chargé de la santé et la Directrice de l'eau et de la biodiversité du ministère chargé de l'écologie, d'une demande d'évaluation des risques sanitaires liés à l'aspersion des eaux usées traitées (EUT).

1. CONTEXTE ET OBJET DE LA SAISINE

1.1. Contexte de la saisine

La réutilisation d'eaux usées traitées (REUT) pour l'irrigation de cultures ou l'arrosage d'espaces verts présente un intérêt vis-à-vis de la préservation de la ressource en eau, notamment en cas de conditions climatiques défavorables (période de sécheresse prolongée) ou dans des zones de faible disponibilité des ressources en eau.

Les conditions de REUT doivent être encadrées réglementairement afin de prévenir les risques sanitaires liés à cette pratique. En effet, les eaux résiduaires urbaines, même traitées par une station d'épuration (STEP), contiennent divers micro-organismes pathogènes et des éléments organiques et minéraux potentiellement toxiques.

Afin de garantir la protection de la santé publique et de l'environnement, la section des eaux du Conseil supérieur d'hygiène publique de France (CSHPF) a défini, en juillet 1991, des prescriptions sanitaires et techniques applicables aux installations utilisant, après traitement, des eaux usées à des fins d'arrosage ou d'irrigation. Ces prescriptions ont été

¹ L'Afsset et l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments (Afssa) ont fusionné pour donner naissance à l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses), le 1^{er} juillet 2010.

actualisées en 2001 et un projet d'arrêté a été élaboré en application de l'article 24 du décret du 3 juin 1994 relatif à l'assainissement des eaux usées urbaines. Ce projet a été transmis à l'Agence française de sécurité sanitaire de l'alimentation (Afssa) pour avis.

L'Afssa a rendu un avis² en 2008 relatif aux risques sanitaires pour l'Homme et les animaux, liés à une exposition par voie orale. L'utilisation des EUT pour l'arrosage des espaces verts, les dangers que peut présenter cette pratique pour les riverains ou les professionnels (notamment par aspersion) sont exclus du rapport de l'Afssa qui définit des contraintes d'usage, de distances et de terrains en fonction du niveau de qualité des EUT.

En 2010, l'Afssa a complété son analyse par une évaluation des risques liés aux effluents issus des établissements de transformation de sous-produits animaux de catégorie 1, 2 ou 3, toujours à des fins de réutilisation pour l'irrigation des cultures destinées à la consommation humaine ou animale (Afssa, 2010)³.

L'évaluation des risques sanitaires pour l'Homme liés à l'exposition par voies respiratoire et/ou cutanéomuqueuse fait l'objet du présent avis.

L'article 4 de l'arrêté du 2 août 2010⁴ publié au journal officiel le 31 août 2010 n'autorise la réutilisation des EUT par aspersion qu'à titre expérimental, après avis favorable de l'Anses.

1.2. Objet de la saisine

Les objectifs de ce travail sont donc :

- d'évaluer les risques sanitaires liés à la REUT par aspersion pour l'irrigation des cultures et l'arrosage des espaces verts pour les voies respiratoire et cutanéomuqueuse ;
- de confirmer ou infirmer les critères et valeurs retenues par l'Afssa dans le cadre de l'aspersion ;
- de proposer des recommandations visant à compléter l'arrêté du 2 août 2010 et remplacer l'expérimentation prévue dans son article 4 ; ces recommandations devant inclure des niveaux de traitement et proposer des moyens pour maîtriser le risque lié à l'irrigation par aspersion ;
- d'évaluer les risques sanitaires liés à la REUT pour le lavage des voiries.

L'expertise conduite dans le cadre de cette saisine ne prend pas en compte :

- l'impact de la REUT sur l'environnement, car encadré par la réglementation ;
- les voies de contamination indirecte par ingestion de végétaux arrosés avec des EUT (traitée par l'Afssa en 2008) et par contact main-bouche ou manuportage.

2. ORGANISATION DE L'EXPERTISE

L'expertise a été réalisée dans le respect de la norme NF X 50-110 « Qualité en expertise – Prescriptions générales de compétence pour une expertise (Mai 2003) ».

² Afssa (2008). Réutilisation des eaux usées traitées pour l'arrosage ou l'irrigation. 69 p.

³ Afssa (2010). Avis de l'agence française de sécurité sanitaire des aliments relatifs à l'évaluation des risques sur les effluents issus des établissements de transformation de sous-produits animaux de catégories 1,2 ou 3 à des fins de réutilisation pour l'irrigation des cultures destinées à la consommation humaine. 34 p.

⁴ Journal officiel de la République Française. (2010). Arrêté du 2 août 2010 relatif à l'utilisation d'eaux issues du traitement d'épuration des eaux résiduaires urbaines pour l'irrigation de cultures ou d'espaces verts – NOR : SASP1013629A.

L'expertise relève du domaine de compétences du comité d'experts spécialisé (CES) « Eaux ». L'Anses a confié l'expertise au groupe de travail « Réutilisation des eaux usées traitées ». Les travaux ont été présentés au CES tant sur les aspects méthodologiques que scientifiques entre le 4 octobre 2011 et le 6 mars 2012.

Le présent avis se fonde, pour les aspects scientifiques sur le rapport final issu de cette expertise collective qui a été approuvé par le comité d'experts spécialisé lors de sa séance du 7 février 2012.

3. ANALYSE ET CONCLUSIONS DU CES

3.1. Irrigation des cultures, arrosage des espaces verts et des golfs

3.1.1. Évaluation des risques sanitaires liés aux contaminants chimiques

■ Description de la méthode

L'évaluation des risques sanitaires liés aux contaminants chimiques a été conduite en adoptant la démarche suivante :

- i. identification des dangers chimiques ;
- ii. évaluation des expositions ;
- iii. recherche et sélection des valeurs toxicologiques de référence (VTR) des contaminants chimiques retenus ;
- iv. caractérisation des risques sanitaires.

Les données relatives aux concentrations en micropolluants dans les effluents de STEP sont, à ce jour, partielles et relativement récentes.

La caractérisation chimique des EUT s'est appuyée sur les résultats de deux études⁵ qui ont quantifié différents micropolluants dans les rejets de STEP. Au total, plus d'une centaine de contaminants chimiques ont été quantifiés en sortie de STEP.

Les critères de sélection des micropolluants d'intérêt peuvent être multiples. Dans le cadre de ce travail, les contaminants chimiques ont été retenus en considérant :

- la composition des EUT : sont retenues prioritairement les substances qui ont été quantifiées, dans les études AMPERES⁶ et/ou RSDE1⁷ ;
- la volatilité des contaminants chimiques : sont retenues les substances peu volatiles dont la constante de Henry $< 1 \text{ Pa}\cdot\text{m}^3/\text{mol}$ ou la pression de vapeur $< 100 \text{ Pa}$ si la constante de Henry n'est pas disponible ;
- la toxicité pour l'Homme des substances : sont retenues les substances figurant sur la liste de substances cancérigènes, mutagènes, toxiques pour la reproduction (CMR) ayant fait l'objet d'un classement européen harmonisé ou

⁵ Programme de recherche sur l'Analyse de Micropolluants Prioritaires et Émergents dans les Rejets des Eaux Superficielles (AMPERES).

Action de Recherche et réduction de substances dangereuses pour le milieu aquatique (RSDE1).

⁶ Coquery M., Pomiès M., Martin-Ruel S., *et al.* (2011). Mesurer les micropolluants dans les eaux brutes et traitées - Protocoles et résultats pour l'analyse des concentrations et des flux. *Techniques-Sciences-Méthodes* ; 1/2 : 25-43.

Martin Ruel S., Choubert J.M., Esperanza M. *et al.* (2011). On-site evaluation of the removal of 100 micropollutants through advanced wastewater treatment processes for reuse applications. *Water Science and Technology* ; 63 (11) : 2486-2497.

⁷ INERIS. Les substances dangereuses pour le milieu aquatique dans les rejets au milieu naturel. Bilan de l'action nationale de recherche et de réduction des rejets de substances dangereuses dans l'eau. Volet stations d'épuration. Action 11 : Convention ONEMA-INERIS 2008. Verneuil en halatte : INERIS, 2009. 55 p. (Rapport d'étude n°DRC-09-95687-02648A).

celles ayant fait l'objet d'un classement par le Centre international de recherche sur le cancer ;

- la disponibilité de VTR⁸ pour la voie respiratoire ou le contact cutanéomuqueux.

Dix contaminants chimiques ont donc été retenus : l'hexachlorocyclohexane, la dieldrine, le Di(2-ethylhexyl)phtalate (DEHP), le pentachlorophénol, le chrome, le nickel, le cobalt, l'arsenic, le cadmium et le plomb.

Les durées d'arrosage étant différentes, l'irrigation des cultures⁹ et l'arrosage des golfs et espaces verts ont été traités séparément. Des *scenarii* « pire cas »¹⁰ pour une exposition chronique ont été construits pour cinq catégories de population adulte :

- travailleurs ;
- passants ;
- résidents ;
- utilisateurs des espaces verts ;
- sportifs.

Concernant la sélection des VTR, les valeurs construites par l'Anses ont été retenues prioritairement. En l'absence de VTR élaborées par l'Anses, un recensement des VTR existantes et élaborées par des organismes internationaux a été réalisé. Ont été retenues les valeurs étant en adéquation avec les *scenarii* d'exposition et en cas d'existence de plusieurs VTR pour un même contaminant chimique la valeur la plus protectrice pour la santé humaine. Au regard de l'absence de VTR pour la voie cutanéomuqueuse, l'évaluation des risques a été menée uniquement pour la voie respiratoire.

Ne disposant pas de concentrations en micropolluants représentatives de l'ensemble des EUT métropolitaines, plutôt que de calculer le risque sanitaire pour chacune des substances sélectionnées, il a été jugé plus pertinent de calculer les concentrations maximales théoriques dans les EUT à ne pas dépasser, pour chaque catégorie de population et pour un quotient de danger pris égal à 1 lorsque la substance est à seuil d'effet et un risque de 10^{-5} lorsque la substance est sans seuil d'effet. Pour chaque substance, la concentration maximale théorique à ne pas dépasser a ensuite été comparée à la concentration moyenne retrouvée dans les EUT dans les études AMPERES et RSDE1 à laquelle a été ajouté un facteur de sécurité égal à deux fois l'écart type (95^e percentile).

■ Résultats

Les concentrations maximales théoriques à ne pas dépasser dans les EUT afin d'éviter la survenue d'un effet néfaste sur la santé pour les populations exposées par voie respiratoire, basées sur des hypothèses maximalistes sont largement supérieures (entre 10^2 et 10^7 fois) aux concentrations retrouvées dans les EUT étudiées au cours des programmes AMPERES et RSDE1. Au regard de ces résultats, sauf pollution ponctuelle ou accidentelle, ces substances ne devraient pas se retrouver dans les EUT à des concentrations pouvant induire par voie respiratoire un effet néfaste pour la santé des populations lors de l'irrigation par aspersion des cultures ou l'arrosage des espaces verts et des golfs.

⁸ VTR à seuil d'effets ou VTR sans seuil d'effets correspondant à un excès de risque unitaire (ERU).

⁹ Seul le maïs a été retenu compte tenu de ses besoins en eau et du temps d'irrigation nécessaire, ce qui correspondrait pour un individu à une situation d'exposition « pire cas ».

¹⁰ La REUT a lieu sur 4 mois entre avril et octobre selon les cultures et les régions ; l'irrigation a toujours lieu à la même plage horaire et les populations retenues sont exposées à chaque irrigation.

3.1.2. Évaluation des risques sanitaires liés aux micro-organismes

■ Description de la méthode

L'évaluation quantitative d'un risque sanitaire lié à un micro-organisme nécessite, pour un danger identifié, de disposer de données relatives à l'occurrence, la concentration, la relation dose-réponse pour les voies d'exposition considérées.

Dans le cadre de cette expertise, la faisabilité d'une analyse des risques a été explorée.

Il en résulte que la réalisation d'une analyse des risques microbiologiques s'avère impossible du fait :

- du manque de données d'exposition ;
- de l'existence d'une seule relation dose-réponse pour *Legionella pneumophila* pour la voie respiratoire et non transposable aux autres micro-organismes ;
- des conditions complexes de survie des micro-organismes dans l'environnement ;
- de l'absence de valeur de seuil acceptable pour caractériser le risque.

Ainsi, seule une identification des dangers et de leurs effets potentiels sur la santé humaine a été réalisée.

L'identification des dangers microbiologiques a été menée sur la base d'une revue de la littérature relative à la contamination des EUT (prenant en compte celle des eaux usées brutes et de l'effet des traitements sur l'abattement des concentrations en micro-organismes) complétée par une recherche de données épidémiologiques liées à la REUT par aspersion.

Une liste de dangers, pour laquelle seuls les agents biologiques pathogènes par voies respiratoire et cutanéomuqueuse ont été retenus, a été établie.

■ Résultats

La composition microbiologique des EUT est extrêmement variable selon la saison, l'origine des eaux usées collectées, l'état sanitaire des populations, le traitement appliqué dans la STEP, etc. De ce fait, celles-ci contiennent une large variété de micro-organismes, à des concentrations variables, potentiellement pathogènes pour l'Homme (bactéries, champignons et leurs toxines, virus et protozoaires) et susceptibles d'induire des effets sanitaires *via* les voies respiratoire et/ou cutanéomuqueuse selon la sensibilité de la personne exposée et la dose de micro-organismes à laquelle elle est exposée.

Les données épidémiologiques, retrouvées dans la littérature, sont, quant à elles, insuffisantes pour conclure quant à l'existence d'un risque sanitaire lié à la présence de micro-organismes dans les EUT pour des opérations de REUT, d'autant que peu de données relatives à la composition microbiologiques des EUT réutilisées sont disponibles.

3.2. Conclusions et recommandations de l'expertise collective pour l'irrigation des cultures, l'arrosage des golfs et des espaces verts

En l'état actuel des connaissances, il n'est pas possible de conclure à l'absence totale de risques chimiques et microbiologiques liés à la REUT par aspersion par voies respiratoire et/ou cutanéomuqueuse. Le CES préconise donc de limiter au maximum l'exposition de l'Homme aux EUT lors des opérations d'aspersion.

Un ensemble de mesures en vue de limiter cette exposition est proposé et concerne :

- les qualités d'eaux ;
- l'encadrement des pratiques ;
- la limitation de l'exposition humaine.

Ces recommandations viennent compléter l'arrêté du 2 août 2010 et préciser l'encadrement réglementaire de l'irrigation des cultures, l'arrosage des golfs et espaces

verts par aspersion. Elles visent à se substituer à l'étude expérimentale préconisée dans l'article 4 et définie dans l'annexe III de ce même arrêté. De ce fait, l'instruction des dossiers de REUT par aspersion serait menée par les services préfectoraux du département où l'opération de REUT est réalisée, au même titre que tout type de demande de REUT.

3.2.1. Qualités d'eaux

S'agissant des qualités d'EUT réutilisées, le CES recommande le respect de l'arrêté du 2 août 2010 concernant :

- les qualités d'eaux définies dans l'annexe I pour les usages tels que définis dans l'annexe II du même arrêté ;
- le programme de surveillance des EUT défini dans l'article 10.

Concernant le stockage, comme mentionné dans l'article 3 de l'arrêté du 2 août 2010, les conditions de stockage des EUT ne doivent pas favoriser le développement de vecteurs ou d'agents pathogènes.

Le stockage d'eau en vue d'une irrigation ne devra pas être réalisé en cas de fonctionnement dégradé momentané de la STEP.

3.2.2. Encadrement des pratiques

■ Liées à la conception et à la gestion du réseau de distribution

Le réseau de distribution des EUT doit être conçu de telle manière qu'il ne dégrade pas la qualité de l'eau. Tout doit être mis en œuvre de façon à éviter la possible prolifération d'espèces microbiennes, notamment en proscrivant les bras morts.

Le réseau devrait être conçu de telle sorte que des purges puissent être facilement réalisées par le gestionnaire.

Une vidange totale du réseau d'irrigation et un rinçage sous pression à la fin de la saison d'irrigation et au moment de sa mise en route devraient être réalisés. Des procédures de nettoyage et d'entretien de ce réseau, déterminées par les exploitants, devraient être élaborées et mises en œuvre.

■ Liées aux systèmes d'aspersion et à l'irrigation par aspersion

L'utilisation d'asperseurs basse pression devrait être privilégiée dans les zones ventées : pression inférieure à 3,5 bar pour les turbines ou les asperseurs de couverture intégrale et inférieure à 5,5 bar pour les canons d'arrosage. Par ailleurs l'utilisation d'asperseurs ayant une faible apogée devrait également être privilégiée.

L'arrêté du 2 août 2010 préconise des distances de sécurité définies pour protéger des activités sensibles mais ne visant pas à limiter l'exposition humaine.

Afin de limiter l'exposition des populations au-delà de la portée théorique de l'asperseur, le CES préconise :

- la mise en place des distances de sécurité modulées en fonction du type d'asperseur utilisé, correspondant *a minima* à deux fois la portée de l'asperseur, à respecter quelle que soit la vitesse du vent ;
- l'installation d'obstacles physiques (haies végétalisées, murs, *etc.*) autour des sites irrigués.

En complément des informations demandées dans l'article 9 de l'arrêté du 2 août 2010, l'exploitant devrait fournir aux autorités compétentes avant le début de la campagne d'irrigation la description du modèle des asperseurs, leur pression de fonctionnement, le détail des surfaces irriguées et leurs pentes, les distances des surfaces par rapport aux habitations et aux voies de circulation, le volume d'eau dans la bache de stockage le cas échéant, les périodes d'irrigation.

Conformément à l'article 12 de l'arrêté, l'exploitant devrait consigner son programme d'irrigation incluant les éléments précités dans un registre et le tenir à disposition des autorités compétentes.

3.2.3. Limitation de l'exposition

■ Résidents – Passants

Une interdiction de présence du public au moment de l'aspersion permettrait de réduire considérablement l'exposition.

De ce fait, l'arrosage en période nocturne pourrait être privilégié pour les espaces verts, cette période étant caractérisée par une évaporation moindre et par conséquent une dispersion plus limitée. Ainsi, cette mesure permettrait en outre de limiter l'exposition du public au moment de l'arrosage bien que la période diurne soit plus favorable à l'abattement microbien (Teltsch *et al.*, 1980¹¹; Karra et Katsivela, 2007¹²).

Le CES, par référence avec les préconisations de l'Australie¹³, recommande la fermeture, aux usagers, des espaces verts arrosés par des EUT durant 1 à 4 heures suivant l'arrosage. Des panneaux à l'entrée des espaces verts ouverts au public et des golfs devraient être installés de manière à informer les utilisateurs de l'utilisation d'EUT et leur rappeler les bonnes règles d'hygiène de manière à ne pas être exposés aux éventuels contaminants présents dans les EUT par contact main-bouche, frottement des yeux après avoir touché les zones arrosées par des EUT, *etc.*

■ Professionnels

Les professionnels ne devraient pas se trouver sur les sites irrigués au moment de l'aspersion.

Des mesures de prévention collectives, individuelles et médicales devront être définies telles que celles proposées dans le rapport.

Pour ce qui concerne la prévention médicale, le CES préconise la collecte et le traitement au niveau régional (Consultation de pathologie professionnelle, Agence régionale de santé (ARS), Cellule interrégionale d'épidémiologie (Cire), *etc.*) des informations médicales recueillies afin de documenter les éventuels effets sanitaires de cette exposition et faire progresser la connaissance des risques.

3.2.4. Acquisition de connaissances

Compte tenu des lacunes identifiées et/ou des données encore fragmentaires disponibles qui n'ont pas permis de mener à son terme l'ERS liés à la REUT par aspersion, le CES recommande que des études et/ou des travaux de recherche soient menés dans le but de :

- caractériser quantitativement la composition microbiologique et chimique des EUT et notamment rechercher sur des sites pilotes les micro-organismes listés dans l'annexe III de l'arrêté du 2 août 2010 pour déterminer l'efficacité des filières de traitement vis-à-vis de ces derniers (plus particulièrement pour les amibes et les légionelles) et connaître le niveau de contamination des EUT par ces mêmes micro-organismes ;
- réaliser des études épidémiologiques à proximité de sites (golfs, espaces verts notamment) où est pratiquée la REUT par aspersion ;

¹¹ Teltsch B., Kedmi S., Bonnet L. *et al.* (1980). Isolation and identification of pathogenic microorganisms at wastewater-irrigated fields : ratios in air and wastewater. *Applied and environmental microbiology* ; 39 (6) : 1183-1190.

¹² Karra S. et Katsivela E. (2007). Microorganisms in bioaerosol emissions from wastewater treatment plants during summer at a Mediterranean site. *Water Research* ; 41: 1355-1365.

¹³ Australian EPA (2006). Australian guidelines for water recycling : managing health and environmental risks (phase 1). Canberra, Nov 2006. 389 p.

- mener des campagnes de mesures d'aérosols autour des zones aspersées afin de les caractériser d'un point de vue chimique et microbiologique et notamment poursuivre l'étude expérimentale pour évaluer le risque de dispersion d'aérosols biologiques par aspersion d'EUT pour l'irrigation des cultures afin d'estimer la dispersion des particules au-delà de la portée, affiner les distances de sécurité et évaluer l'effet d'éventuels écrans ;
- produire des données relatives aux relations dose-réponse des micro-organismes retrouvés dans les EUT pour une exposition par voies respiratoire et/ou cutanéomuqueuse ;
- produire des données toxicologiques relatives aux contaminants chimiques retrouvés dans les EUT pour une exposition par voies respiratoire et/ou cutanéomuqueuse ;
- évaluer les effets des interactions des différents composés chimiques présents dans les EUT.

Par ailleurs le CES recommande la création d'une base de données regroupant l'ensemble des résultats du contrôle sanitaire des sites où est pratiquée la REUT (qualités d'eaux, distances de sécurité, maladies recensées) afin de bénéficier d'un retour d'expérience sur ces pratiques.

3.3. Lavage des voiries

En l'absence de données d'exposition, notamment sur les caractéristiques des particules d'eaux émises par les engins de nettoyage des espaces publics, de données sur les *scenarii* d'exposition des travailleurs et des passants (seules catégories de population ayant été identifiées comme potentiellement exposées), il n'a pas été possible de réaliser une ERS pour ces deux catégories de population.

Cependant, considérant que les travailleurs, notamment les opérateurs de lance, pourraient être particulièrement exposés à des particules d'EUT, et dans l'optique de pouvoir mener une ERS, le CES recommande la réalisation d'une étude permettant de caractériser leurs expositions en fonction du matériel utilisé.

De même que pour l'irrigation, d'autres ressources en eau de qualité généralement non contrôlées ou contrôlées partiellement sont utilisées pour le lavage des voiries, le CES recommande la création d'une base de données afin de recenser et compiler les qualités d'eau utilisées.

4. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS DE L'AGENCE

L'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail adopte la conclusion et les recommandations du comité d'experts spécialisé « Eaux ».

Elle renouvelle, par ailleurs, la recommandation, proposée par l'agence dans son rapport intitulé « Réutilisation des eaux usées traitées pour l'arrosage ou l'irrigation » (2008), relative au suivi des éléments traces métalliques¹⁴ dans les EUT lors des six mois d'étude de validation du procédé de traitement pour la constitution du dossier de demande d'autorisation.

Le directeur général

Marc Mortureux

¹⁴ cadmium, chrome, cuivre, mercure, nickel, plomb et zinc.

MOTS-CLÉS

Réutilisation des eaux usées traitées, irrigation, aspersion, aérosols, microbiologie, micropolluants, effets sanitaires.



Réutilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation des cultures, l'arrosage des espaces verts par aspersion et le lavage des voiries

Saisine « n°2009-SA-0329 »

Rapport d'expertise collective

Comité d'experts spécialisé « Eaux »

« Groupe de travail Réutilisation des eaux usées traitées »

Mars 2012

Mots clés

Réutilisation des eaux usées traitées, irrigation, aspersion, aérosols, microbiologie, micropolluants, effets sanitaires.

Présentation des intervenants

ANSES

Coordination de l'expertise, contribution scientifique et rédaction du rapport

Mme Marie TEYSSANDIER. Chargée de projets scientifiques – Anses

Mme Nathalie DUCLOVEL-PAME. Chef de projets scientifiques – Anses

Contribution scientifique

Mme Sylvie ZINI. Chef de l'unité eaux et agents biologiques jusqu'au 31 décembre 2010 – Anses

Mme Anne NOVELLI. Adjoint au chef de l'unité d'évaluation des risques liés à l'eau – Anses

Mme Pascale PANETIER. Chef de l'unité d'évaluation des risques liés à l'eau – Anses

Secrétariat administratif

Mme Séverine BOIX – Anses

GROUPE DE TRAVAIL

Président

M. Michel TOURNAIRE – Ingénieur principal, Conseil général de l'Allier, retraité – Traitement des eaux, traitement des eaux usées.

Membres

Mme Claire ALBASI – Chargée de recherche, CNRS Toulouse – Traitement des eaux, physico-chimie, chimie de l'eau.

Mme Catherine CHUBILLEAU – Chargée de projets scientifiques, Institut de veille sanitaire – Santé publique, santé au travail, microbiologie, eaux usées et réutilisées.

M. Christophe CUDENNEC – Professeur, Agrocampus Ouest et INRA Rennes – Agronomie, génie rural, hydrologie.

M. Stéphane GARNAUD – Chargé de mission, ONEMA – Traitement des eaux usées, qualité des eaux, physico-chimie, chimie de l'eau.

M. Patrick MARCHANDISE – Membre permanent du Conseil général de l'environnement et du développement durable (CGEDD) – Eau, assainissement, risques sanitaires.

Mme Laurence MATHIEU – Maître de conférences HDR, École pratique des hautes études – Microbiologie, eau, aérosol, exposition aux contaminants biologiques.

M. Bruno MOLLE – Directeur du laboratoire de recherche sur les matériels d'irrigation, Irstea-Cemagref Aix en Provence – Hydrologie, qualité des milieux, irrigation.

Mme Agnès ROSSO-DARMET – Ingénieure Divisionnaire des Travaux Publics de l'État - Chef de projet à l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée et Corse – Gestion des eaux et milieux aquatiques continentaux et littoraux – écotoxicologie, traitement des eaux.

Mme France WALLET – Médecin évaluateur de risques, EDF Service des études médicales – évaluation des risques sanitaires.

Mme Nathalie WERY – Chargée de recherches, INRA Narbonne – Microbiologie, contaminants microbiologiques, procédés de dépollution, bioaérosols.

RAPPORTEURS

M. Michel JOYEUX – Directeur de recherche développement et qualité de l'eau, Eau de Paris – toxicologie.

Mme Colette LE BACLE – Conseiller médical en santé au travail, INRS – Médecine du travail.

M. Christian SEIGNEUR – Directeur du Centre d'enseignement et de recherche en environnement atmosphérique, Ecole nationale des ponts et chaussées – Aérosols.

M. Robert TARDIF – Professeur titulaire au département de santé environnementale et santé au travail, Université de Montréal – Toxicologie.

Mme Michèle TREMBLAY – Médecin conseil en santé au travail et en maladies infectieuses, Direction de santé publique de Montréal – Médecine du travail.

ADOPTION DU RAPPORT PAR LE(S) COMITÉ (S) D'EXPERTS SPECIALISÉS

Ce rapport a été soumis pour commentaires et avis au CES « Eaux » lors des séances des 8 novembre 2011, 5 décembre 2011, 6 janvier 2012 et 7 février 2012.

Le CES « Évaluation des risques liés aux milieux aériens » a également été consulté lors de sa séance du 30 juin pour avis concernant la partie relative au comportement des particules d'eau émises par les dispositifs d'aspersion et les hypothèses de travail retenues pour l'expertise.

AUDITION DE PERSONNES EXTÉRIEURES

FÉDÉRATION FRANÇAISE DES GOLFS (FFG)

Monsieur Jérôme PARIS, Vice-président de la FFG en charge de la Commission Environnement et Développement durable.

Monsieur Rémy DORBEAU, Directeur du Golf de Chantilly et spécialiste de la gestion des terrains de golf et représentant pour l'association française des personnels d'entretien des terrains de golfs.

Monsieur Charles HAMELIN, représentant de l'association européenne de l'irrigation.

INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE ET DE SÉCURITÉ POUR LA PRÉVENTION DES ACCIDENTS DU TRAVAIL ET DES MALADIES PROFESSIONNELLES (INRS)

Monsieur Denis Bemer, responsable d'études.

DIRECTON GÉNÉRALE DE LA SANTÉ (DGS)

Monsieur Nicolas LE PEN, chargé des dossiers eaux usées et usages des eaux non potables.

DIRECTION DE L'EAU ET DE LA BIODIVERSITÉ (DEB)

Monsieur Daniel BERTHAULT, chargé de mission « gestion quantitative de l'eau ».

SOMMAIRE

Présentation des intervenants	3
TABLE DES ILLUSTRATIONS	8
GLOSSAIRE.....	11
ABRÉVIATIONS OU ACRONYMES.....	14
1 Contexte, objet et modalités de traitement de la saisine.....	17
1.1 Contexte.....	17
1.2 Objet de la saisine.....	17
1.3 Modalités de traitement	18
1.4 Champ de la saisine.....	18
2 Réutilisation des eaux usées traitées.....	20
2.1 Principe.....	20
2.2 Usages et techniques employées	21
2.2.1 Irrigation des parcelles agricoles et arrosage des espaces verts.....	21
2.2.1.1 Sites concernés.....	21
2.2.1.2 Techniques d'irrigation	21
2.2.2 Lavage des espaces publics.....	22
2.2.2.1 Domaine d'application	22
2.2.2.2 Techniques mises en œuvre pour le lavage des voiries.....	23
2.3 Réglementations et recommandations relatives à la réutilisation d'eaux usées traitées	24
2.3.1 Aux fins d'irrigation par aspersion.....	24
2.3.1.1 Historique	24
2.3.1.2 Arrêté interministériel du 2 août 2010 relatif à l'utilisation d'eaux issues du traitement d'épuration de eaux résiduaires urbaines pour l'irrigation de cultures ou d'espaces verts.....	25
2.3.1.3 Réglementations et recommandations existantes dans d'autres pays.....	27
2.3.2 Encadrement du lavage des voiries.....	28
3 Évaluation des risques sanitaires liés à la réutilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation par aspersion des cultures et des espaces verts, ainsi que pour le lavage des voiries.....	29
3.1 Comportement des particules d'eau émises par les dispositifs d'aspersion	30
3.2 Hypothèses de travail	31
3.3 Évaluation des risques sanitaires liés aux agents chimiques	32
3.3.1 Identification des dangers liés aux agents chimiques	32
3.3.1.1 Composition des eaux usées traitées.....	32
3.3.1.2 Sélection des substances d'intérêt.....	37
3.3.2 Évaluation des expositions	41
3.3.2.1 Populations exposées	41
3.3.2.2 Voies d'exposition retenues.....	41
3.3.2.3 Paramètres humains d'exposition et budget espace temps	42
3.3.3 Identification et sélection des valeurs toxicologiques de référence (VTR).....	46
3.3.3.1 Méthode	46
3.3.3.2 Résultats	47

3.3.4	Caractérisation des risques sanitaires	47
3.3.4.1	Irrigation des cultures, arrosage des espaces verts et des golfs	47
3.3.4.2	Lavage des voiries	52
3.3.5	Conclusions	53
3.3.5.1	Irrigation des cultures, arrosage des espaces verts et des golfs	53
3.3.5.2	Lavage des voiries	53
3.3.6	Limites de l'évaluation des risques sanitaires liés aux contaminants chimiques	53
3.4	Évaluation des risques sanitaires liés aux micro-organismes	54
3.4.1	Composition microbiologique des eaux usées brutes	55
3.4.2	Effets des traitements sur les concentrations microbiennes des eaux usées	59
3.4.2.1	Traitement primaire	59
3.4.2.2	Traitement secondaire.....	60
3.4.2.3	Traitement tertiaire	60
3.4.2.4	Effet du stockage.....	60
3.4.3	Identification des dangers	62
3.4.4	Données épidémiologiques.....	65
3.4.4.1	REUT par aspersion.....	65
3.4.4.2	Épidémiologie liée aux aérosols d'eau de STEP	66
3.4.4.3	Épandage des « biosolides »	67
3.4.5	Analyse de risque	67
4	Conclusion	69
5	Recommandations	70
5.1	Irrigation des cultures, arrosage des espaces verts et des golfs	70
5.1.1	Qualité de l'eau	71
5.1.2	Encadrement des pratiques	71
5.1.2.1	Liées à la conception et à la gestion du réseau de distribution	71
5.1.2.2	Liées aux systèmes d'aspersion et à l'irrigation par aspersion.....	71
5.1.3	Limitation de l'exposition.....	72
5.1.3.1	Résidents – Passants – Utilisateurs des espaces verts – Sportifs	72
5.1.3.2	Professionnels.....	72
5.1.4	Acquisition de connaissances.....	73
5.1.5	Contrôle des points critiques	74
5.2	Lavage des voiries	75
	BIBLIOGRAPHIE, RÉGLEMENTS ET NORMES	76
	ANNEXES	86
	Annexe 1 : Lettre de saisine.....	87
	Annexe 2 : Annexe technique de la convention de recherche et développement entre l'Anses, le CSTB et le Cemagref intitulée « Évaluation du risque de dispersion d'aérosols biologiques par aspersion d'eaux usées traitées ».....	89
	Annexe 3 : Arrêté du 2 août 2010 relatif à l'utilisation d'eaux issues du traitement d'épuration des eaux résiduaires urbaines pour l'irrigation des cultures ou d'espaces verts	93
	Annexe 4 : Techniques d'arrosage et d'irrigation selon les espaces verts	101
	Annexe 5 : Encadrement de la réutilisation des eaux usées traitées par aspersion.....	103
	Annexe 6 : Caractérisation du risque de dérive et d'évaporation d'une gamme d'asperseurs d'irrigation	114

Annexe 7 : Premiers résultats du volet de la convention de recherche et développement intitulée « Évaluation du risque de dispersion d'aérosols biologiques par aspersion d'eaux usées traitées »	116
Annexe 8 : Sélection des VTR les plus pertinentes.....	119
Annexe 9 : Paramètres influençant la dissémination et la survie des micro-organismes dans les particules d'eaux usées.....	131
Annexe 10 : Synthèse des déclarations publiques d'intérêts des experts par rapport au champ de la saisine	133

TABLE DES ILLUSTRATIONS

✓ Liste des tableaux :

Tableau I : Niveaux de qualité sanitaire des eaux usées traitées.	25
Tableau II : Fréquences de surveillance des eaux usées traitées.	25
Tableau III : Contraintes d'usage.	26
Tableau IV : Distances de sécurité.	27
Tableau V : Performances épuratoires minimales s'appliquant aux rejets de STEP en application de l'arrêté du 22 juin 2007.	33
Tableau VI : Niveau de concentrations des substances détectées et quantifiées en sortie de traitement secondaire de type boues activées (d'après Martin Ruel <i>et al.</i> , 2011).	36
Tableau VII : Substances sélectionnées pour l'évaluation des risques sanitaires.	39
Tableau VIII : <i>Scenarii</i> d'exposition retenus pour l'irrigation des cultures (maïs) et l'arrosage des espaces verts et des golfs.	45
Tableau IX : Valeurs toxicologiques de référence et excès de risque unitaires retenus pour l'ERS.	47
Tableau X : Équations utilisées pour le calcul des risques.	47
Tableau XI : Equations utilisées pour le calcul des concentrations inhalées.	48
Tableau XII : Caractéristiques des asperseurs retenus pour l'évaluation des risques sanitaires (résultats tirés de Molle <i>et al.</i> , 2010).	49
Tableau XIII : Concentrations maximales théoriques en cobalt à ne pas dépasser dans les eaux usées traitées.	50
Tableau XIV : Concentrations maximales théoriques en dieldrine à ne pas dépasser dans les eaux usées traitées.	50
Tableau XV : Concentrations maximales théoriques en pentachlorophénol à ne pas dépasser dans les eaux usées traitées.	50
Tableau XVI : Concentrations maximales théoriques en hexachlorocyclohexane à ne pas dépasser dans les eaux usées traitées.	51
Tableau XVII : Concentrations maximales théoriques en chrome VI à ne pas dépasser dans les eaux usées traitées.	51
Tableau XVIII : Concentrations maximales théoriques en nickel à ne pas dépasser dans les eaux usées traitées.	51
Tableau XIX : Concentrations maximales théoriques en arsenic à ne pas dépasser dans les eaux usées traitées.	52
Tableau XX : Concentrations maximales théoriques en cadmium à ne pas dépasser dans les eaux usées traitées.	52
Tableau XXI : Concentrations maximales théoriques en plomb à ne pas dépasser dans les eaux usées traitées.	52
Tableau XXII : Liste non exhaustive de bactéries d'intérêts sanitaires pouvant être présentes dans les eaux usées brutes.	56
Tableau XXIII : Liste non exhaustive de virus d'intérêts sanitaires pouvant être présents dans les eaux usées brutes.	57
Tableau XXIV : Liste non exhaustive de protozoaires et d'helminthes d'intérêts sanitaires pouvant être présents dans les eaux usées brutes.	58
Tableau XXV : Liste non exhaustive de champignons/moisissures d'intérêts sanitaires pouvant être présents dans les eaux usées brutes.	59
Tableau XXVI : Exemples d'abattement en micro-organismes observés lors des étapes de traitements et de stockage avant irrigation (Log_{10}) (D'après Kamizoulis, 2008).	61

Tableau XXVII : Exemple d'évolution des abattements en micro-organismes au cours de différentes étapes du traitement des eaux usées (Station de St Petersburg, Floride, USA, utilisation des eaux traitées pour l'irrigation d'un golf et d'espaces verts sur zones résidentielles) (D'après Rose <i>et al.</i> , 1996).	61
Tableau XXVIII : Synthèse de la littérature concernant les bactéries pathogènes potentiellement retrouvées dans les particules d'eaux usées traitées et de leurs potentiels effets sanitaires associés lors d'une exposition par voies respiratoire ou cutanéomuqueuse.	63
Tableau XXIX : Synthèse de la littérature concernant les principales toxines potentiellement retrouvées dans les particules d'eaux usées traitées et de leurs potentiels effets sanitaires associés lors d'une exposition par voies respiratoire ou cutanéomuqueuse.	64
Tableau XXX : Synthèse de la littérature concernant les principaux virus potentiellement retrouvés dans les particules d'eaux usées traitées et de leurs potentiels effets sanitaires associés lors d'une exposition par voies respiratoire ou cutanéomuqueuse.	64
Tableau XXXI : Synthèse de la littérature concernant les principaux protozoaires retrouvés dans les particules d'eaux usées traitées et de leurs potentiels effets sanitaires associés lors d'une exposition par voies respiratoire ou cutanéomuqueuse.	64
Tableau XXXII : Synthèse de la littérature concernant les principaux champignons/levures pathogènes potentiellement retrouvés dans les particules d'eaux usées traitées et de leurs potentiels effets sanitaires associés lors d'une exposition par voies respiratoire ou cutanéomuqueuse.	65
Tableau XXXIII : Paramètres de suivi pour l'aspect physico – chimique et valeurs recommandées pour l'usage agricole.	103
Tableau XXXIV : Paramètres de suivi pour l'aspect physico – chimique et valeurs recommandées pour les usages urbains.	104
Tableau XXXV : Paramètres de suivi pour l'aspect microbiologique et valeurs recommandées pour l'usage agricole.	105
Tableau XXXVI : Paramètres de suivi pour l'aspect microbiologique et valeurs recommandées pour les usages urbains.	106
Tableau XXXVII : Mesures complémentaires préventives sur site pour les usages agricoles.	107
Tableau XXXVIII : Mesures complémentaires préventives sur site pour les usages urbains.	108
Tableau XXXIX : Paramètres de suivi pour l'aspect physico – chimique et valeurs limites réglementaires pour les usages agricoles.	109
Tableau XL : Paramètres de suivi pour l'aspect physico – chimique et valeurs limites réglementaires pour les usages urbains.	110
Tableau XLI : Paramètres de suivi pour l'aspect microbiologiques et valeurs limites réglementaires pour les usages agricoles.	111
Tableau XLII : Paramètres de suivi pour l'aspect microbiologique et valeurs limites réglementaires pour les usages urbains.	112
Tableau XLIII : Paramètres chimiques et valeurs limites recommandées (mg/L).	112
Tableau XLIV : Synthèse des résultats de l'étude Onema – Cémagref pour 7 asperseurs (Molle <i>et al.</i> , 2010).	114
Tableau XLV : Doses moyennes recueillies par les boîtes de pétri verticales à 0,4 et 1,3 m du sol en mL/m ² /h.	118

✓ Liste des figures

Figure 1 : Schéma de principe de la réutilisation des eaux usées traitées.	20
Figure 2 : Dispositifs d'aspersion : asperseurs et diffuseurs (Communication personnelle de Bruno Molle).	22
Figure 3 : Laveuse de trottoirs et laveuse de trottoir à lance (Mairie de Paris, 2011).	23
Figure 4 : Laveuse-balayeuse de trottoirs (Mairie de Paris, 2011).	23
Figure 5 : Schéma de principe d'exposition aux eaux usées traitées aspersées.	29
Figure 6 : Distribution spatiale et radiale d'apport d'eau d'un asperseur (Isrtea).	30
Figure 7 : Schéma de principe d'exposition aux eaux usées traitées aspersées – Hypothèses de travail.	31

Figure 8 : Schémas généraux d'exposition. 43

Figure 9 : Démarche pour le choix des valeurs toxicologiques de référence..... 46

Figure 10 : Recommandations liées à la REUT par aspersion pour l'irrigation des cultures, l'arrosage des espaces verts et des golfs. 70

Figure 11 : Points critiques. 75

Figure 12 : Dispositifs de collecte horizontaux et verticaux..... 117

Figure 13 : Transport des particules mesuré sur l'ensemble des essais, asperseur Rainbird 5000+..... 118

GLOSSAIRE

Aérosol	<p>Un aérosol désigne tout ensemble de particules solides ou liquides, ou les deux, en suspension dans un milieu gazeux (norme NF X 43-001, 1982). Les particules sont conventionnellement considérées comme en suspension si leur vitesse de chute maximale n'excède pas 0,25 m/s (norme XP X43-244, 1998).</p> <p>Un aérosol désigne donc tout type de particules en suspension telles que fumées, poussières ou vésicules, particules biologiques (bioaérosol). La taille des particules peut varier de 0,02 à 100 µm de diamètre ; au delà de cette taille, les particules se déposent rapidement par sédimentation sur les surfaces (Dowd et Maier, 2000).</p> <p>Le code du travail (article R.4222-3) précise que seules les particules dont la taille est inférieure ou égale à 100 µm, dont la vitesse limite de chute dans les conditions normales de température, est au plus égale à 0,25 m/s, sont prises en compte dans les risques d'inhalation pour les travailleurs.</p>
Allergènes	Structures macromoléculaires de masse moléculaire variable capables de provoquer une réaction allergique chez un sujet préalablement sensibilisé lorsqu'il est à son contact.
Arrosage	Irrigation pratiquée sur les espaces verts.
Asperseur (Sprinkler)	Dispositif de distribution d'eau comportant une partie rotative apportant l'eau sous forme de pluie sur une surface circulaire ou semi-circulaire. La rotation est assurée par un batteur, une turbine ou un rotor sur lesquels vient impacter un jet issu d'une buse calibrée. La portée ou rayon d'arrosage varie de 1 à 70 m pour un débit variant de 50 L/h à 70 m ³ /h pour une pression pouvant varier de 1 à 6 bars (annexe 4). Ces asperseurs sont fixes ou mobiles (enrouleur, rampe pivotante ou frontale). (Cemagref, 2010)
Bêta(1-3)glucanes	Polymères de glucose de masse moléculaire variable d'origine le plus souvent fongique, mais également bactérienne ou végétale.
Biosolides	Résidus solides, semi-solides, ou liquides produits pendant le traitement des eaux usées domestiques.
Constante de Henry	<p>Caractérise la capacité d'une molécule à se partager entre les deux phases d'un système binaire eau/air. S'exprime sans unité ou exprimé en Pa.m³/mol.</p> <p>Une molécule est considérée comme volatile si sa constante de Henry est supérieure à 1 Pa.m³/mol.</p>
Cyanotoxines	Toxines à effets neurotoxiques, hépatotoxiques ou dermatotoxiques produites par des cyanobactéries.
Demande biochimique en oxygène sous 5 jours (DBO ₅)	Quantité d'oxygène dissous consommée, dans des conditions définies (5 jours à 20°C, avec ou sans inhibition de la nitrification), par l'oxydation biologique des matières organiques ou minérales de l'eau (norme NF EN 1085, 1997).
Demande chimique en oxygène (DCO)	Concentration d'oxygène équivalente à la quantité de dichromate de potassium consommée par un échantillon d'eau avec cet oxydant dans des conditions définies (norme NF EN 1085, 1997).

Dérive	Distance, par rapport à un asperseur, à laquelle est mesurée une dose significative d'eau (0,3 mm/h), au-delà de la portée observée sans vent. La dérive dépend essentiellement de la vitesse du vent, de l'angle de jet, de la hauteur atteinte par le jet ou plus généralement de la durée d'exposition du jet au vent.
Diffuseur (Sprayer)	Petit asperseur constitué d'une buse verticale impactant un déflecteur fixe fonctionnant à basse pression.
Endotoxines	Composés lipopolysaccharidiques, associés à la paroi des bactéries à coloration de Gram-, présentant des propriétés pro-inflammatoires.
Eaux résiduaires urbaines	Eaux usées domestiques (eaux provenant des cuisines, buanderies, lavabos, salles de bain, toilettes et installations similaires ; NF EN 1085) ou mélange d'eaux usées domestiques avec des eaux usées industrielles et/ou avec des eaux de ruissellement (Directive n°91/271 du 21/05/91 relative au traitement des eaux urbaines résiduaires).
Effluents secondaires	Eaux usées issues du traitement biologique avec décantation secondaire.
Gouttelette	Particule d'eau en suspension dans l'air, dont la trajectoire dépendra de sa vitesse initiale au moment où elle quitte le jet principal, des mouvements d'air autour d'elle et de sa masse. Le rapport entre la surface de la goutte et sa masse (ou son volume pour des fluides proches de l'eau, ce qui est le cas pour un effluent traité) définissent sa traînée et donc son comportement balistique : chute sous l'influence de la gravité, transport par le vent ou les ascendances dues à la convection.
Irrigation	Apport d'eau, sur ou dans le sol ou milieu de culture, par diverses méthodes, à destination d'une plante ou d'un couvert végétal, dans l'objectif de compenser tout ou partie du déficit climatique et pour maintenir un niveau de production ou d'état sanitaire satisfaisant.
Irrigation par aspersion	Technique d'irrigation apportant l'eau sous forme de pluie plus ou moins intense et plus ou moins dispersée au-dessus des plantations.
Irrigation gravitaire	Technique d'irrigation utilisant l'énergie potentielle gravitaire de l'eau pour en assurer la distribution aux parcelles agricoles et à l'intérieur des parcelles au moyen de canaux, rigoles ou petits bassins d'infiltration.
Irrigation localisée	Méthode d'irrigation apportant de l'eau sur une part réduite de la surface du sol. Inclut le goutte-à-goutte et la micro-aspersion.
Irrigation non restreinte ou illimitée	Irrigation de terrains sur lesquels l'accès du public ne peut pas être contrôlé.
Irrigation restreinte ou limitée	Irrigation de terrains sur lesquels l'accès du public peut être contrôlé.
Matières en suspension (MES)	Concentration en matières particulaires contenues dans un liquide normalement déterminée par filtration ou centrifugation puis séchage dans des conditions définies (norme NF EN 1085, 1997).

Micro-aspersion	Technique d'irrigation par aspersion à basse pression (<3.5 bars) à faible débit (<200 L/h) utilisée dans les vergers, les serres et pour les massifs dans les espaces verts.
Particule d'eaux usées traitées	Gouttelette ou aérosol d'eaux usées traitées sortant de l'asperseur.
Peptidoglycanes	Macromolécules formées d'une partie glucidique et d'une partie peptidique, entrant dans la constitution de la paroi des bactéries.
Portée	Distance, par rapport à un asperseur, à laquelle on mesure en l'absence de vent une dose significative d'eau définie par convention supérieure ou égale à 0,3 mm/h.
Pression de vapeur	La pression de vapeur d'une molécule est définie comme la pression de saturation au-dessus de laquelle elle se présente sous un état solide ou liquide. La pression de vapeur s'exprime en Pascal (Pa). Une molécule est considérée comme volatile si sa pression de vapeur est supérieure à 100 Pa.
Transport	Volume des particules d'eaux de plus petite taille issues d'un jet d'asperseur retrouvé au-delà de la portée avec une dose inférieure à 0,3 mm/h sous l'influence du vent dont les aérosols font partie.
Usages non restreints	Usages pour lesquels l'accès du public aux terrains irrigués ne peut pas être contrôlé comme les parcs, les terrains de jeux, les cours d'école, les résidences.
Usages restreints	Usages pour lesquels l'accès du public aux terrains irrigués peut être contrôlé (golfs, cimetières ou aires d'autoroutes, etc.).

ABRÉVIATIONS OU ACRONYMES

Afssa	Agence française de sécurité sanitaire des aliments
Afsset	Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail
AINS	Anti-inflammatoire non stéroïdien
AMPA	Acide aminométhylphosphonique
AMPERES	Analyse de micropolluants prioritaires et émergents dans les rejets et les eaux superficielles
Anses	Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
ARPE	Agence régionale pour l'environnement
ARS	Agence régionale de santé
ATNC	Agents transmissibles non conventionnels
ATSDR	Agency for toxic substances and disease registry
COV	Composés organiques volatils
CIRE	Cellule interrégionale d'épidémiologie
CIRC	Centre international de recherche sur le cancer
CMR	Cancérogène mutagène reprotoxique
CSHPF	Conseil supérieur d'hygiène publique de France
CSTB	Centre scientifique et technique du bâtiment
DBO ₅	Demande biochimique en oxygène sous 5 jours
DCE	Directive cadre sur l'eau
DCO	Demande chimique en oxygène
DEB	Direction de l'eau et de la biodiversité
DGS	Direction générale de la santé
DROM-COM	Département et région d'outre mer – collectivité d'outre mer
EH	Équivalent habitant
ERI	Excès de risque individuel
ERU	Excès de risque unitaire
EUT	Eaux usées traitées
FFG	Fédération française des golfs
HAP	Hydrocarbures aromatiques polycycliques
HR %	Humidité relative
Ig G	Immunoglobulines de type G
Ig M	Immunoglobulines de type M
INERIS	Institut national de l'environnement industriel et des risques

INRS	Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles
Irstea	Institut national de la recherche en sciences et technologie de l'environnement et de l'agriculture (ex Cemagref)
LOAEL (DMENO)	Lowest observed adverse effect level (dose minimale entraînant un effet nocif observé)
LQ	Limite de quantification
MES	Matières en suspension
NGL	Azote global
N-NH ₄ ⁺	Azote ammoniacal
NOAEL (DSENO)	No observable adverse effect level (dose sans effet nocif observé)
NOWMMA	New Process for Optimizing Wastewater Reuse from Mauguio to the Mediterranean Area in support of the French Reuse Directive (Nouvelle filière pour une réutilisation des eaux usées optimisée – à Mauguio et dans le bassin Méditerranéen, inspirée de la réglementation française)
NPP	Nombre le plus probable
NRC	National research council (USA)
NTK	Azote Kjeldhal
NTU	Nephelometric turbidity unit
OEHHA	Office of environmental health hazard assessment (USA)
OHV	Organo-halogénés volatils
OMS	Organisation mondiale de la santé
ONEMA	Office national de l'eau et des milieux aquatiques
PCB	Polychlorobiphényles
PCR	Polymerase chain reaction
PDU	PCR detectable unit
PT	Phosphore total
Q _d	Quotient de danger
REUT	Réutilisation des eaux usées traitées
RIVM	National institute for public health and environment (Pays Bas)
RSDE	Recherche des substances dangereuses dans l'eau
SAR	Sodium absorption ratio
STEP	Station d'épuration
THM	Trihalométhane
UFC	Unité formant colonie
UFP	Unité formant plage
UG	Unité génome
US EPA	United State environmental protection agency

VTR Valeur toxicologique de référence

1 Contexte, objet et modalités de traitement de la saisine

1.1 Contexte

La réutilisation d'eaux usées traitées (REUT) pour l'irrigation de cultures ou l'arrosage d'espaces verts présente un intérêt vis-à-vis de la préservation de la ressource en eau, notamment dans un contexte de conditions climatiques défavorables (période de sécheresse prolongée) ou dans une zone de faible disponibilité des ressources en eau.

Les conditions de REUT doivent être encadrées réglementairement afin de prévenir les risques sanitaires liés à cette pratique. En effet, les eaux résiduaires urbaines, même traitées par une station d'épuration (STEP), contiennent divers micro-organismes pathogènes et des éléments organiques et minéraux potentiellement toxiques.

Afin de garantir la protection de la santé publique et de l'environnement, la section des eaux du Conseil supérieur d'hygiène publique de France (CSHPF) a défini, en juillet 1991, des prescriptions sanitaires et techniques applicables aux installations utilisant après traitement des eaux usées à des fins d'arrosage ou d'irrigation.

Ces prescriptions ont été actualisées en 2001 par un groupe d'experts et un projet d'arrêté a été élaboré en application de l'article 24 du décret du 3 juin 1994 relatif à l'assainissement des eaux usées urbaines. Ce projet a été transmis à l'Agence française de sécurité sanitaire de l'alimentation (Afssa) pour avis.

Le rapport d'expertise de l'Afssa du 1^{er} décembre 2008 définit des contraintes d'usage, de distances et de terrains en fonction du niveau de qualité des eaux usées traitées (Afssa, 2008). Compte tenu de son champ de compétences, l'Afssa a ciblé son évaluation sur le risque sanitaire lié à la REUT pour l'irrigation des cultures destinées à la consommation humaine et le risque pour la santé animale.

En 2010, l'Afssa a complété son analyse par une évaluation des risques liés aux effluents issus des établissements de transformation de sous-produits animaux de catégorie 1, 2 ou 3, toujours à des fins de réutilisation pour l'irrigation des cultures destinées à la consommation humaine ou animale (Afssa, 2010).

1.2 Objet de la saisine

Le Directeur général de la santé du ministère de la santé et des sports et la Directrice de l'eau et de la biodiversité du ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de l'aménagement du territoire, ont saisi l'Afssset le 7 août 2009 d'une **demande d'évaluation des risques sanitaires liés à l'aspersion des eaux usées traitées** (annexe 1).

L'objectif de ce travail est de réaliser une évaluation des risques sanitaires liés à l'aspersion des eaux usées traitées pour l'arrosage des espaces verts et l'irrigation des cultures, ainsi que pour la réutilisation pour des usages urbains autres que l'arrosage, en particulier le lavage des voiries.

Seules les techniques d'irrigation utilisées pour les usages agricoles sur lesquels l'expertise de l'Afssa n'a pas porté¹ et les usages urbains seront pris en compte dans ce travail.

Les usages urbains correspondent à l'arrosage des espaces verts et au lavage des voiries.

L'expertise devra déterminer si les critères proposés par l'Afssa (qualité d'eau, contrainte de distance et d'usage) sont applicables au cas de l'aspersion d'eaux usées traitées et permettent de garantir la sécurité sanitaire des travailleurs, des usagers et des riverains.

1.3 Modalités de traitement

Les travaux d'expertise sont issus d'un collectif d'experts aux compétences complémentaires. Ils ont été réalisés dans le respect de la norme NF X 50-110 « qualité en expertise » avec pour objectif de respecter les points suivants : compétence, indépendance, transparence, traçabilité. L'analyse des liens déclarés a permis de vérifier qu'aucun des experts concernés n'a d'intérêt personnel pouvant conduire à un conflit d'intérêt.

L'expertise collective a été confiée au groupe de travail (GT) « Réutilisation des eaux usées traitées » mis en place le 4 janvier 2010.

1.4 Champ de la saisine

Les représentants des ministères signataires de la saisine ont été auditionnés par le GT afin de préciser leurs attentes et notamment :

- l'expertise devra permettre d'évaluer les risques sanitaires liés à la REUT pour l'irrigation des cultures et l'arrosage des espaces verts en priorité. L'impact de la REUT sur l'environnement, étant encadré par la réglementation, ne fait pas partie du champ de la demande ;
- les voies d'exposition à prendre en considération sont la voie respiratoire et le contact cutanéomuqueux ;
- l'expertise devra confirmer ou infirmer les critères et valeurs retenues par l'Afssa dans le cadre de l'aspersion ;
- les recommandations devront inclure des niveaux de traitement et pourront proposer des moyens pour maîtriser le risque lié à l'irrigation par aspersion.

L'expertise s'est également appuyée sur :

- une audition de la Fédération française des golfs qui a apporté des informations quant aux modalités d'arrosage (durée, fréquence, etc.) et aux tâches des jardiniers ;
- une convention de recherche et de développement signée en partenariat avec le Cemagref² et le Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB) dont l'objectif était d'évaluer le risque de dispersion d'aérosols biologiques par aspersion d'eaux usées traitées (annexe 2). Néanmoins, à la date de rédaction du rapport, les conclusions n'ont été que partiellement communiquées.

¹« L'Afssa a ciblé son évaluation sur la portée sanitaire pour le consommateur et la santé animale des dispositions proposées par le projet d'arrêté relatif à la réutilisation des eaux usées traitées ; Il est précisé que l'utilisation des eaux usées traitées pour les espaces verts ainsi que le risque pour les riverains ou les professionnels (notamment du fait de l'aspersion) pour lesquels il n'est pas identifié de risque alimentaire, ne seront pas évalués par l'agence » (Afssa, 2008).

² Le 30 novembre 2011, le Cemagref est devenu l'Institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture (IRSTEA).

Ainsi, l'évaluation des risques sanitaires prend en compte :

- les caractéristiques physiques du devenir de l'eau au cours de l'aspersion ;
- les compositions chimique et microbiologique des eaux usées traitées (EUT) ;
- la caractérisation des populations potentiellement exposées ;
- les risques liés à l'aspersion des EUT sur l'Homme *via* l'inhalation et le contact cutanéomuqueux.

Ont été exclues de l'expertise les voies de contamination indirecte par ingestion de végétaux arrosés avec des EUT (traitée par l'Afssa en 2008) et par contact main-bouche ou manuportage.

L'évaluation conduite et les conclusions du GT « REUT » ont été adoptées par le CES « Eaux » de l'Anses au cours de la séance 6 février 2012.

2 Réutilisation des eaux usées traitées

2.1 Principe

La réutilisation des eaux usées traitées est l'étape finale d'un processus faisant appel successivement à (figure 1) :

- la collecte des eaux résiduaires urbaines (domestiques et non domestiques) ;
- leur traitement plus ou moins avancé par diverses techniques mises en œuvre dans une STEP ;
- leur stockage avant leur réutilisation.

La qualité des EUT requise pour la REUT dépend des usages pour lesquels elle est envisagée. Les traitements classiques des eaux usées (par boues activées notamment) peuvent être insuffisants pour certains usages de REUT. Ainsi, des traitements complémentaires peuvent être mis en œuvre comme, par exemple, la coagulation physico-chimique, la filtration (comprenant les techniques membranaires), le lagunage ou encore la désinfection.

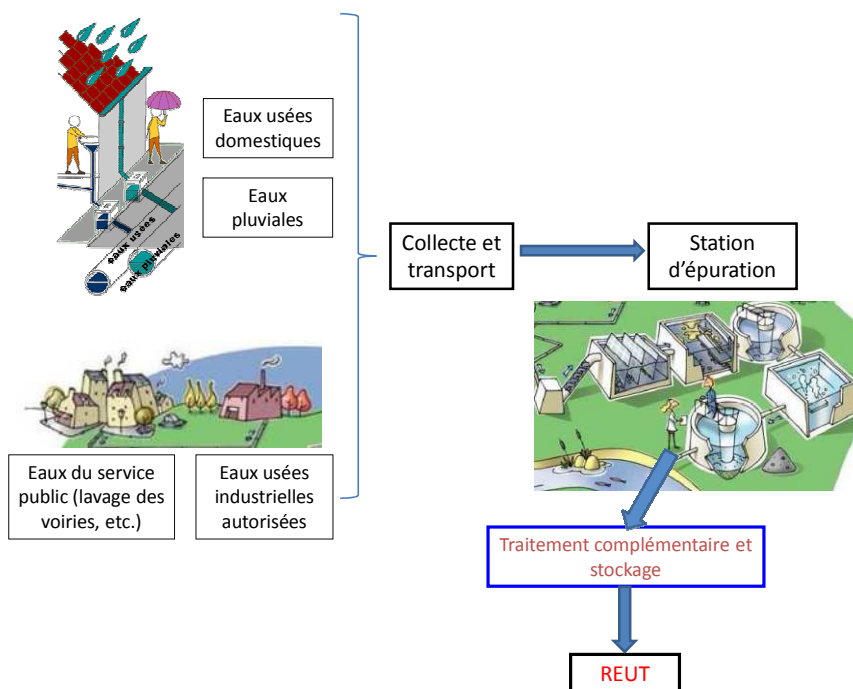


Figure 1 : Schéma de principe de la réutilisation des eaux usées traitées³.

³ Images extraites de www.eau.public.lu/eaux_usées_pluviales/assainissement/cycle_urbain_eau/index.html

2.2 Usages et techniques employées

2.2.1 Irrigation des parcelles agricoles et arrosage des espaces verts

2.2.1.1 Sites concernés

Concernant l'irrigation des cultures, l'ensemble des sites où la technique d'aspersion peut être utilisée, est à considérer.

Concernant l'arrosage des espaces verts, les sites potentiels sont notamment :

- aires d'autoroute ;
- cimetières ;
- établissements sensibles recevant du public (crèches, établissements d'enseignement, hôpitaux, maisons de retraite, etc.) ;
- golfs ;
- hippodromes ;
- parcs ;
- parties communes d'un lotissement ;
- rond-points et autres terre-pleins ;
- squares ;
- stades ;
- etc.

2.2.1.2 Techniques d'irrigation

2.2.1.2.1 Irrigation gravitaire – irrigation localisée

Selon l'article 2 de l'arrêté du 2 août 2010 relatif à l'utilisation d'eaux issues du traitement d'épuration des eaux résiduaires urbaines pour l'irrigation de cultures et d'espaces verts (annexe 3), sont définies comme suit :

- « *Irrigation gravitaire : l'eau est fournie aux plantes par remplissage de petits bassins, par planches ou par calans, par des rigoles, canaux ou raies d'irrigation ;*
- *Irrigation localisée :*
 - *Souterraine : l'eau est fournie par l'intermédiaire de tuyaux perforés, de goutteurs de microirrigation ou de drains enterrés ;*
 - *De surface : l'eau est distribuée au moyen de goutteurs ou de rampes perforées au voisinage de la plante. »*

L'irrigation gravitaire ou irrigation de surface consiste donc à distribuer l'eau à partir d'un canal dans lequel l'écoulement est gravitaire et à répartir cette eau vers les parcelles au moyen de divers dispositifs de régulation. Dans la parcelle celle-ci s'infiltré à partir de bassins, rigoles ou autres zones de réduction de la vitesse de l'eau permettant son infiltration. Cette méthode est très rustique et ne demande pas de matériel particulier.

L'irrigation localisée est un terme général pour désigner un ensemble de techniques d'apport d'eau au pied des plantes, par doses faibles et fréquentes, sous forme de gouttes ou de jet à très faible pression (n'engendrant pas de dispersion). Les distributeurs d'irrigation localisée peuvent être posés en surface du sol ou plus ou moins enterrés (de quelques mm à 30 cm de profondeur). Cette méthode est très exigeante en matière de conditionnement de l'eau (filtration) et de maintenance des installations pour en prolonger la durée de vie.

2.2.1.2.2 Irrigation par aspersion

Selon l'article 2 de l'arrêté du 2 août 2010 relatif à l'utilisation d'eaux issues du traitement d'épuration des eaux résiduaires urbaines pour l'irrigation de cultures et d'espaces verts, l'irrigation

par aspersion est définie comme suit : « l'eau est fournie aux plantes sous forme de pluie artificielle grâce à l'utilisation d'organes d'arrosage ou d'asperseurs alimentés en eau sous pression ».

L'irrigation par aspersion est donc une technique d'irrigation apportant l'eau sous forme de pluie plus ou moins intense et plus ou moins dispersée au-dessus des plantations. Pour cela, elle utilise des canalisations enterrées ou de surface, dans lesquelles l'eau circule sous pression. Ces canalisations distribuent l'eau à des tuyaux secondaires, éventuellement mobiles, qui alimentent des systèmes de distribution. Le système de distribution par aspersion, y compris la micro-aspersion, doit apporter une lame d'eau homogène sur l'ensemble de la surface arrosée. Ces formes d'irrigation peuvent être adaptées à toutes les configurations et natures de terrain, ainsi qu'à tous les types de cultures et usages.

Les différents types de distributeurs d'eau par aspersion sont présentés dans la figure 2. La description des performances est présentée en annexe 4.



Canon d'irrigation



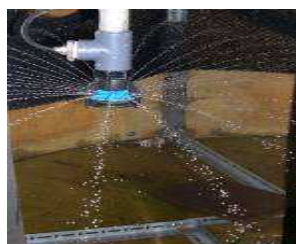
Turbine



Sprinkler à batteur



Micro sprinkler



Diffuseur



Micro jet ou micro spray

Figure 2 : Dispositifs d'aspersion : asperseurs et diffuseurs (Communication personnelle de Bruno Molle).

L'asperseur projette en l'air des jets d'eau, qui se répandent sous la forme de gouttes de pluie sur une superficie circulaire ou semi-circulaire. Les asperseurs commercialisés existent en divers débits, dimensions de buses, pressions de service, et rayon du cercle mouillé (ou rayon d'arrosage ou portée), en cercle complet ou partiel.

Un asperseur est défini par le diamètre de la buse dont il est équipé et la pression de mise en œuvre. Ces deux paramètres, ainsi que la forme du corps de l'asperseur sont les déterminants de la granulométrie de la distribution, elle-même responsable de la sensibilité de l'arrosage au vent et à l'évaporation, et donc des phénomènes de dérive de particules d'eau au-delà de la zone cible ou de transport de particules sur de grandes distances.

2.2.2 Lavage des espaces publics

2.2.2.1 Domaine d'application

Le nettoyage des espaces publics concerne en particulier :

- la chaussée ;
- les caniveaux ;

- les voies piétonnes ;
- les places publiques (marchés, etc.) ;
- les ouvrages d'art (ponts, passerelles, tunnels, murs de soutènement) ;
- les accotements et les fossés.

2.2.2.2 Techniques mises en œuvre pour le lavage des voiries

Il existe deux techniques principales de nettoyage :

- le lavage au jet d'eau sous pression : il est effectué manuellement à l'aide d'une lance ou par d'autres engins motorisés (figure 3). Pour le lavage à la lance, la pression utilisée est de l'ordre de 15 bars. Pour les engins motorisés les pressions peuvent être supérieures. La vitesse d'avancement des véhicules varie de 1 à 8 km/h. L'opérateur de la lance peut porter des équipements de protection individuelle (gants, gilets fluorescents, chaussures de sécurité, combinaisons jetables, masques, lunettes de protection et charlottes).
- le lavage par aspiration mécanique et brosseage (laveuse balayeuse) : des engins de type aspiratrices de chaussées sont alors employés. Les risques de contact avec l'eau ou de projection sont négligeables. L'aspiration de l'eau est quasi immédiate après son contact avec la surface à nettoyer (figure 4).



Figure 3 : Laveuse de trottoirs et laveuse de trottoir à lance (Mairie de Paris, 2011).



Figure 4 : Laveuse-balayeuse de trottoirs (Mairie de Paris, 2011).

L'eau utilisée est prélevée au niveau des poteaux incendie. Des additifs peuvent être parfois ajoutés pour des traitements spécifiques. Dans le cas particulier de la ville de Paris, l'eau employée est puisée sur le réseau d'eau non potable (eau de Seine dégrillée) ; le volume estimé pour le nettoyage de la voie publique pour la ville de Paris est d'environ 40 000 m³ par an.

Larrouy (2005) a estimé des ratios de consommation d'eau en fonction de l'usage :

- 5 L/m² pour le nettoyage des marchés ;
- 25 L/m² pour le nettoyage des caniveaux.

L'Agence régionale pour l'environnement de la région Provence Alpes Côte d'Azur indique, pour le nettoyage des voiries ou des parkings, 5 litres par mètre linéaire. Ce chiffre peut varier très sensiblement en fonction du type de machine utilisée et de son réglage.

La fréquence de nettoyage d'une voie publique est fonction de sa fréquentation, de ses caractéristiques et de la politique de la collectivité concernée : une voie piétonne, avec ou sans commerce, *etc.*

2.3 Réglementations et recommandations relatives à la réutilisation d'eaux usées traitées

2.3.1 Aux fins d'irrigation par aspersion

2.3.1.1 Historique

Les circulaires du 22 juillet 1991 (circulaire DGS/SD1.D/91/N°51) et du 3 août 1992 (circulaire DGS/SD1.1D/92 N°42) préconisent d'appliquer les recommandations du CSHPF de 1991 relatives à l'utilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation des cultures et l'arrosage des espaces verts. Par ailleurs, la DGS attirait l'attention sur la nécessité de développer les projets d'utilisation d'eaux usées épurées, disposant d'un plan de gestion rigoureux, à savoir :

- en supprimant ou réduisant fortement les possibilités de contact entre les populations et l'eau mais aussi les risques de contamination des chaînes alimentaires ;
- en limitant la dispersion des effluents, le recours à l'aspersion pouvant être toléré lorsque les conditions hydrologiques s'imposaient.

En 2001, le CSHPF a révisé les recommandations de 1991 et a rédigé un projet d'arrêté fixant du point de vue sanitaire les prescriptions techniques, les modalités de mises en œuvre et de surveillance applicables à l'utilisation d'eaux issues du traitement d'épuration des eaux résiduaires des collectivités territoriales pour l'arrosage ou l'irrigation de cultures ou d'espaces verts. L'Afssa a rendu son avis sur ce projet d'arrêté dans son rapport « Réutilisation des eaux usées traitées pour l'arrosage ou l'irrigation », publié en décembre 2008.

Du fait des champs de compétences respectifs de l'Afssa et de l'Afsset avant leur fusion, l'avis de l'Afssa porte sur les risques sanitaires pour l'Homme et les animaux, liés à une exposition par voie orale et n'inclut pas les risques sanitaires pour l'Homme liés à l'exposition par voie respiratoire ou cutanéomuqueuse. L'utilisation des eaux usées traitées pour l'arrosage des espaces verts (pour lesquels il n'est pas identifié de risque sanitaire par ingestion), les dangers que peut présenter cette pratique pour les riverains ou les professionnels (notamment par aspersion) sont donc exclus du rapport de l'Afssa.

Sur la base du rapport de l'Afssa (2008), de l'avis de l'Afsset sur le projet d'arrêté relatif à l'utilisation d'eaux issues du traitement d'épuration des eaux résiduaires urbaines pour irrigation ou arrosage de cultures et d'espaces verts (2009)⁴, de l'avis de l'Afssa relatif à l'évaluation des risques sur les effluents issus des établissements de transformation de sous-produits de catégories 1, 2 ou 3 à des fins de réutilisation pour l'irrigation des cultures destinées à la consommation humaine ou animale (2010), les ministères concernés (santé, environnement et agriculture) ont publié au Journal Officiel l'arrêté du 2 août 2010 relatif à l'utilisation d'eaux issues du traitement d'épuration des eaux résiduaires urbaines pour l'irrigation de cultures ou d'espaces verts.

⁴ Afsset (2009). Avis de l'agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail relatif au projet d'arrêté interministériel relatif à l'utilisation d'eaux issues du traitement d'épuration des eaux résiduaires urbaines pour l'irrigation des cultures ou d'espaces verts. Non publié.

2.3.1.2 Arrêté interministériel du 2 août 2010 relatif à l'utilisation d'eaux issues du traitement d'épuration de eaux résiduaires urbaines pour l'irrigation de cultures ou d'espaces verts

L'article 4 autorise à titre expérimental par arrêté préfectoral pris après avis favorable de l'Anses, l'utilisation d'eaux usées traitées à des fins d'irrigation par aspersion.

Les annexes I et II de l'arrêté du 2 août 2010 définissent quatre niveaux de qualité sanitaire (A, B, C et D) des eaux usées traitées auxquels sont associées des contraintes d'usage, de terrains et de distances.

- Niveaux de qualité sanitaire des eaux usées traitées et fréquence de surveillance des eaux usées traitées :

Tableau I : Niveaux de qualité sanitaire des eaux usées traitées.

Paramètres	Niveau de qualité sanitaire des eaux usées traitées			
	A	B	C	D
Matières en suspension (mg/L)	< 15	Conforme à la réglementation des rejets d'eaux usées traitées pour l'exutoire de la station hors période d'irrigation		
Demande chimique en oxygène (mg/L)	< 60			
Entérocoques fécaux (abattement en log)	≥ 4	≥ 3	≥ 2	≥ 2
Phages ARN F-spécifiques (abattement en log)	≥ 4	≥ 3	≥ 2	≥ 2
Spores de bactéries anaérobies sulfito-réductrices (abattement en log)	≥ 4	≥ 3	≥ 2	≥ 2
<i>Escherichia coli</i> (UFC/100mL)	≤ 250	≤ 10 000	≤ 100 000	-

- : pas de valeur

Tableau II : Fréquences de surveillance des eaux usées traitées.

Usage requérant <i>a minima</i> (1) une eau de qualité sanitaire	Fréquence d'analyses	Valeur limite à respecter en <i>Escherichia coli</i> (UFC/100ml)
A	1 par semaine	≤ 250
B	1 tous les 15 jours	≤ 10 000
C et D	1 par mois	≤ 100 000

(1) tableau III ci-dessous

➤ Contraintes d'usages :

Tableau III : Contraintes d'usage.

Type d'usage	Niveau de qualité sanitaire des eaux usées traitées			
	A	B	C	D
Cultures maraîchères, fruitières et légumières non transformées	+	-	-	-
Cultures maraîchères, fruitières, légumières transformées	+	+	-	-
Pâturage	+	+ ⁽¹⁾	-	-
Espaces verts et forêts ouverts au public (notamment golfs)	+ ⁽²⁾	-	-	-
Fleurs vendues coupées	+	+	-	-
Autres cultures florales	+	+	+ ⁽³⁾	-
Pépinières et arbustes	+	+	+ ⁽³⁾	-
Fourrage frais	+	+ ⁽¹⁾	-	-
Autres cultures céréalières et fourragères	+	+	+ ⁽³⁾	-
Arboriculture fruitière	+	+	+ ⁽³⁾	-
Forêt d'exploitation avec accès contrôlé du public	+	+	+ ⁽³⁾	+ ⁽³⁾

+ : autorisée, - : interdite

(1) Sous réserve du respect d'un délai après irrigation de 10 jours en l'absence d'abattoir relié à la STEP et de 30 jours dans le cas contraire.

(2) Irrigation en dehors des heures d'ouverture au public.

(3) Uniquement par irrigation localisée, telle que définie à l'article 2 du présent arrêté.⁵

Dans le cas d'une culture sous serre, seule l'irrigation localisée, telle que définie à l'article 2, est autorisée.

⁵ Irrigation localisée : Souterraine : l'eau est fournie par l'intermédiaire de tuyaux perforés, de goutteurs de microirrigation ou de drains enterrés ; De surface : l'eau est distribuée au moyen de goutteurs ou de rampes perforées au voisinage de la plante.

- Contraintes de distances :

Tableau IV : Distances de sécurité.

Nature des activités à protéger	Niveau de qualité sanitaire des eaux usées traitées		
	A	B	C et D
Plan d'eau ⁽¹⁾	20 m	50 m	100 m
Bassin aquacole (à l'exception des coquillages filtreurs) Pisciculture y compris pêche de loisir	20 m	50 m	100 m
Conchyliculture Pêche à pied des coquillages filtreurs	50 m	200 m	300 m
Baignades et activités nautiques	50 m	100 m	200 m
Abreuvement du bétail	50 m	100 m	200 m

(1) A l'exception du plan d'eau servant d'exutoire au rejet de la station d'épuration et des plans d'eau privés où l'accès est réglementé et où aucune activité telle que baignade, sport nautique et aquatique, pêche ou abreuvement du bétail n'est pratiquée.

- Contraintes de terrains :

Dans le cas d'un terrain dont la pente est supérieure à 7 %, seule l'irrigation localisée est autorisée.

L'irrigation par des eaux usées traitées de terrains saturés en eau est interdite de manière à éviter tout ruissellement d'eaux usées traitées hors du site.

En terrains karstiques, l'irrigation n'est possible qu'avec des eaux de qualité A et B et seulement s'ils comportent un sol épais avec un couvert végétal. En outre, si la pente de ces terrains excède 3 %, l'irrigation doit être localisée.

En résumé, l'arrêté prévoit l'interdiction d'aspersion dans :

- les serres ;
- les espaces verts (dont les golfs) et les forêts d'exploitation en période d'ouverture au public.

2.3.1.3 Réglementations et recommandations existantes dans d'autres pays

Afin de garantir la protection de la santé et de l'environnement, des organismes étrangers (US EPA, Australian EPA) et international (OMS) ont émis des recommandations adaptées aux usages urbains et/ou agricoles.

Ces recommandations fixent des objectifs de résultats en termes de qualité d'EUT (physico-chimiques et microbiologiques) et proposent des moyens pour y parvenir : soit par le seul traitement des eaux usées soit en l'associant avec des mesures préventives sur site (distances de sécurité, contraintes vis-à-vis du type d'irrigation et des conditions météorologiques, etc.).

S'agissant de la qualité physico-chimique des EUT, dans l'attente d'études complémentaires, aucun suivi de substances spécifiques n'est proposé dans ces recommandations. Le suivi de la qualité des EUT est assuré au moyen d'indicateurs classiques de pollution des eaux usées (DBO₅, MES, turbidité, etc.).

S'agissant de la qualité microbiologique des EUT, celle-ci est évaluée au moyen d'indicateurs conventionnels de contamination d'origine fécale (coliformes fécaux, *Escherichia coli*). Il est à noter que les valeurs préconisées diffèrent d'un organisme à l'autre.

Les recommandations de l'OMS, l'US EPA, et l'Australian EPA ainsi que les réglementations de deux états (Californie et South Australia) et de six pays (Italie, Israël, Chypre, Espagne, Jordanie et Japon) sont précisées en annexe 5. Elles ne concernent que la réutilisation par aspersion pour des usages agricoles et urbains. Elles fixent des critères de qualités d'eaux pour les paramètres physico-chimique, chimique, microbiologique ainsi que les mesures préventives sur sites à mettre en œuvre.

2.3.2 Encadrement du lavage des voiries

Aucun cadre réglementaire n'est fixé au niveau national, cette compétence relève du maire au titre de la salubrité publique.

3 Évaluation des risques sanitaires liés à la réutilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation par aspersion des cultures et des espaces verts, ainsi que pour le lavage des voiries

L'objectif de l'aspersion est de générer à partir d'un jet principal un nuage de particules de taille variable pour apporter une lame d'eau régulière et prédéterminée au sol. Que ce soit pour l'irrigation des cultures ou pour le lavage des voiries, les techniques employées induisent la production de particules d'eau de taille et de compositions chimique et biologique variables. En effet, les particules d'eau de taille inférieure à 100 μm restent en suspension dans l'air et sont susceptibles d'être inhalées par un individu ; les particules d'eau de taille supérieure à 100 μm sédimentent rapidement en raison de leur masse (Dowd et Maier, 2000). Les deux types de particules d'eau sont susceptibles de se déposer sur la peau d'individus situés à proximité ou à distance des dispositifs d'aspersion.

Dans la mesure où l'eau utilisée est chargée en contaminants chimiques et biologiques, il convient d'analyser les risques pour l'Homme liés à ces pratiques.

Seuls les risques sanitaires pour les voies respiratoire et cutanéomuqueuse seront traités.

Après avoir analysé le comportement des particules d'eau émises par les dispositifs d'aspersion, puis formulé des hypothèses de travail, l'évaluation des risques sanitaires a été réalisée selon la démarche suivante (figure 5) :

- identification des dangers ;
- évaluation des expositions ;
- identification et sélection des relations dose-réponse ;
- caractérisation des risques liés à l'aspersion des EUT.

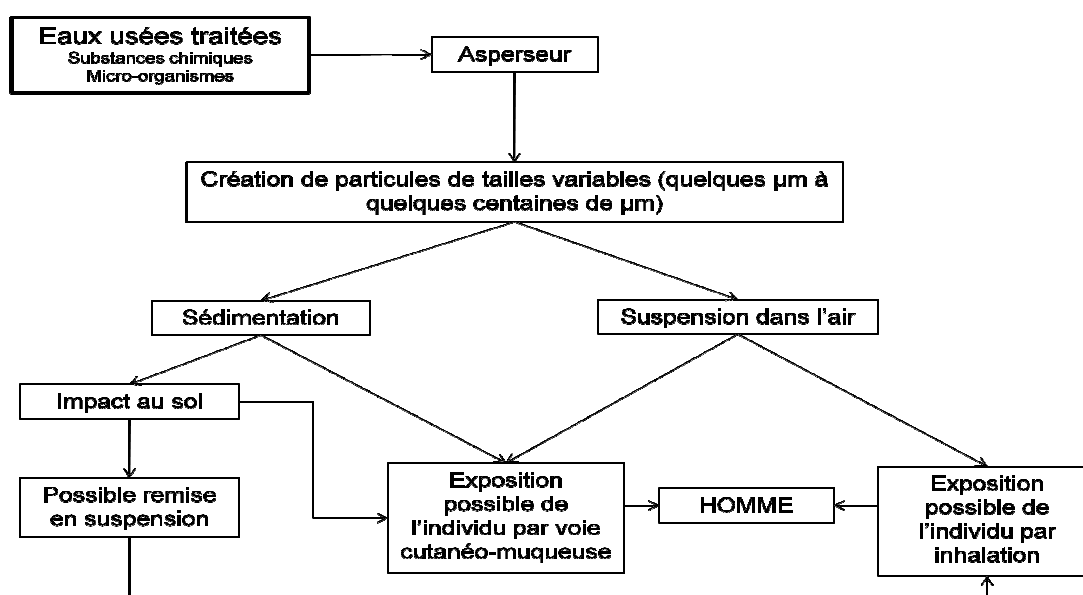


Figure 5 : Schéma de principe d'exposition aux eaux usées traitées aspersées.

Cependant, en l'absence de relation dose-réponse (cf. paragraphe 3.3.3) et de données d'exposition (cf. paragraphe 3.3.2), l'évaluation des risques sanitaires n'a pu être réalisée pour le contact cutanéomuqueux et le lavage des voiries en général.

3.1 Comportement des particules d'eau émises par les dispositifs d'aspersion

Molle *et al.* (2010) ont étudié sept modèles d'arroseurs (usages agricoles et urbains) représentatifs de ceux qui sont disponibles sur le marché français, à trois pressions différentes représentatives des pratiques. Pour chaque combinaison arroseur – pression et afin de connaître la répartition des volumes distribués sur la zone arrosée, les distributions radiales ou spatiales d'apport d'eau (figure 6) ont été mesurées (en mm/h). Les distributions de tailles et de vitesses des particules de taille supérieure à 150 µm ont également été évaluées à différentes distances de l'arroseur grâce à un spectropluviomètre à infra-rouge (Delahaye *et al.*, 2001).

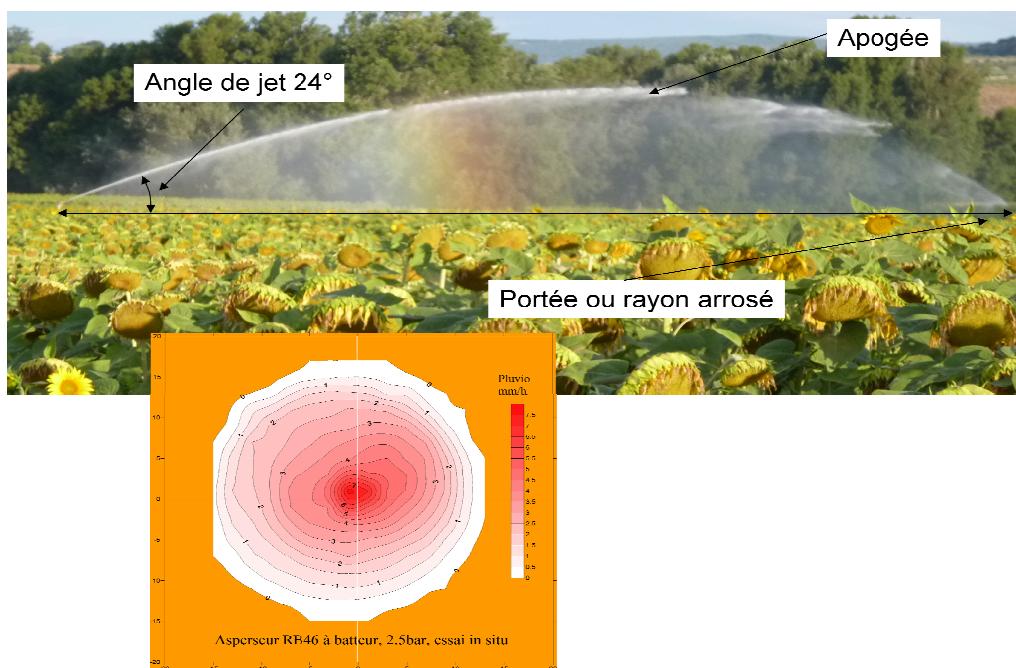


Figure 6 : Distribution spatiale et radiale d'apport d'eau d'un asperseur (Isrtea).

Hendawi (2006) a mis en évidence qu'en cas de conditions climatiques très évaporantes, les particules d'eau de moins de 150 µm pouvaient avant leur arrivée au sol faire l'objet d'une évaporation totale. Partant de cette hypothèse, et de celle que ces particules d'eau de moins de 150 µm peuvent rester en suspension dans l'air, Molle *et al.* (2010) ont évalué les volumes d'eaux représentés par ces particules (annexe 6).

Les résultats de cette étude indiquent que :

- la sédimentation est le phénomène majeur intervenant au cours de l'irrigation par aspersion et représente, selon l'asperseur, au minimum 97,5 % du volume d'eau aspergé ;
- les asperseurs produisent très peu (en volume) de particules d'eau de diamètre inférieur à 150 µm. Leur production dépend du débit, de la pression et du type d'asperseur. Dans tous les cas, le pourcentage en volume de ces particules d'eau ne dépasse pas 2,5 % du volume distribué ;
- le pourcentage en volume des particules d'eau de taille inférieure à 150 µm diminue avec la distance à l'asperseur, car le jet ralentit lors de sa propagation dans l'air ce qui réduit progressivement la production de particules de 150 µm pendant le trajet ;
- les dérives aériennes, exprimées en pourcentage de la portée de l'asperseur varient en fonction du type d'asperseur mais n'excèdent pas 20 % pour les arroseurs à grande portée (> 20 m) et 40 % pour les autres ;

- le volume total susceptible d'être transporté au-delà de la portée est faible (quelques centaines de mL/m²/h d'arrosage, pour un arroseur débitant à 600 L/h portant à 13,5 m et jusqu'à 45 m de l'arroseur, cf. annexe 7).

3.2 Hypothèses de travail

Compte tenu des observations ci-dessus, de la complexité des phénomènes en jeu et de la durée de la trajectoire (de l'ordre de quelques secondes), les hypothèses suivantes sont retenues pour la suite de l'expertise et schématisées dans la figure 7 :

1) Concernant la voie respiratoire

- Une taille de particule d'eau de 150 µm (au lieu de 100 µm) a été retenue comme valeur seuil pour l'ERS sur la base des données expérimentales en irrigation par aspersion (Molle *et al.*, 2010) ;
- Seules les particules de taille inférieure à 150 µm créées initialement par l'asperseur sont prises en compte. Les phénomènes pouvant intervenir pendant le trajet des particules d'eau tels que la volatilisation ou l'évaporation seront considérés comme négligeables ;
- La distribution granulométrique des particules d'eaux usées traitées reste constante après la sortie de l'asperseur ;
- La composition chimique des particules d'eaux usées traitées créées par l'asperseur est identique à celle des eaux usées en sortie de STEP.

2) Concernant la voie cutanéomuqueuse

- L'ensemble des tailles de particules d'eau sera considéré.

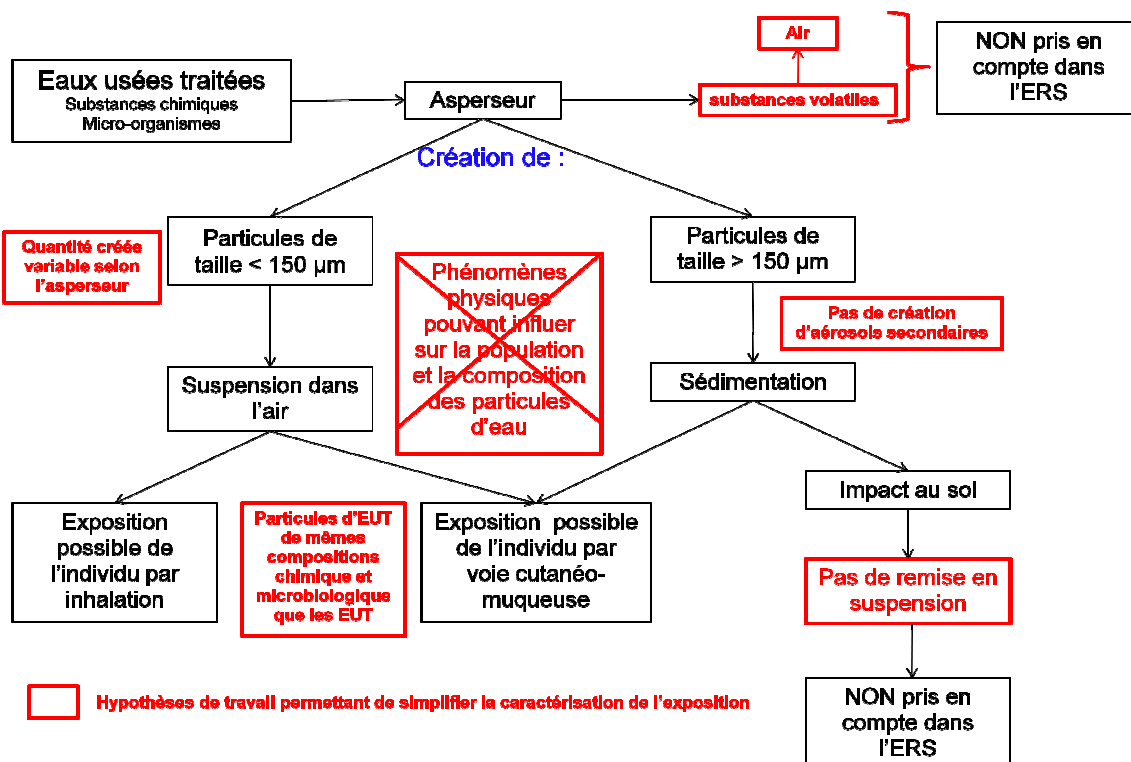


Figure 7 : Schéma de principe d'exposition aux eaux usées traitées aspergées – Hypothèses de travail.

3.3 Évaluation des risques sanitaires liés aux agents chimiques

3.3.1 Identification des dangers liés aux agents chimiques

La composition des eaux usées traitées dépend d'une part de la composition des eaux usées brutes et d'autre part des techniques d'épuration appliquées. Quelle que soit la nature des traitements appliqués, les eaux usées traitées restent chargées en substances minérales et organiques de natures dissoute, colloïdale et particulaire.

3.3.1.1 Composition des eaux usées traitées

Les eaux résiduaires urbaines admises à l'entrée d'une STEP véhiculent conventionnellement trois grands types de pollution (tableau V) : la pollution carbonée (mesurée indirectement par les paramètres DCO, DBO₅ et MES), la pollution azotée et la pollution phosphorée. Ces pollutions se répartissent sous trois formes physiques : particulaire, colloïdale et dissoute.

L'épuration consiste à séparer, par des traitements physiques, physico-chimiques ou biologiques, une part plus ou moins importante de ces différentes fractions pour diminuer la pollution contenue dans les effluents rejetés dans le milieu récepteur.

Le tableau V rappelle les performances « épuratoires » minimales s'appliquant aux rejets de STEP, au regard de l'arrêté du 22 juin 2007⁶. Les objectifs de qualité des eaux réceptrices peuvent conduire à adopter des qualités de rejet supérieures à ces valeurs et ainsi des traitements appropriés.

⁶ Arrêté du 22 juin 2007 relatif à la collecte, au transport et au traitement des eaux usées des agglomérations d'assainissement ainsi qu'à la surveillance de leur fonctionnement et de leur efficacité et aux dispositifs d'assainissement non collectif recevant une charge brute de pollution organique supérieure à 1,5 kg/j de DBO₅.

Tableau V : Performances épuratoires minimales s'appliquant aux rejets de STEP en application de l'arrêté du 22 juin 2007.

Paramètres	DCO	DBO ₅	MES	NTK	N-NH ₄ ⁺	NGL en N	PT
<i>Performance minimale des STEP (mg/L ou %) (arrêté du 22 juin 2007)</i>							
CAPACITE INFÉRIEURE OU ÉGALE A 2000 ÉQUIVALENTS HABITANTS (EH) (ne s'applique pas aux dispositifs mettant en œuvre une épuration par infiltration)							
	rendement ≥ 60 %	≤ 35 mg/L ou rendement ≥ 60 %	rendement ≥ 50 %				
CAPACITE SUPÉRIEURE A 2 000 EH							
2000 à 10000 EH inclus		≤ 25 mg/L ou rendement ≥ 70 %					
> 10000 EH		≤ 25 mg/L ou rendement ≥ 80 %	≤ 35 mg/L (1) ou rendement ≥ 90 %				
> 10000 EH avec rejet en <u>zone sensible</u> à l'eutrophisation (Obligation de mettre en place un traitement de la pollution azotée et/ou phosphorée)	≤ 125 mg/L ou rendement ≥ 75 %					valeurs à respecter en moyenne annuelle * 10000 à 100000 EH inclus ≤ 15 mg/L ou rendement ≥ 70 % * > 100000 EH : ≤ 10 mg/L ou rendement ≥ 70 %	Valeurs à respecter en moyenne annuelle * 10000 à 100000 EH inclus ≤ 2 mg/L ou rendement ≥ 80 % * > 100000 EH : ≤ 1 mg/L ou rendement ≥ 80 %

(1) cette valeur est fixée à 150 mg/L pour un rejet issu de bassin de lagunage dans le milieu naturel.

Par ailleurs, outre le carbone, l'azote et le phosphore qui sont retrouvés majoritairement dans les eaux résiduaires urbaines, les eaux usées peuvent également contenir divers micropolluants. La composition des eaux usées en micropolluants à l'entrée de la station est par nature étroitement liée à la nature du bassin versant de collecte des eaux usées ; les apports peuvent être directs (établissements industriels raccordés sur le réseau, effluents urbains domestiques, *etc.*) ou indirects (ruissellement, drainage, retombées atmosphériques, *etc.*).

Les informations sur les concentrations en micropolluants dans les eaux résiduaires urbaines et leurs flux à l'entrée de la STEP, leur élimination par les filières de traitement des eaux usées, leurs concentrations rejetées dans le milieu récepteur sont, à ce jour, partielles et relativement récentes. La surveillance des STEP porte en effet classiquement sur les paramètres de suivi de la pollution carbonée, azotée ou phosphorée et des débits (arrêté du 22 juin 2007).

La Directive cadre européenne sur l'eau (DCE)⁷, fixe comme objectif aux États membres l'atteinte des bons états écologique et chimique des différents milieux aquatiques notamment en réduisant les rejets des substances dangereuses et en supprimant à termes les rejets des substances dangereuses prioritaires. En France, 66 % des masses d'eau superficielles (lac, réservoir, rivière, fleuve ou canal, *etc.*) devront atteindre le bon état d'ici 2015. Même si la DCE ne vise pas réglementairement les rejets de STEP, ceux-ci participent à l'amélioration de l'état chimique des masses d'eau. Dans ce contexte, la circulaire du 29 septembre 2010⁸ a introduit l'obligation de suivi de divers micropolluants dans les rejets des STEP de plus de 10000 EH. Les données acquises devraient permettre de mieux estimer les concentrations et flux en micropolluants rejetés par les gros ouvrages de traitement des eaux usées. Cette circulaire s'inscrit dans le champ des développements techniques et réglementaires visant globalement à limiter l'émission des rejets en micropolluants vers le milieu naturel⁹.

En France, deux études principales ont permis de quantifier différents micropolluants dans les rejets des STEP :

- Action de Recherche et réduction des substances dangereuses pour le milieu aquatique (RSDE1), initiée par le Ministère en charge de l'Environnement avec l'appui technique de l'INERIS

Menée entre 2003 et 2007, et publiée en 2009 (INERIS, 2009), cette action dite RSDE1 a inventorié, dans les rejets aqueux, 106 substances individuelles dangereuses pour le milieu aquatique. Elles sont, pour la majorité d'entre elles, visées par la directive 76/464/CEE concernant la pollution des eaux par les substances dangereuses ou la directive cadre sur l'eau 2000/60/CE.

Il ressort des analyses menées sur 113 STEP réparties sur le territoire métropolitain que de nombreuses substances dangereuses transitent par les STEP et que leurs effluents sont à l'origine de leur émission vers le milieu aquatique. Sur les 106 substances recherchées, 75 ont été quantifiées au moins une fois dans les rejets. En moyenne, 7 substances ont été quantifiées par effluent de sortie de STEP.

Plusieurs contaminants chimiques ont été retrouvés de façon très ubiquitaire dans les effluents (certains métaux comme le zinc, le cuivre et le plomb, des phtalates et des phytopharmaceutiques

⁷ Directive 2000/60 CE du Parlement européen et du Conseil du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau. Journal officiel des Communautés européennes n°L327 du 22 décembre 2000 : 1-72.

⁸ DEB (2010). Circulaire du 29/09/10 relative à la surveillance de la présence de micropolluants dans les eaux rejetées au milieu naturel par les stations de traitement des eaux usées. BO/MEEDDM n°2010/21 du 25 novembre 2010 – NOR : DEVO1022584C.

⁹ Plan micropolluants 2010-2013, plan national sur les résidus de médicaments dans l'eau de 2011, *etc.*

comme le diuron). L'essentiel des flux en sortie des STEP est composé de métaux, de composés organiques halogénés volatils (COHV) et de phtalates. Concernant les phtalates, le rapport signale la possibilité que les flux de Di(2-ethylhexyl)phtalate (DEHP) soient surestimés du fait de la contamination du flaconnage des échantillons.

Les abattements entre l'entrée et la sortie de la filière de traitement, calculés sur 41 STEP, sont en moyenne assez élevés pour la plupart des contaminants (≥ 80 % notamment pour les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et COHV analysés). La volatilité de certaines substances et/ou leur potentiel d'adsorption sur les matières en suspension (puis accumulation dans les boues après décantation) expliquent vraisemblablement les abattements constatés, compte tenu du temps de séjour des effluents dans les STEP. L'étude souligne par ailleurs la forte variabilité du rendement épuratoire pour la plupart des substances étudiées.

En outre, cette étude a mis en évidence la nécessité d'améliorer les performances analytiques pour la quantification des substances dangereuses dans les effluents de STEP. En effet, une grande disparité des limites de quantification (LQ) a été relevée entre les 22 laboratoires impliqués, rendant difficile la comparaison des données au niveau national. Des LQ élevées peuvent conduire à sous-estimer le flux de certains contaminants dans les EUT.

- Programme de recherche sur l'Analyse de Micropolluants Prioritaires et Emergents dans les Rejets et les Eaux Superficielles (AMPERES) :

Ce programme de recherche, associant plusieurs équipes de recherche et coordonné par l'Irstea de Lyon, mené entre 2006 et 2009, avait pour objectif de déterminer la composition en micropolluants des eaux usées brutes et traitées puis de quantifier les performances épuratoires de douze filières « eau » différentes vis-à-vis de ces contaminants.

En premier lieu, un travail de hiérarchisation a permis de sélectionner une centaine de substances (Coquery *et al.*, 2011 ; Martin Ruel *et al.*, 2011) : des métaux, des composés organiques volatils (COV), des alkylphénols, des HAP, des pesticides, divers composés chlorés et bromés, des phtalates ainsi que divers résidus de médicaments (33) et des hormones (5).

Les travaux ont consisté également à développer et à valider des méthodologies et outils d'échantillonnage et d'analyse des substances prioritaires (substances de la DCE) et émergentes (médicaments et hormones) dans les eaux et les boues de STEP.

Si cette étude a porté sur 21 STEP, choisies de façon à être représentatives du fonctionnement des filières retenues, il est à noter toutefois que les concentrations en micropolluants analysés ne sont pas totalement représentatives de la pollution chimique des EUT au niveau national.

Le tableau VI présente les gammes de concentrations moyennes identifiées en sortie de STEP (traitement secondaire de type boues activées), pour l'ensemble des substances quantifiées.

Tableau VI : Niveau de concentrations des substances détectées et quantifiées en sortie de traitement secondaire de type boues activées (d'après Martin Ruel *et al.*, 2011).

	Concentration comprise entre 0,001 et 0,01 µg/L	Concentration comprise entre 0,01 et 0,1 µg/L	Concentration comprise entre 0,1 et 1 µg/L	Concentration comprise entre 1 µg/L et 10 µg/L	Concentration supérieure à 10 µg/L
COV		Dichlorométhane Trichloroéthylène	Trichlorométhane	Tétrachloréthylène	
Pesticides	Simazine	Hexachlorocyclohexane Dieldrine Chlorpyrifos Atrazine Monobutylétain	Glyphosate Diuron	AMPA	
Composés organochlorés		Trichlorobenzène			
HAP		Fluoranthène Naphtalène			
Phtalates				DEHP	
Chlorophénols		Pentachlorophénol Tétrachlorophénol 2-bromophénol	Dichlorophénol Trichlorophénol 2,4-dibromophénol 2,4,6-tribromophénol		
Alkylphénols		4-tert-butylphénol 4-t-OP (octylphénols)	4-NP (nonylphénols) 4-NP1EO (nonylphénols polyéthoxylates)	4-NP2EO (nonylphénols polyéthoxylates) 4-NP1EC (acides alkylphénol-polyéthoxyphénoxyacétiques)	
Métaux		Mercuré Cadmium	Cobalt Argent Etain Antimoine	Vanadium Chrome Nickel Arsenic Sélénium Molybdène Plomb Uranium	Lithium Bore Aluminium Titane Fer Cuivre Zinc Rubidium Baryum
Hormones	17β-estradiol Ethinyloestradiol	Estrone			
Bétabloquants	Timolol Bêtaxolol	Oxprénolol Métoprolol Nadolol Bisoprolol	Propranolol Acébutolol Aténolol Sotalol		
Antibiotiques		Roxithromycine	Sulfaméthoxazole		
Antidépresseurs	Doxépine Imipramine	Diazépam Nordiazépam Amitriptyline Alprazolam Bromazépam Fluoxétine	Carbamazépine		
Analgésiques		Naproxène	Paracétamol Kétoprofène Aspirine Diclofénac	Ibuprofène	
Bronchodilatateurs	Terbutaline	Salbutamol			
Autres		Benzothiazole	Caféine Théophylline Tributylphosphate		

Dans les eaux usées brutes, 6 substances prioritaires ont été quantifiées à des fréquences supérieures à 97 % (Coquery *et al.*, 2011) : le 4t-nonylphénol, le DEHP et 4 métaux (mercure, cadmium, plomb et nickel). Les métaux, les COV, les alkylphénols, les pesticides et certains HAP légers sont des familles de micropolluants fréquemment quantifiées. Dans le cadre de cette étude,

les fréquences de quantification, en entrée de STEP, sont nettement supérieures à celles qui sont relevées dans l'étude RSDE1 (notamment pour les métaux), grâce à une amélioration des limites de quantification des méthodes analytiques mises en œuvre. Les concentrations mesurées en entrée de STEP, dans le cadre de l'étude AMPERES, restent globalement faibles ; la majorité des micropolluants présente des concentrations moyennes inférieures à 1 µg/L. Les concentrations moyennes les plus élevées (supérieures à 1 µg/L) sont observées pour le DEHP, certains COV (dichlorométhane, trichlorométhane, tetrachloroéthylène), des retardateurs de flamme (décabromodiphényléther, tribromodiphényléther), les C10-13 chloroalcanes, le triclosan, les alkylphénols et presque tous les métaux.

Le passage dans une STEP équipée d'un traitement secondaire se traduit généralement pour les substances de l'annexe X de la DCE par une réduction significative des concentrations par rapport aux eaux usées brutes (modification de la classe de concentration et/ou de fréquence de quantification). Les concentrations moyennes de la plupart de ces micropolluants sont inférieures à 0,1 µg/L. Seules 2 substances sont retrouvées à des concentrations supérieures à 1 µg/L : le DEHP et le nickel. Concernant les autres substances (hors DCE), des concentrations moyennes supérieures à 1 µg/L ont fréquemment été mesurées pour plusieurs métaux, des alkylphénols et l'AMPA.

3.3.1.2 Sélection des substances d'intérêt

La sélection des substances à prendre en considération dans le cadre de la présente évaluation des risques sanitaires se heurte aux difficultés suivantes :

- **Diversité des contaminants chimiques** susceptibles d'être présents dans un réseau d'assainissement et, par conséquent dans les effluents de STEP. Les études montrent une présence de plusieurs micropolluants simultanément (cf. AMPERES ou RSDE1). De même, la mise sur le marché régulière de nouvelles molécules et l'arrêt de la commercialisation de certaines autres peuvent modifier la composition dans le temps des effluents.
- **Diversité des systèmes d'assainissement concernés** : le parc d'assainissement collectif français couvre des situations variées : STEP s'inscrivant dans un contexte rural, urbain ou mixte, STEP recevant majoritairement des eaux d'origine industrielle. La nature et l'importance du tissu industriel/artisanal/commercial sur un territoire, l'occupation du sol et les pratiques associées sont autant d'éléments générateurs de cette diversité.
- **Données disponibles, sur les concentrations en micropolluants en sortie de STEP et leurs effets sur la santé.** Compte tenu des difficultés d'analyses des nombreux micropolluants dans les eaux usées, la question de la qualité des données et de la comparaison possible de plusieurs jeux de données se pose rapidement (cf. limites analytiques et incertitudes des mesures ; matrice analysée). La représentativité des données acquises est également délicate à appréhender, d'une part vis-à-vis du parc de STEP français, d'autre part au regard de la variabilité dans le temps des concentrations relevées sur une même STEP.

3.3.1.2.1 Critères de sélection des contaminants chimiques

Les clés de sélection peuvent être multiples, selon l'axe d'entrée retenu. Dans le cadre de ce rapport, les paramètres suivants ont été considérés :

- composition des EUT : sont retenues prioritairement les substances qui ont été quantifiées, dans les études AMPERES et/ou RSDE1 ;
- micropolluants faiblement volatils : constante de Henry < 1 Pa.m³/mol ou pression de vapeur < 100 Pa si la constante de Henry n'est pas disponible ;
- toxicité pour l'Homme des substances :
 - substances figurant dans la liste de substances cancérogènes, mutagènes, toxiques pour la reproduction (CMR) ayant fait l'objet d'un classement

européen harmonisé¹⁰. Les CMR avérés sont classés en catégorie 1A ou 1B, et portent une étiquette avec la mention d'avertissement « danger », une mention de danger spécifique (H350, H340 ou H360) et le pictogramme « Danger pour la santé ». Les CMR suspectés sont classés en catégorie 2, portent une étiquette avec la mention d'avertissement « Attention », une mention de danger spécifique (H351, H341 ou H361) et le pictogramme « Danger pour la santé » ;

- substances ayant fait l'objet d'un classement par le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC). Les substances classées dans les groupes 1 sont cancérogènes pour l'Homme, celles classées dans le groupe 2A sont probablement cancérogènes pour l'Homme, celles classées en 2B sont peut être cancérogènes pour l'Homme, celles classées dans le groupe 3 sont inclassables quant à leur cancérogénicité pour l'Homme.
- la disponibilité de VTR à seuil d'effets ou de VTR sans seuil d'effets correspondant à un excès de risque unitaire (ERU) pour la voie respiratoire ou le contact cutanéomuqueux.

Il est à noter que pour les micropolluants quantifiés dans les EUT, **très peu de VTR existent pour les voies d'expositions retenues**. Ainsi, la disponibilité des VTR est un critère discriminant dans le choix des contaminants chimiques.

3.3.1.2.2 Contaminants chimiques sélectionnés

Sur la base des études AMPERES et RSDE1, dix contaminants appartenant à quatre familles chimiques ont été sélectionnées et sont répertoriées dans le tableau VII.

Des principes actifs de médicaments, notamment des antidépresseurs comme la carbamazépine et des anti-inflammatoires non stéroïdiens (AINS) comme l'ibuprofène, ont été quantifiés avec des concentrations parfois importantes en sortie de STEP. Cependant, il n'existe aucune VTR pour la voie respiratoire ou le contact cutanéomuqueux. Par ailleurs, excepté les bronchodilatants et certains AINS comme le kétoprofène ou le diclofénac, l'administration de ces molécules se fait par voie orale, ce qui ne permet pas de comparer les concentrations retrouvées en sortie de STEP avec leurs posologies minimales.

¹⁰ Règlement (CE) n°1272/2008 modifié du Parlement Européen et du Conseil du 16 décembre 2008 relatif à la classification, à l'étiquetage et à l'emballage des substances et des mélanges, modifiant et abrogeant les directives 67/548/CEE et 1999/45/CE et modifiant le règlement (CE) n°1907/2006.

Tableau VII : Substances sélectionnées pour l'évaluation des risques sanitaires.

Familles	Substances	N° CAS	Concentrations moyennes retrouvées en sortie de STEP (en µg/L)		Classification		Constante de Henry (en Pa.m ³ /mol)	Pression de vapeur (en Pa)	Existence d'une VTR à seuil d'effet	Existence d'une VTR sans seuil d'effet (ERU)
			Ampères	RSDE1	CIRC	Règlement CLP				
Pesticides	Hexachlorocyclohexane	58-89-9	0,06	0,033 (avec un écart type de 0,04)		Acute tox. 3(*) H301 Acute tox. 4(*) H332, H312 STOT RE 2(*) H373	0,35 (à 25°C)			Oui
	Dieldrine	60-57-4	0,01		3	Carc. 2 H351 Acute tox.1 H310 Acute tox. 3(*) H301		4,13*10 ⁻⁵	Oui	Oui
Phtalates	DEHP	117-81-7	2,2 (avec un écart type de 1.8)	32,9 (avec un écart type de 135)	2B	Repr.1B-H360 FD	4,43 (à 20°C)		Oui	
Chlorophénols	Pentachlorophénol	87-86-5	0,05	0,057 (avec un écart type de 0.069)	2B	Carc. 2-H351 Acute tox. 2(*) H330 Acute tox. 3(*) H311-H301 Eye irrit.2 H319 STOT SE 3 H335 Skin Irrit.2 H315	0,26 (calc)	41-51*10 ⁻⁴ (à 20°C)		Oui
Métaux	Chrome métallique	7440-47-3	2,7 (avec un écart type de 4,3)	157,6 (avec un écart type de 213)	3			10 ⁻⁶ (à 844°C)		Oui
	Chrome (III)	16065-83-1			3					
	Chrome (VI)	18540-29-9			1					
	Nickel	7440-02-0	5,2 (avec un écart type de 5,1)	14,327 (avec un écart type de 14)	2B	Carc. 2 H351 Skin Sens.1 H317		0 à 20°C	Oui	Oui
	Cobalt et composés du cobalt	7440-48-4	0,47 (avec un écart type de 0,11)		2B	Resp. Sens.1 H334 Skin Sens.1 H317			Oui	
	Cobalt métallique associé au carbure de tungstène	7440-48-4 12070-12-1			2A	Resp. Sens.1 H334 Skin Sens.1 H317				
	Cobalt métallique sans carbure de tungstène	7440-48-4			2B	Resp. Sens.1 H334 Skin Sens.1 H317				
Sulfate de cobalt et autres sels de cobalt	10026-24-1	2B								

	Arsenic	7440-38-2	1,3 (avec un écart type de 0,72)	2,165 (avec un écart type de 1,842)	1	Acute tox. 3(*) H331-H301			Oui	Oui
	Cadmium	7440-43-9	0,06 (avec un écart type de 0,05)	5,5 (avec un écart type de 6,364)	1	Carc.1B H350 Muta.2 H341 Repr. 2 H361 fd Acute tox. 2(*) STOT RE1 H330		14,8	En cours Anses	
	Plomb	7439-92-1	1,5 (avec un écart type de 1,8)	9,736 (avec un écart type de 13,285)	2B				En cours Anses	

Classification du CIRC

- Groupe 1 : l'agent est cancérogène pour l'Homme
- Groupe 2A : l'agent est probablement cancérogène pour l'Homme
- Groupe 2B : l'agent est peut être cancérogène pour l'Homme
- Groupe 3 : l'agent est inclassable quant à sa cancérogénicité pour l'Homme

Classification de l'Union européenne (Règlement CLP)

- Acute tox. : toxicité aigue
- Skin Sens. 1 : Sensibilisation cutanée
- H301 : Toxique en cas d'ingestion
- H310 : Mortel par contact cutané
- H312 : Nocif par contact cutané
- H315 : Provoque une irritation cutanée
- H317 : Peut provoquer une allergie cutanée
- H319 : Provoque une sévère irritation des yeux
- H330 : Mortel par inhalation
- H331 : Toxique par inhalation
- H332 : Nocif par inhalation
- H334 : peut provoquer des symptômes allergiques ou d'asthme ou des difficultés respiratoires par inhalation
- H335 : peut irriter les voies respiratoires
- Muta.2 - H341 : Susceptibles d'induire des anomalies génétiques
- Carc.1B - H350 : Peut provoquer le cancer
- Carc. 2 - H351 : Susceptible de provoquer le cancer
- Repr.1B - H360 : Peut nuire à la fertilité ou au fœtus
- Repr.2 - H361 : Susceptible de nuire à la fertilité ou au fœtus
- H373 : Risque présumé d'effets grave pour les organes à la suite d'exposition répétée ou prolongée

3.3.2 Évaluation des expositions

L'évaluation des risques sanitaires a été menée pour un *scenario* dit du « pire cas ». Ainsi les hypothèses suivantes ont été fixées :

- la REUT a lieu sur 4 mois entre avril et octobre selon les cultures et les régions ;
- l'irrigation a lieu toujours à la même plage horaire ;
- les populations retenues sont exposées à chaque irrigation.

Les durées d'arrosage étant différentes, l'irrigation des cultures et l'arrosage des golfs et espaces verts ont été traités séparément.

Concernant l'irrigation des cultures, seule la culture du maïs a été retenue pour la suite de l'expertise compte tenu de ses besoins en eau et du temps d'irrigation nécessaire, ce qui correspondrait pour un individu à une situation d'exposition du « pire cas ».

3.3.2.1 Populations exposées

3.3.2.1.1 Irrigation des cultures / Arrosage des espaces verts

Les activités suivantes ont été ciblées :

- travail sur les cultures et dans les espaces verts pendant et après l'aspersion (surveillance, entretien, récolte, etc.) ;
- travail au niveau des asperseurs et des appareils reliés aux asperseurs ;
- passage à proximité des terrains irrigués pendant l'aspersion ;
- résidence à proximité des terrains irrigués ou arrosés ;
- utilisation des terrains après aspersion (terrains de sport, espaces verts).

Pour rappel, l'arrêté du 2 août 2010 interdit l'aspersion d'EUT à l'intérieur des serres, cette éventualité n'a donc pas été prise en compte dans la suite de l'expertise.

Cinq catégories de population peuvent être exposées aux EUT :

- les travailleurs ;
- les passants ;
- les résidents ;
- les utilisateurs des espaces verts (parcs) ;
- les sportifs (stades, golfs).

En l'absence de VTR spécifique pour les enfants, aucune distinction entre les catégories de population (enfants, adultes) n'a été faite.

3.3.2.1.2 Lavage des voiries

Deux catégories de population peuvent être exposées :

- les travailleurs ;
- les passants.

3.3.2.2 Voies d'exposition retenues

Les voies d'exposition possibles sont :

- Voie respiratoire

Selon la taille des particules d'eau émises par les asperseurs, celles-ci peuvent pénétrer plus ou moins profondément dans l'arbre respiratoire en fonction du mode de respiration, nasale ou orale.

Toutes les catégories de population peuvent être exposées par voie respiratoire aux EUT, que ce soit directement ou indirectement par remise en suspension de particules. Cependant, conformément aux hypothèses émises dans le paragraphe 3.2, seule l'exposition directe sera prise en compte.

De ce fait, seuls les travailleurs, les passants, les résidents, et les utilisateurs des espaces verts sont considérés comme pouvant être exposés de manière directe par voie respiratoire aux EUT.

➤ Voie cutanéomuqueuse

Lors de l'aspersion d'EUT, les passants et les résidents peuvent être en contact direct avec les EUT chargées en polluants chimiques, par dépôt de particules d'eaux sur le corps.

Toutes les catégories de population peuvent être exposées indirectement par contact avec une surface souillée par les EUT.

En raison du manque de données toxicologiques pour cette voie d'exposition, la quantification du risque sanitaire n'a pu être réalisée.

3.3.2.3 Paramètres humains d'exposition et budget espace temps

Selon l'usage ciblé, les caractéristiques de l'asperseur (débit, angle du jet, vitesse de rotation, apogée) diffèrent, de même que le volume d'air occupé par le nuage de particules d'eaux produites. L'évaluation du risque a donc été faite pour des asperseurs utilisés pour l'irrigation des cultures, l'arrosage des espaces verts et des golfs.

Trois asperseurs représentatifs de ces usages ont été retenus :

- canon Twin 101+ pour l'irrigation du maïs ;
- turbine Rainbird 5000+ pour l'arrosage des espaces verts ;
- turbine Eagle 750 pour l'arrosage des golfs.

3.3.2.3.1 Irrigation des cultures et arrosage des espaces verts

La suite de l'expertise tient compte des hypothèses générales suivantes schématisées dans la figure 8 :

- les *scenarii* d'exposition sont valables pour UN seul asperseur et son temps de fonctionnement habituel et en l'absence de vent ;
- les populations exposées sont situées sous le jet d'aspersion dans une couronne de terrain comprise entre 90 % (R_2) et 100 % (R_1) de la portée ;
- les durées d'exposition varient d'une population à l'autre et d'un type de culture à l'autre et sont tirées du Exposure Factors Handbook (2010) ;
- les populations exposées sont susceptibles d'inhaler des particules d'eau de taille inférieure à 150 μm contenues dans le nuage de gouttelettes de la bande d'exposition.

Les hypothèses sont maximalistes, en particulier pour les résidents, puisqu'il est interdit d'arroser en dehors des parcelles cibles.

L'ensemble des paramètres humains d'exposition est synthétisé dans le tableau VIII.

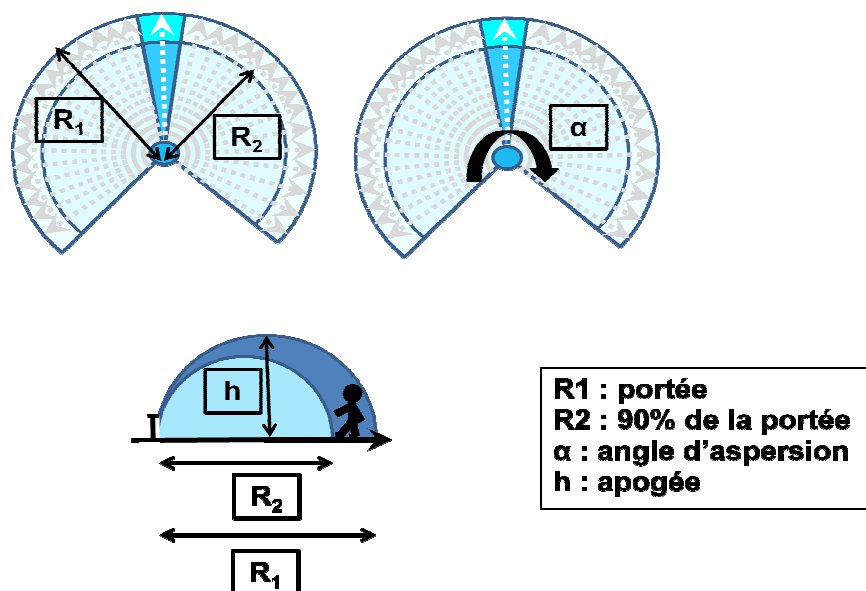


Figure 8 : Schémas généraux d'exposition.

1. Passants

Les passants inhalent le volume de particules d'eaux de taille inférieure à 150 μm dispersé par l'asperseur dans la couronne d'exposition, alors qu'ils passent directement sous le jet. Pour déterminer la durée d'exposition, il a été considéré que les passants longeaient un terrain carré d'une surface de un hectare et marchaient à une vitesse de 4 km/h, ainsi la durée pour parcourir 100 mètres est de 1 minute.

Ils sont exposés pendant une minute les jours d'arrosage.

2. Résidents

Les résidents inhalent le volume de particules d'eaux de taille inférieure à 150 µm dispersé par l'asperseur lors d'un passage du jet. Cependant, ils sont exposés pendant la durée entière de l'arrosage ce qui correspond à 2 secondes d'exposition par minute d'arrosage.

Pour calculer la durée d'exposition journalière des résidents lors de l'irrigation des cultures, l'utilisation du nombre d'heures passées à l'extérieur par jour (référence dans le « exposure handbook » de l'US EPA) a été préférée puisque la durée d'arrosage de la culture choisie était nettement supérieure à la durée passée à l'extérieur.

Les durées hebdomadaires d'exposition correspondent au nombre d'arrosages par semaine.

3. Travailleurs

Seules les personnes travaillant dans les espaces verts ont été prises en compte, car il a été considéré que pour l'irrigation des cultures, le travailleur n'était pas présent dans le champ au moment de l'aspersion.

Concernant leur durée d'exposition par voie respiratoire, il a été considéré qu'ils étaient exposés le temps de fonctionnement d'un seul asperseur, même si le GT est conscient que les travailleurs peuvent être exposés aux EUT *via* plusieurs asperseurs. Il n'a pas été jugé réaliste de considérer que les travailleurs sont exposés par inhalation aux particules d'EUT pendant leur journée de travail.

Aussi, les modalités d'exposition des travailleurs par voie respiratoire correspondraient à celles des utilisateurs des espaces verts et des sportifs si ceux-ci étaient amenés à être présents sur le terrain au moment de l'aspersion.

Pour rappel, bien que seule la voie respiratoire ait été prise en compte, il faut noter que les travailleurs sont davantage exposés aux EUT par contact cutanéomuqueux, et notamment par manutention, que par voie respiratoire.

En effet, ils sont exposés aux EUT lorsqu'ils :

- **circulent sur les surfaces irriguées dès la fin de l'arrosage ;**
- **manipulent tout objet ou pièce d'équipement (dont les tuyaux) atteint par des EUT ;**
- **manipulent un asperseur et/ou les pièces associées, pour les régler, les vérifier, les réparer ou pour toute autre activité de service et d'entretien, etc.**

Le tableau VIII résume les paramètres humains d'exposition et les budgets espaces temps retenus pour l'irrigation des cultures et l'arrosage des espaces verts et des golfs.

Tableau VIII : Scenarii d'exposition retenus pour l'irrigation des cultures (maïs) et l'arrosage des espaces verts et des golfs.

Population		Passants	Résidents	Travailleurs
T (h/j)	Cultures	0,016 (1 minute par jour)	0,075 (2 secondes toutes les minutes pendant les 2,27h passées dans le jardin, handbook exposure – 2010)	-
	Espaces verts		0,011 (2 secondes toutes les minutes pendant les 0,33h de fonctionnement d'un asperseur)	0,33 (temps de fonctionnement d'un asperseur)
	Golfs		0,0083 (2 secondes toutes les minutes pendant les 0,25h d'arrosage d'un golf, audition de la FFG)	0,25 (durée d'arrosage d'un golf, audition de la FFG)
t _j	Cultures	0,00069	0,0031	-
	Espaces verts		0,00046	0,01375
	Golfs		0,00035	0,0104
T _j (j/an)	Cultures	20	20	-
	Espaces verts	100	100	100
	Golfs	140	140	140
F	Cultures	0,054	0,054	-
	Espaces verts	0,273	0,273	0,273
	Golfs	0,383	0,383	0,383
DE (années)		70	70	41
TP (années)		85		

T Durée d'exposition journalière en heure par jour

t_j Fraction du temps quotidien d'exposition aux eaux usées traitées calculée comme suit : T/24 (sans unité)

T_j Durée d'exposition annuelle en jour par an

F Fraction de temps annuelle d'exposition calculée comme suit : T_j/365 (sans unité)

DE Nombre d'années d'exposition

TP Temps de pondération (années)

Afin de déterminer les durées d'exposition annuelle, le groupe de travail s'est basé sur les besoins annuels en eaux du maïs et du gazon et les apports d'eaux journaliers afin d'obtenir le nombre de jours d'arrosage pendant 4 mois (Deumier *et al.*, 2006).

3.3.2.3.2 Lavage des voiries

Aucune donnée d'exposition n'est disponible.

Cependant, les travailleurs, notamment les opérateurs de lance, seraient particulièrement exposés aux particules d'EUT par voie respiratoire.

3.3.3 Identification et sélection des valeurs toxicologiques de référence (VTR)

3.3.3.1 Méthode

Cette partie est uniquement consacrée à l'exposition par voie respiratoire puisqu'aucune VTR pour le contact cutané-muqueux n'est disponible.

La démarche d'évaluation des risques sanitaires nécessite la recherche de VTR afin de pouvoir caractériser les risques liés à l'exposition aux polluants. Ces valeurs traduisent la relation entre les doses ou niveaux d'exposition auxquels les personnes peuvent être exposées et l'incidence ou la gravité des effets. Deux types de VTR sont disponibles : les VTR « à seuil d'effet » (pour lesquelles les effets surviennent au-delà d'un certain seuil) et les VTR « sans seuil d'effet » (pour lesquelles des effets peuvent apparaître quelle que soit la dose et correspondant à un ERU).

Divers organismes tels que l'Anses, l'US EPA, l'Agency for toxic substances and disease registry (ATSDR), Santé Canada, le National institute for public health and environment (RIVM), l'Office of environmental health hazard assessment (OEHHA), l'Organisation mondiale de la santé (OMS), ont construit des VTR.

Afin de retenir la VTR la plus appropriée aux *scenarii* d'exposition mentionnés ci-dessus, à savoir une exposition chronique par inhalation, les critères de sélection suivants ont été pris en compte (figure 9).

Les VTR construites par l'Anses, lorsqu'elles existent, ont été retenues. Dans le cas contraire, la VTR a été choisie en fonction de :

- la transparence :
 - disponibilité d'un document source expliquant et justifiant la détermination de la valeur de référence ;
- l'argumentation de la construction de la VTR :
 - année d'élaboration de la valeur de référence ;
 - effet critique, choix de l'étude source, dose critique, mécanismes d'action, hypothèses de construction, modèle utilisé, facteurs d'incertitude ;
 - qualité scientifique des données en privilégiant les données humaines aux données animales ;
 - adéquation des voies d'exposition, des durées d'exposition et forme chimique.

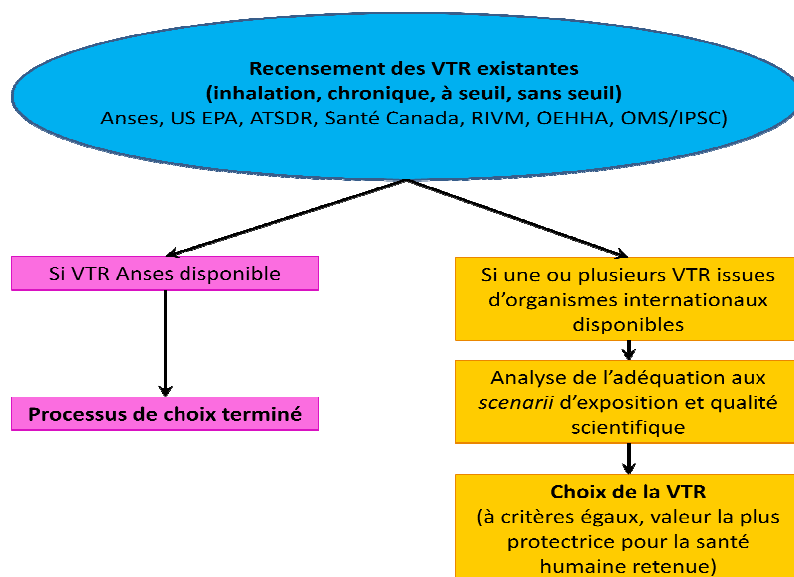


Figure 9 : Démarche pour le choix des valeurs toxicologiques de référence.

3.3.3.2 Résultats

En fonction des critères détaillés ci-dessus, les VTR sélectionnées sont présentées dans le Tableau IX. Le détail de cette sélection est disponible en annexe 8.

Tableau IX : Valeurs toxicologiques de référence et excès de risque unitaires retenus pour l'ERS.

Substances	Effet critique	Nature des effets	VTR (source)
Hexachlorocyclohexane	Carcinome hépatocellulaire	Sans seuil	$3,1 \cdot 10^{-4}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ⁻¹ (OEHHA, 2005)
Dieldrine	Carcinome hépatocellulaire	Sans seuil	$4,6 \cdot 10^{-3}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ⁻¹ (US EPA 1993)
DEHP	Carcinome hépatocellulaire	Sans seuil	$2,4 \cdot 10^{-6}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ⁻¹ (OEHHA, 2002)
Pentachlorophénol	Augmentation de l'incidence des tumeurs du foie et des glandes surrénales	Sans seuil	$5,1 \cdot 10^{-6}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ⁻¹ (OEHHA, 2009)
Chrome	Cancer du poumon	Sans seuil	$1,2 \cdot 10^{-2}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ⁻¹ (OEHHA, 2000)
Nickel	Effets sur les poumons (inflammation et fibrose)	Sans seuil	$2,6 \cdot 10^{-4}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ⁻¹ (OEHHA, 2001)
Cobalt	Diminution de la capacité respiratoire	A seuil	10^{-4} $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ATSDR, 2004)
Arsenic	Cancer du poumon	Sans seuil	$4,3 \cdot 10^{-3}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ⁻¹ (US EPA, 1998)
Cadmium	Effets cancéro pulmonaires	A seuil	$0,31$ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Anses, 2012)
Plomb	Tumeurs rénales	Sans seuil	$1,2 \cdot 10^{-5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ⁻¹ (US EPA, 1998)

Concernant le DEHP, seule une valeur d'ERU, élaborée par l'OEHHA en 2002, était disponible. Or à ce jour, le potentiel cancérogène du DEHP n'ayant pas été démontré, le GT n'a pas retenu cette valeur pour la suite de l'expertise.

3.3.4 Caractérisation des risques sanitaires

3.3.4.1 Irrigation des cultures, arrosage des espaces verts et des golfs

3.3.4.1.1 Méthode

Les limites analytiques de l'étude RSDE1 et de représentativité des STEP françaises dans l'étude AMPERES suggèrent que les concentrations en micropolluants sont variables et ne sont pas représentatives de l'ensemble des EUT métropolitaines.

De ce fait, plutôt que de calculer le risque sanitaire pour chacune des dix substances sélectionnées (cf. paragraphe 3.3.1.2.2), le GT a jugé plus pertinent de calculer les concentrations maximales théoriques dans les EUT à ne pas dépasser, pour chaque catégorie de population et pour un quotient de danger pris égal à 1 lorsque la substance est à seuil d'effet et un risque acceptable de 10^{-5} lorsque la substance est sans seuil d'effet.

Pour chaque substance, la concentration maximale théorique à ne pas dépasser a ensuite été comparée à la concentration moyenne retrouvée dans les études AMPERES et RSDE1 à laquelle a été ajouté 2 fois l'écart-type (95^e percentile). Ces concentrations maximales théoriques à ne pas dépasser sont données, pour chaque usage retenu, dans les tableaux XIII à XXII.

Le risque de survenue d'un effet sanitaire néfaste peut être calculé pour un effet à seuil ou un effet sans seuil de dose selon les équations suivantes (tableau X).

Tableau X : Équations utilisées pour le calcul des risques.

Effets	Risques	Commentaires
à seuil de dose	$Q_D = \frac{CI}{VTR}$	Si $Q_D < 1$, survenue d'un effet toxique peu probable
sans seuil de dose	$ERI = CI \times ERU$	Le risque est considéré comme acceptable pour un ERI de 10^{-5}

Où :

Q_D Quotient de danger

VTR ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Valeur toxicologique de référence
CI ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Concentration inhalée
ERI	Excès de risque individuel
ERU ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ⁻¹	Excès de risque unitaire

Pour connaître les concentrations inhalées (CI) des substances chimiques, il convient d'utiliser les formules présentées dans le tableau XI pour des substances susceptibles d'engendrer un risque à seuil de dose ou sans seuil de dose et pour des durées d'exposition chronique.

Tableau XI : Equations utilisées pour le calcul des concentrations inhalées.

Exposition	Concentration inhalée
Chronique à seuil de dose	$C_{i\text{air}} \times t_j \times F$
Chronique sans seuil de dose	$C_{i\text{air}} \times t_j \times F \times \frac{DE}{TP}$

Où :

$C_{i\text{air}}$	Concentration du micropolluant i dans l'air ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
t_j	Fraction du temps quotidien d'exposition aux eaux usées traitées aspersées (sans unité)
F	Fraction annuelle d'exposition aux eaux usées traitées aspersées (sans unité)
DE	Nombre d'années d'exposition
TP	Temps de pondération (années)

Le calcul des concentrations inhalées par les personnes exposées dépend des concentrations en micropolluants dans l'air.

Afin, de déterminer les concentrations en micropolluants dans l'air, il a été fait comme hypothèse que la quantité de micropolluant dans l'air était égale à la quantité de micropolluant retrouvée dans les particules d'eau, à condition de ne pas considérer les substances volatiles, soit :

$$C_{i\text{air}} \times V_{\text{air}} = C_{i\text{eau}} \times V_{\text{eau}}$$

Avec :

$C_{i\text{air}}$	Concentration du micropolluant dans l'air ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
V_{air}	Volume d'air contenu sous le jet d'aspersion (m^3)

Le volume d'air considéré représente le volume dans lequel l'eau est aspersée lors d'un mouvement d'asperseur. Le volume encadrant le panache d'aspersion est fonction de l'apogée du jet produit, de la portée de l'asperseur et de l'angle d'un jet d'aspersion.

Selon le théorème de Pappus-Guldin, compte tenu de la forme en cloche du panache, le volume d'air à considérer est approché en ne prenant en compte que la moitié du volume représenté par l'apogée h, la portée R_1 de l'asperseur et l'angle α couvert par un jet.

$$V_{\text{air}} = \frac{\alpha}{360} \times \pi^2 \times R_1^2 \times \frac{h}{4}$$

$C_{i\text{eau}}$	Concentration du micropolluant dans la particule de taille inférieure à 150 μm , en prenant comme hypothèse que cette concentration est égale à la concentration en micropolluant dans les eaux usées traitées ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
-------------------	--

V_{eau}	Volume d'eau des particules de taille inférieure à 150 μm ; ce volume d'eau étant calculé à partir du débit de l'asperseur, du temps d'éjection des particules d'eau par la buse d'aspersion dans un volume d'air correspondant à un secteur d'aspersion (cf. figure 8) sur un angle de 7° pour les résidents et de 220° pour les passants et du
------------------	---

pourcentage de particules de taille inférieure à 150 µm contenues dans la bande d'exposition.

Soit $V_{eau} = Q / 3600 \times t_v \times$ proportion des particules de taille inférieure à 150 µm.

Q Débit délivré par l'asperseur (m³/h)

t_v Temps d'éjection des gouttelettes par l'asperseur pour un secteur angulaire donné (seconde)

Pour connaître la quantité de particules d'EUT pouvant être inhalées par un individu, le GT s'est appuyé sur l'étude de Molle *et al.* (2010), en particulier les résultats correspondant au volume d'eau des particules de taille inférieure à 150 µm. Le tableau XII reprend les caractéristiques des asperseurs utilisés pour la suite des calculs.

Tableau XII : Caractéristiques des asperseurs retenus pour l'évaluation des risques sanitaires (résultats tirés de Molle *et al.*, 2010).

		Canon Twin 101+ (Cultures - maïs)	Turbine Rainbird 5000+ (Espaces verts)	Turbine Eagle 750 (Golfs)
Pression	Bar	5,5	4	6,5
Portée (R ₁)	mètres	50,5	14,5	23,5
90 % Portée (R ₂)	mètres	45,45	13,05	21,15
Angle du secteur d'exposition (résident)	degrés	7	7	7
Angle du secteur d'exposition (passant)	degrés	220	360	360
Temps d'éjection	secondes	10	4	5
Hauteur	mètres	10	2	5
Débit	m ³ /h	44,2	0,72	7
% total de particules < 150 µm	Sans unité	0,10	0,43	0,03
V_{eau}	litres	0,1228	0,0034	0,0029

Il est donc obtenu :

- pour les micropolluants à seuil d'effet :

$$C_{ieau} = \frac{VTR}{t_j \times F} \times \frac{\alpha}{360} \times \frac{\pi^2 \times (R_1^2 - R_2^2) \times h/4}{V_{eau}}$$

- pour les micropolluants sans seuil d'effet :

$$C_{ieau} = \frac{ERI}{ERU} \times \frac{\alpha}{360} \times \frac{\pi^2 (R_1^2 - R_2^2)}{V_{eau}} \times \frac{h}{4} \times \frac{Tp}{t_j \times F \times DE}$$

3.3.4.1.2 Résultats

Les concentrations maximales théoriques dans les EUT à ne pas dépasser afin d'éviter la survenue d'effet néfaste sur la santé des populations exposées ont été calculées pour les dix substances (Tableaux XIII à XXI).

Tableau XIII : Concentrations maximales théoriques en cobalt à ne pas dépasser dans les eaux usées traitées.

	Concentrations maximales théoriques en cobalt à ne pas dépasser dans les EUT (en µg/L)			Concentration retrouvées dans les EUT (en µg/L)	
	Passants	Résidents	Travailleurs	Ampères	RSDE1
Cultures	1,66.10 ⁸	1,13.10 ⁶	-	0,69	Absence de données
Espaces verts	3,18.10 ⁷	8,86.10 ⁵	2,96.10 ⁴		
Golfs	1,75.10 ⁸	6,43.10 ⁶	2,16.10 ⁵		

La concentration maximale théorique en cobalt à ne pas dépasser dans les EUT est au minimum 4,3.10⁴ fois supérieure à celle retrouvée dans les analyses réalisées dans le cadre de l'étude AMPERES.

Tableau XIV : Concentrations maximales théoriques en dieldrine à ne pas dépasser dans les eaux usées traitées.

	Concentrations maximales théoriques en dieldrine à ne pas dépasser dans les EUT (en µg/L)			Concentration retrouvées dans les EUT (en µg/L)	
	Passants	Résidents	Travailleurs	Ampères	RSDE1
Cultures	4,40.10 ⁶	2,98.10 ⁴	-	0,01	Absence de données
Espaces verts	8,39.10 ⁵	2,34.10 ⁴	1,33.10 ³		
Golfs	4,63.10 ⁶	1,69.10 ⁵	9,75.10 ³		

La concentration maximale théorique en dieldrine à ne pas dépasser dans les EUT est au minimum 1,3.10⁵ fois supérieure à la concentration retrouvée dans les analyses réalisées dans le cadre de l'étude AMPERES.

Tableau XV : Concentrations maximales théoriques en pentachlorophénol à ne pas dépasser dans les eaux usées traitées.

	Concentrations maximales théoriques en pentachlorophénol à ne pas dépasser dans les EUT (en µg/L)			Concentration retrouvées dans les EUT (en µg/L)	
	Passants	Résidents	Travailleurs	Ampères	RSDE1
Cultures	3,97.10 ⁹	2,69.10 ⁷	-	0,05	0,195
Espaces verts	7,56.10 ⁸	2,11.10 ⁷	1,20.10 ⁶		
Golfs	4,18.10 ⁹	1,53.10 ⁸	8,79.10 ⁶		

La concentration maximale théorique en pentachlorophénol à ne pas dépasser dans les EUT est au minimum 2,4.10⁷ fois supérieure à la concentration retrouvée dans les analyses réalisées dans le cadre de l'étude AMPERES et 6,2.10⁵ à celle retrouvée dans les analyses réalisées dans le cadre de l'étude RSDE1.

Tableau XVI : Concentrations maximales théoriques en hexachlorocyclohexane à ne pas dépasser dans les eaux usées traitées.

	Concentrations maximales théoriques EUT en hexachlorocyclohexane à ne pas dépasser dans les (en µg/L)			Concentration retrouvées dans les EUT (en µg/L)	
	Passants	Résidents	Travailleurs	Ampères	RSDE1
Cultures	6,53.10 ⁷	4,42.10 ⁵	-	0,06	0,003
Espaces verts	1,24.10 ⁷	3,47.10 ⁵	1,98.10 ⁴		
Golfs	6,87.10 ⁷	2,52.10 ⁶	1,44.10 ⁵		

La concentration maximale théorique en hexachlorocyclohexane à ne pas dépasser dans les EUT est au minimum 3,93.10⁴ fois supérieure à la concentration retrouvée dans les analyses réalisées dans le cadre de l'étude AMPERES et 7,8.10⁵ à celle retrouvée dans les analyses réalisées dans cadre de l'étude RSDE1.

Tableau XVII : Concentrations maximales théoriques en chrome VI à ne pas dépasser dans les eaux usées traitées.

	Concentrations maximales théoriques en chrome VI à ne pas dépasser dans les EUT (en µg/L)			Concentration en chrome total retrouvées dans les EUT (en µg/L)	
	Passants	Résidents	Travailleurs	Ampères	RSDE1
Cultures	1,69.10 ⁶	1,14.10 ⁴	-		
Espaces verts	3,21.10 ⁵	8,96.10 ³	5,12.10 ²		
Golfs	1,77.10 ⁶	6,50.10 ⁴	3,74.10 ³		

Les concentrations retrouvées dans le cadre des études AMPERES et RSDE1 étant des concentrations en chrome total et les concentrations maximales théoriques à ne pas dépasser ayant été calculées pour le chrome VI, la comparaison entre les différentes concentrations ne peut être faite.

Tableau XVIII : Concentrations maximales théoriques en nickel à ne pas dépasser dans les eaux usées traitées.

	Concentrations maximales théoriques en nickel à ne pas dépasser dans les EUT (en µg/L)			Concentration retrouvées dans les EUT (en µg/L)	
	Passants	Résidents	Travailleurs	Ampères	RSDE1
Cultures	7,79.10 ⁷	5,27.10 ⁵	-	15,4	42,83
Espaces verts	1,48.10 ⁷	4,14.10 ⁵	2,36.10 ⁴		
Golfs	8,19.10 ⁷	3,00.10 ⁶	1,72.10 ⁵		

La concentration maximale théorique en nickel à ne pas dépasser dans les EUT est au minimum 1,5.10³ fois supérieure à la concentration retrouvée dans les analyses réalisées dans cadre de l'étude AMPERES et 5,5.10² fois à celle retrouvée dans les analyses réalisées dans cadre de l'étude RSDE1.

Tableau XIX : Concentrations maximales théoriques en arsenic à ne pas dépasser dans les eaux usées traitées.

	Concentrations maximales théoriques en arsenic à ne pas dépasser dans les EUT (en µg/L)			Concentration retrouvées dans les EUT (en µg/L)	
	Passants	Résidents	Travailleurs	Ampères	RSDE1
Cultures	4,71.10 ⁶	3,19.10 ⁴	-	2,74	5,85
Espaces verts	8,97.10 ⁵	2,50.10 ⁴	1,43.10 ³		
Golfs	4,95.10 ⁶	1,81.10 ⁵	1,04.10 ⁴		

La concentration maximale théorique en arsenic à ne pas dépasser dans les EUT est au minimum 5,2.10² fois supérieure à la concentration retrouvée dans les analyses réalisées dans cadre de l'étude AMPERES et 2,4.10² fois à celle retrouvée dans les analyses réalisées dans cadre de l'étude RSDE1.

Tableau XX : Concentrations maximales théoriques en cadmium à ne pas dépasser dans les eaux usées traitées.

	Concentrations maximales théoriques en cadmium à ne pas dépasser dans les EUT (en µg/L)			Concentration retrouvées dans les EUT (en µg/L)	
	Passants	Résidents	Travailleurs	Ampères	RSDE1
Cultures	5,17.10 ⁸	3,50.10 ⁶	-	0,16	12,23
Espaces verts	9,85.10 ⁷	2,74.10 ⁶	9,19.10 ⁴		
Golfs	5,44.10 ⁸	1,99.10 ⁷	6,71.10 ⁵		

La concentration maximale théorique en cadmium à ne pas dépasser dans les EUT est au minimum 5,7.10⁵ fois supérieure à la concentration retrouvée dans les analyses réalisées dans cadre de l'étude AMPERES et 7,5.10³ fois à celle retrouvée dans les analyses réalisées dans cadre de l'étude RSDE1.

Tableau XXI : Concentrations maximales théoriques en plomb à ne pas dépasser dans les eaux usées traitées.

	Concentrations maximales théoriques en plomb à ne pas dépasser dans les EUT (en µg/L)			Concentration retrouvées dans les EUT (en µg/L)	
	Passants	Résidents	Travailleurs	Ampères	RSDE1
Cultures	1,68.10 ⁹	1,14.10 ⁷	-	5,1	36,31
Espaces verts	3,21.10 ⁸	8,97.10 ⁶	5,12.10 ⁵		
Golfs	1,77.10 ⁹	6,51.10 ⁷	3,74.10 ⁶		

La concentration maximale théorique en plomb à ne pas dépasser dans les EUT est au minimum 10⁵ fois supérieure à la concentration retrouvée dans les analyses réalisées dans cadre de l'étude AMPERES et 1,4.10⁴ fois à celle retrouvée dans les analyses réalisées dans cadre de l'étude RSDE1.

3.3.4.2 Lavage des voiries

Ne disposant pas de donnée sur les caractéristiques des particules d'eau émises par les engins de nettoyage des espaces publics, ni sur les *scenarii* d'exposition des travailleurs et des passants, il n'a pas été possible de réaliser une ERS pour ces deux catégories de population.

3.3.5 Conclusions

3.3.5.1 Irrigation des cultures, arrosage des espaces verts et des golfs

Pour les contaminants sélectionnés, les concentrations maximales théoriques à ne pas dépasser dans les EUT afin d'éviter la survenue d'un effet néfaste pour la santé des populations exposées par voie respiratoire, basées sur des hypothèses maximalistes ont été comparées aux concentrations moyennes mesurées dans les EUT lors des études AMPERES et RSDE1 majorées par deux fois la valeur de l'écart-type. Les concentrations maximales théoriques à ne pas dépasser sont supérieures aux concentrations retrouvées dans les EUT étudiées au cours des programmes AMPERES et RSDE1. Au regard de ces résultats, et excepté dans les cas de contamination ponctuelle volontaire ou accidentelle, ces substances ne devraient pas se retrouver dans les EUT à des concentrations pouvant induire un effet néfaste par voie respiratoire pour la santé des populations lors de l'irrigation par aspersion.

3.3.5.2 Lavage des voiries

Ne disposant pas de donnée sur les caractéristiques des particules d'eaux émises par les engins de nettoyage des espaces publics, ni sur les *scenarii* d'exposition des travailleurs et des passants, il n'a pas été possible de réaliser une ERS pour ces deux catégories de population. Il est cependant probable que les travailleurs, et notamment les opérateurs de lance, soient particulièrement exposés à des particules d'EUT.

L'étude « New Process for Optimizing Wastewater Reuse from Mauguio to the Mediterranean Area in support of the French Reuse Directive » (NOWMMA), pilotée par un consortium composé d'industriels à l'initiative de la Saur et de laboratoires (Irstea Aix en Provence, École des Mines d'Alès, INSA Toulouse) et financée dans le cadre de l'appel à projets français eco-industries, permettra notamment de disposer de données jusque là non disponibles dans la littérature scientifique concernant les dispositifs de nettoyage sous haute pression (nettoyeur haute pression, camions de nettoyage, etc.). La méthode de travail de l'étude sera similaire à celle qui a été adoptée pour l'étude de la distribution par aspersion (Molle *et al.*, 2010). Sur cette base, des expériences en conditions naturelles seront réalisées pour déterminer les risques induits en termes de dérive et de génération d'aérosols.

3.3.6 Limites de l'évaluation des risques sanitaires liés aux contaminants chimiques

- 1) Le GT n'a pas été en mesure d'évaluer l'impact des phénomènes physiques pouvant intervenir sur les particules d'EUT au cours de l'aspersion. Bien qu'il soit admis par la communauté scientifique que le diamètre moyen maximal des particules inhalables est de 100 µm, la seule étude disponible sur la caractérisation des particules d'eaux émises par les asperseurs (Molle *et al.*, 2010) ne lui a permis de travailler qu'avec un diamètre moyen maximal de 150 µm. Cette hypothèse tend à surestimer le risque.
Dans un souci de simplification, seuls trois asperseurs représentatifs des usages agricoles et urbains ont été retenus. Il a été considéré que la forme du jet d'aspersion (une cloche) était identique pour l'ensemble de ces asperseurs, sachant qu'il peut exister différentes formes de jet d'aspersion.
Le GT a émis l'hypothèse que les quantités en micropolluants dans l'eau étaient égales à celles retrouvées dans l'air, à condition de ne considérer que les substances non volatiles.
- 2) Afin d'identifier les contaminants chimiques potentiellement présents dans les EUT, le GT s'est appuyé sur les résultats des études RSDE1 et AMPERES. Cependant, concernant le RSDE1, les auteurs ont mis en évidence l'existence d'une grande disparité dans les limites de quantification des laboratoires. Celles-ci peuvent varier de façon importante d'un laboratoire à l'autre rendant la comparaison des données au niveau national problématique. En effet, des limites de quantification élevées peuvent conduire à sous estimer le flux de certaines substances sur tout ou partie des sites d'études.
Concernant le programme de recherche AMPERES, la détection et quantification des substances ont été réalisées sur 21 STEP en France ce qui ne permet pas d'obtenir des concentrations représentatives à l'échelle nationale.

- 3) Les EUT constituent un mélange complexe de contaminants chimiques pour lequel il n'est pas possible à l'heure actuelle d'évaluer le risque sanitaire pour l'Homme. Or, les effets délétères sur la santé de certains composés peuvent être majorés lorsqu'ils sont associés, en raison d'effets additifs ou synergiques.
- Cependant, en l'absence de méthodologie pour évaluer les risques sanitaires liés à un mélange de contaminants, le GT a été contraint de sélectionner les substances à partir des deux études mentionnées ci-dessus. Seuls les risques liés aux substances quantifiées dans le cadre des études AMPERES et/ou RSDE1 et disposant de VTR pour la voie respiratoire ont été évalués. Au total, dix substances ont été étudiées sur la centaine recensées dans les EUT **ce qui constitue une incertitude majeure**.
- Par ailleurs, ces substances retenues pour l'ERS peuvent être déjà présentes dans l'air ambiant, mais en l'absence de donnée concernant leurs concentrations dans l'air, il n'a pas été possible de tenir compte du bruit de fond environnemental.
- 4) Les durées et fréquences d'exposition peuvent contribuer à une surestimation du risque par rapport à la réalité.
- En l'absence de VTR pour le contact cutanéomuqueux, les risques liés à cette voie d'exposition n'ont pu être considérés pour les molécules retenues. Cependant, ce risque ne pouvant être estimé, il ne peut pas être exclu en l'état actuel des connaissances et en particulier chez les travailleurs.
- En l'absence d'existence de VTR spécifique pour les enfants, aucune distinction entre les catégories de population (enfants, adultes), n'a été faite.
- 5) En l'absence de donnée d'exposition relative au lavage des voiries et plus particulièrement à la taille des particules émises par les différents systèmes utilisés, aucune quantification du risque lié aux contaminants chimiques n'a pu aboutir. Si un risque devait être mis en évidence, il serait probable que, compte tenu des jets sous pression utilisés par les systèmes de lavage, les travailleurs, notamment les opérateurs de lance, pourraient être particulièrement exposés aux particules d'EUT.

3.4 Évaluation des risques sanitaires liés aux micro-organismes

La composition des EUT dépend, d'une part de la composition des eaux usées brutes et, d'autre part, des traitements appliqués. Elle est donc éminemment variable selon les spécificités de ces deux composantes.

Peu d'informations sont disponibles sur la nature, l'identité et le niveau de concentration de tous les micro-organismes d'intérêt sanitaire présents dans les EUT, sur leur propension à survivre lors d'une dissémination ainsi que sur leurs doses minimales infectieuses. De ce fait, la méthode de travail adoptée pour évaluer les risques microbiologiques liés à la REUT par aspersion est différente de celle qui a été retenue pour l'ERS liés aux contaminants chimiques.

Notamment, l'identification des dangers microbiologiques a été réalisée grâce à une revue de la littérature relative :

- à la composition microbiologique des eaux usées brutes ;
- à l'effet des traitements sur les concentrations ;
- aux données épidémiologiques liées à la REUT par aspersion en première approche et étendue aux STEP et à l'épandage des biosolides.

Cette recherche bibliographique a donc permis d'aboutir à une composition microbiologique des EUT pour laquelle seuls les micro-organismes pathogènes pour les voies respiratoire et cutanéomuqueuse pour l'Homme ont été retenus.

A partir des micro-organismes identifiés comme dangers potentiels pour l'Homme, la question de la faisabilité et de la pertinence d'une analyse du risque microbiologique s'est posée.

3.4.1 Composition microbiologique des eaux usées brutes

La composition microbiologique des eaux usées urbaines brutes est extrêmement variable. Elle dépend de leur origine (domestique, industrielle) et des caractéristiques du réseau d'assainissement (séparatif, unitaire, mixte). La diversité des contaminants microbiologiques, ainsi que leurs concentrations sont fonction de l'état sanitaire des populations, de leur statut socio-économique, des industries raccordées, de l'origine hydrologique des eaux et de la saison.

De nombreux micro-organismes peuvent être identifiés dans les eaux usées. Seuls les micro-organismes pathogènes pour l'Homme, dont une liste non exhaustive est donnée dans les tableaux XXII à XXV, sont considérés dans ce rapport.

➤ Bactéries

Ont été identifiées dans les eaux usées :

- des bactéries d'origine fécale pathogènes et non pathogènes pour l'Homme ;
- des bactéries de l'environnement, *i.e.* d'origine non fécale, pathogènes ou pathogènes opportunistes pour l'Homme.

Tableau XXII : Liste non exhaustive de bactéries d'intérêts sanitaires pouvant être présentes dans les eaux usées brutes.

Genres (*)	Espèces ou sérotypes (*)	Gammes de concentrations (UFC par litre)	
<i>Escherichia</i>	<i>E. coli</i>	$10^6 - 10^7$	Birks <i>et al.</i> , 2004 ¹¹
<i>Salmonella</i>	<i>S. typhi</i> ¹² <i>S. typhimurium</i> <i>S. paratyphi</i> A, B, C	$1 - 10^3$	OMS, 2006
<i>Shigella</i>	<i>S. dysenteriae</i> <i>S. boydii</i> <i>S. sonnei</i> <i>S. flexneri</i>	$1 - 10^4$	Petterson et Ahsbold, 2003 ¹³
<i>Yersinia</i>	<i>Y. enterocolitica</i>		
<i>Vibrio</i>	<i>V. cholerae</i> ¹⁰	$10^2 - 10^5$	OMS, 2006
<i>Plesiomonas</i>	<i>P. shigelloides</i> ¹⁰		
<i>Pseudomonas</i>	<i>P. aeruginosa</i>		
<i>Staphylococcus</i>	<i>S. aureus</i>		
<i>Campylobacter</i>	<i>C. coli</i> <i>C. jejuni</i>	$10 - 10^4$	OMS, 2006
<i>Clostridium</i>	<i>C. perfringens</i>	$10^4 - 10^5$	Harwood <i>et al.</i> , 2005
<i>Leptospira</i>	<i>L. interrogans</i>		
<i>Listeria</i>	<i>L. monocytogenes</i>		
<i>Mycobacterium</i>	<i>M. tuberculosis</i> , <i>M. kansasii</i> , <i>M. xenopi</i> , <i>M. avium</i> , <i>M. marinum</i> , <i>M. ulcerans</i> ¹⁰ , <i>M. fortuitum</i> , <i>M. abscessus</i> , <i>M. chelonae</i>		
<i>Legionella</i>	<i>L. pneumophila</i>		
<i>Klebsiella</i>	<i>K. pneumoniae</i>		
<i>Bacillus</i>	<i>Bacillus anthracis</i> ¹⁴		

(*) D'après Dumontet (1997), Schwartzbrod (1999), Cadiergues (2000), Garrec (2003)

➤ Virus

Les eaux usées contiennent de nombreux virus (tableau XXIII). Comparativement aux bactéries pathogènes entériques, ils ne se reproduisent pas en dehors de leur hôte mais ont généralement une dose infectante faible et peuvent survivre plusieurs mois dans le milieu hydrique.

¹¹ Il s'agit de la concentration en *E. coli* indicateur de contamination fécale et non en *E. coli* pathogène.

¹² Non présent de façon régulière en France métropolitaine.

¹³ Toutes espèces confondues.

¹⁴ Le risque concerne surtout les effluents des établissements d'équarrissage (Afssa, 2008).

Tableau XXIII : Liste non exhaustive de virus d'intérêts sanitaires pouvant être présents dans les eaux usées brutes.

Famille (*)	Espèces (*)	Gamme de concentrations (UFP par litre)	
<i>Picornaviridae</i>	Virus poliomyélitiques ¹⁵ Virus Coxsackie A Virus Coxsackie B Echovirus Enterovirus 68 à 71 Virus de l'hépatite A	$10^2 - 10^5$	Petterson et Ahshbold, 2003
<i>Reoviridae</i>	Réovirus humains Rotavirus humains	$10^2 - 10^5$	OMS, 2006
<i>Caliciviridae</i>	Norovirus	ND - 10^4 <1000 - 10^7 PDU/L	Petterson et Ashbold, 2003 ¹⁶ Van Der Berg, 2005
<i>Herpesviridae</i>	Virus de l'hépatite E		
<i>Astroviridae</i>	Astrovirus humains		
<i>Coronaviridae</i>	Coronavirus humains		
<i>Adenoviridae</i>	Adenovirus humains	$250 - 250\ 000$ $2 \cdot 10^4 - 7 \cdot 10^8$	Boffil-Mas <i>et al.</i> , 2000 Simmons et Xagorarakis, 2011

(*) D'après Dumontet (1997), Schwartzbrod (1999), Cadiergues (2000), Garrec (2003)

➤ Protozoaires

Les eaux usées véhiculent des protozoaires sous des formes très résistantes (kystes, oocystes) aux conditions environnementales et aux traitements de désinfection. Certains présentent une faible dose infectante en comparaison avec les bactéries (tableau XXIV).

➤ Helminthes

Les eaux usées peuvent également contenir des helminthes pathogènes potentiels pour l'Homme (tableau XXIV).

¹⁵ Non présent de façon régulière en France métropolitaine.

¹⁶ Détection positive par PCR.

Tableau XXIV : Liste non exhaustive de protozoaires et d'helminthes d'intérêts sanitaires pouvant être présents dans les eaux usées brutes.

Familles (*)	Espèces (*)	Gammes de concentrations (par litre)	
Rhizopodes	<i>Entamoeba histolytica/dispar</i>	1 – 10 ²	OMS, 2006
Flagellés	<i>Giardia intestinalis</i>	10 ² – 10 ⁵	
Amibes libres	<i>Acanthamoeba</i> <i>Naegleria fowleri</i> <i>Hartmannella</i>		
Sporozoaires	<i>Toxoplasma gondii</i> <i>Isospora belli</i> <i>Isospora hominis</i> <i>Cryptosporidium parvum</i>	1 – 10 ⁴	
Nemathelminthes	<i>Enterobium vermicularis</i> <i>Trichuris trichura</i> <i>Ascaris lumbricoides</i> <i>Necator americanus</i> , <i>Ankylostoma duodenale</i> <i>Strongyloides stercoralis</i> <i>Toxocara canis</i> , <i>Toxocara cati</i>	1 – 10 ² 1 – 10 ³ 1 – 10 ³	
Plathelminthes	<i>Taenia saginata</i> , <i>T. solium</i> , <i>T. hydatigena</i> <i>Hymenoleptis nana</i> , <i>H. diminuta</i> <i>Echinococcus granulosus</i> , <i>multilocularis</i>		

(*) D'après Dumontet (1997), Schwartzbrod (1999), Cadiergues (2000), Garrec (2003)

➤ Champignons, moisissures, levures

Les eaux usées contiennent également des champignons, moisissures et levures, parfois pathogènes (Altmeyer *et al.*, 1990, Korzeniewska *et al.*, 2009). Certains d'entre eux sont ubiquitaires de l'environnement. Par exemple, les genres *Penicillium*, *Mucor*, *Cladosporium* et *Aspergillus* sont présents dans le sol, sur les végétaux et dans les milieux aériens (tableau XXV).

Tableau XXV : Liste non exhaustive de champignons/moisissures d'intérêts sanitaires pouvant être présents dans les eaux usées brutes.

Genres	Espèces	Gammes de concentrations (UFC par litre)	
<i>Candida</i>	<i>C. albicans</i>	8,5 10 ⁶ à 5 10 ⁷ UFC ¹⁷	Korzeniewska <i>et al.</i> , 2009
<i>Cryptococcus</i>	<i>C. neoformans</i>		
<i>Aspergillus</i>			
<i>Trichophyton</i>			
<i>Epidermophyton</i>			
<i>Chryseosporium</i>			
<i>Cladosporium</i>			
<i>Mucor</i>			
<i>Penicillium</i>	<i>P. marneffeii</i>		

➤ Toxines

Les eaux usées peuvent également contenir des toxines : endotoxines, toxines clostridiales et cyanotoxines (Ho *et al.*, 2010 ; Vasconcelos *et al.*, 2001).

S'agissant de la France métropolitaine et des DROM-COM, l'ensemble des bactéries, virus, protozoaires, levures et champignons peut potentiellement être présent dans les eaux usées. Les données recueillies montrent que, parmi les helminthes, *Necator* et *Stongyloïdes* ne sont pas présents en France métropolitaine. Il en est de même pour les bactéries *Salmonella typhi*, *Vibrio cholerae* O1-O139 et *Mycobacterium ulcerans*.

Ont été exclus de l'expertise les ATNC puisque cet aspect a été traité par l'Afssa dans son avis du 19 mai 2010 relatif à « l'évaluation des risques sur les effluents issus des établissements de transformation des sous-produits animaux de catégorie 1, 2 ou 3 à des fins de réutilisation pour l'irrigation des cultures destinées à la consommation humaine ou animale » et pris en compte dans l'arrêté du 2 août 2010.

3.4.2 Effets des traitements sur les concentrations microbiennes des eaux usées

Les plages de concentrations en micro-organismes pathogènes et toxines dans les eaux usées brutes et/ou traitées sont larges au regard de leur variabilité, des difficultés d'échantillonnage et d'analyse et des coûts élevés de leur recherche.

Certaines étapes de traitement des eaux usées urbaines en STEP peuvent diminuer les concentrations en micro-organismes pathogènes. Les abattements observés au cours du traitement dépendent à la fois de l'étape du procédé de traitement considérée et du type d'agent microbien.

3.4.2.1 Traitement primaire

Le traitement primaire, étape de décantation, conduit à un faible abattement pour la plupart des micro-organismes (0-1 Log₁₀), potentiellement adsorbés sur les matières décantées (Boutin *et al.*, 2008).

¹⁷ Il s'agit de la concentration en levures totales et champignons totaux dans les eaux usées (Korzeniewska *et al.*, 2009).

3.4.2.2 Traitement secondaire

Le traitement secondaire (traitement biologique) conduit à un abattement supérieur à celui qui est observé au cours du traitement primaire et variable d'un micro-organisme à l'autre : 0-3 Log₁₀ pour les virus, les bactéries et les protozoaires, 1-2 Log₁₀ pour les helminthes (Rose *et al.*, 1996; Lucena *et al.*, 2004 ; Harwood *et al.*, 2005 ; Wéry *et al.*, 2008) et avec la nature du traitement. Après traitement secondaire, certains micro-organismes, y compris des pathogènes, sont encore présents dans les EUT.

3.4.2.3 Traitement tertiaire

Les traitements tertiaires permettent d'améliorer la qualité des effluents secondaires en diminuant les matières en suspension et les pathogènes. Sont distingués les traitements de rétention (filtration sur sable, membranes), les traitements de désinfection chimique (comprenant notamment la chloration et l'ozonation) et les traitements de désinfection photochimique (traitements UV, lagunage). Les tableaux XXVI et XXVII présentent les abattements obtenus pour différents traitements et pour différents pathogènes. Sous réserve du seuil de coupure des membranes, les traitements membranaires peuvent être efficaces sur l'ensemble des micro-organismes (Zhang et Farahbaksh, 2007 ; Arevalo *et al.*, 2009 ; Hirani *et al.*, 2010 ; Kuo *et al.*, 2010 ; Wu *et al.*, 2010).

Après traitement tertiaire, certains pathogènes peuvent encore être présents dans les effluents (Rose *et al.*, 1996 ; Gennaccaro *et al.*, 2003 ; He *et al.*, 2011).

3.4.2.4 Effet du stockage

L'influence du stockage dans les changements de qualité de l'eau dépend principalement des caractéristiques des eaux usées stockées, des conditions climatiques (rayonnement solaire, température, *etc.*), des caractéristiques de l'écosystème (concentrations en nutriments, en micro-organismes), ainsi que des caractéristiques de conception du réservoir (capacité, surface ouverte, profondeur, *etc.*) et de ses modalités de fonctionnement (débit continu par rapport au stockage du lot) (Cirelli *et al.*, 2008 ; Lazarova et Bahri, 2008). Le stockage de l'EUT avant irrigation peut permettre la diminution des micro-organismes, dont les pathogènes, du fait de la limitation en nutriments et en oxygène, du rayonnement ultra-violet et des phénomènes de compétition (Campos *et al.*, 2002 ; Lucena *et al.*, 2004). *A contrario*, certains micro-organismes pathogènes pourraient malgré tout se développer dans ces bassins ainsi que dans le réseau d'irrigation.

Le tableau XXVI dresse une synthèse des abattements décrits pour divers micro-organismes pour différents types de traitement (Log₁₀).

Tableau XXVI : Exemples d'abattement en micro-organismes observés lors des étapes de traitements et de stockage avant irrigation (Log₁₀) (D'après Kamizoulis, 2008).

Traitement	Bactéries	Helminthes	Protozoaires	Virus
Traitement primaire				
Sédimentation	0-1	0-1	0-1	0-1
Sédimentation + coagulation chimique	0-1	1-3	0-1	0-1
Traitement secondaire				
Boues activées ou biofiltre + décantation secondaire	1-3	1-2	0-1	0-3
Bioréacteur à membrane – microfiltration (*)	1-3	1-2	0-1	0-3
Lagune aérée + sédimentation dans bassin	1-2	1-3	0-1	1-2
Traitements tertiaires				
Coagulation/floculation	0-1	2	1,5-4	1-3
Filtration sur sable	0-2,5	1-2	0-3	1-4
Filtres	0-1	2-3	1-3	0,5-3
Procédés membranaires (**)	3,5-6	>3	>6	2,5-6
Chloration	2-6	0-1	0-1,5	1-3
Ozonation	2-6	0-1	1-2	3-6
Lagune	1-6	1-3	1-4	1-4
UV	2-4	-	>3	1-3
Stockage				
Réservoirs de stockage	1-6	1-3	1-4	1-4

(*) D'après Wéry (2008)

(**) D'après Zhang et Farahbaksh, 2007 ; Arevalo *et al.*, 2009 ; Hirani *et al.*, 2010 ; Kuo *et al.*, 2010 ; Wu *et al.*, 2010.

Le tableau XXVII présente un exemple des abattements observés pour la STEP de St Petersburg (USA) pour les coliformes totaux, les coliformes fécaux, les phages, les entérovirus, *Giardia* et *Cryptosporidium*.

Tableau XXVII : Exemple d'évolution des abattements en micro-organismes au cours de différentes étapes du traitement des eaux usées (Station de St Petersburg, Floride, USA, utilisation des eaux traitées pour l'irrigation d'un golf et d'espaces verts sur zones résidentielles) (D'après Rose *et al.*, 1996).

Micro-organisme	Traitement biologique/Clarification	Filtration	Chloration	Stockage	Totalité du traitement
Coliformes totaux	1,75	0,51	4,23	0,61	7,1
Coliformes fécaux	2,06	0,05	4,95	0,36	7,42
Phages	0,75	3,81	1,03	1,03	6,62
Entérovirus	1,71	0,81	1,45	1,04	5,01
<i>Giardia</i>	1,19	2,00	0,65	0,30	4,14
<i>Cryptosporidium</i>	1,14	1,68	0,41	0,04	3,27

Pour un traitement donné, les micro-organismes vont présenter des résistances variables. Ainsi, les espèces de *Cryptosporidium* et de *Giardia* sont difficiles à inactiver avec des dérivés de chlore (Finch et Belosevitch, 2002), et les adénovirus sont résistants aux traitements par rayonnements UV (Hijnen *et al.*, 2006). Les helminthes, tels que les œufs d'*Ascaris*, sont résistants à de nombreux traitements (température, dessiccation, dégradation chimique ou biologique) (Carlander, 2006).

La présence de biofilm, l'interaction avec des protozoaires (dont les amibes) ou d'autres micro-organismes protègent les légionelles des traitements de désinfection (Lemarchand *et al.*, 2004) et favorisent leur survie et croissance dans l'eau.

De même, les espèces de mycobactéries sont résistantes aux traitements de désinfection de type chlore et ozone (Taylor *et al.*, 2000) et sont plus résistantes aux désinfectants que *E. coli* (Pelletier *et al.*, 1988 ; Santé Canada, 2006).

Les eaux usées brutes et traitées contiennent une large variété de micro-organismes potentiellement pathogènes pour l'Homme.

Actuellement, la surveillance de la qualité microbiologique des EUT réutilisées est assurée au moyen d'une combinaison d'indicateurs d'efficacité de traitement et/ou d'indicateurs de contamination d'origine fécale. Cependant la présence de bactéries indicatrices ne reflète pas celle des micro-organismes pathogènes pour les voies d'exposition retenues dans ce travail.

De ce fait, le GT s'est attaché à lister les agents pathogènes présents dans les EUT et susceptibles d'induire des effets sanitaires par voies respiratoire et cutanéomuqueuse.

3.4.3 Identification des dangers

Dans la mesure où les STEP ne sont généralement pas conçues pour réduire le niveau de contamination microbiologique des eaux usées, sauf si elles sont dotées d'un étage de désinfection performant, les micro-organismes présents en entrée sont susceptibles de se retrouver en sortie dans les effluents traités.

Considérant également que l'objet de la saisine ne concerne que les risques liés à l'aspersion d'EUT par exposition directe, le GT, sur une base bibliographique, a sélectionné des micro-organismes pathogènes susceptibles de se retrouver dans les particules d'EUT dispersées par l'asperseur et d'induire des risques sanitaires par voies respiratoire et/ou cutanéomuqueuse (*cf.* chapitre 3.2).

Concernant la voie cutanéomuqueuse, aucune étude spécifique n'a été retrouvée et donc il a été considéré que les micro-organismes potentiellement présents dans les EUT pouvaient être retrouvés dans les particules d'EUT formées après aspersion puisque certains agents pathogènes présents dans les EUT sont connus pour provoquer des effets sanitaires par contact cutanéomuqueux.

Concernant la voie respiratoire, le GT a réalisé une recherche bibliographique sur la présence de micro-organismes dans les aérosols d'EUT.

Néanmoins, peu d'études caractérisent la composition microbiologique des aérosols lors d'aspersion d'EUT. De ce fait, le GT a élargi la recherche bibliographique aux STEP.

Il a été montré qu'après aspersion d'eaux usées, certains micro-organismes (bactéries, virus et champignons) peuvent se retrouver dans les aérosols (Altmeyer *et al.*, 1990 ; rapport institut du Québec, 2008). En particulier, certains travaux montrent la présence d'entérovirus à des concentrations inférieures à 10 UFP/m³ dans les aérosols d'EUT lors d'irrigation par aspersion (Carducci *et al.*, 2000 ; Fattal *et al.*, 1982 ; Moore *et al.*, 1979 ; Telsch *et al.*, 1980 ; Fannin *et al.*, 1985).

De plus, certaines espèces de champignons présentes dans les eaux usées ont été détectées dans les aérosols provenant de STEP à des concentrations de l'ordre de 10² UFC/m³ (Altmeyer,

1990 ; Bauer *et al.*, 2002 ; Korzeniewska *et al.*, 2009 ; Prazmo *et al.*, 2003 ; Oppliger *et al.*, 2005 ; Delery, 2003).

Des légionelles (*Legionella* spp dont *L. pneumophila*) ont également été détectées dans l'atmosphère au-dessus de bassins d'aération de STEP à une concentration maximale de 3300 UFC/m³ d'air, ce niveau de concentration diminuant avec l'augmentation de la distance au bassin d'aération (Blatny *et al.*, 2008). Medema *et al.* (2004) ont également détecté des légionelles dans des STEP à des concentrations variant entre 0,5 et 56 UG/m³ d'air (par PCR).

Il est à noter que des contaminations *via* des aérosols contenant des cyanobactéries lors d'activités de baignade sont évoquées (Backer *et al.*, 2010 ; Donohue *et al.*, 2008).

Concernant la présence de protozoaires et d'helminthes dans les aérosols provenant d'EUT, aucune étude n'a été retrouvée. Les tableaux XXVIII à XXXII dressent une synthèse des principaux micro-organismes pathogènes susceptibles de se trouver dans les EUT et potentiellement transmissibles par voie cutanéomuqueuse ou respiratoire après dissémination par aspersion d'EUT (Ripert, 1998 ; Schwartzbrod, 1991 ; Pilly, 2010 ; Hunter, 1998). Les effets sanitaires potentiels décrits dans les tableaux sont spécifiques des deux voies d'exposition retenues, leur apparition dépend de la sensibilité de la personne exposée et de la dose de micro-organisme reçue.

Tableau XXVIII : Synthèse de la littérature concernant les bactéries pathogènes potentiellement retrouvées dans les particules d'eaux usées traitées et de leurs potentiels effets sanitaires associés lors d'une exposition par voies respiratoire ou cutanéomuqueuse.

Bactéries	Voie d'exposition autre que digestive	Effets sanitaires potentiels	Références
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	Respiratoire	Pneumopathie	Pilly, 2010
	Cutanéo muqueuse	Infection cutanée	
<i>Vibrio</i>	Cutanéo muqueuse	Infection cutanée, cellulite, otites	
<i>Mycobacterium</i> : <i>M. kansasii</i> , <i>M. xenopi</i> , <i>M. avium</i>	Respiratoire	Pneumopathie	
<i>Mycobacterium</i> : <i>M. marinum</i> , <i>M. ulcerans</i> (tropiques), <i>M. fortuitum</i> , <i>M. abscessus</i> , <i>M. chelonae</i>	Cutanéo muqueuse	Infection cutanée	
<i>Bacillus anthracis</i>	Respiratoire	Pneumopathie	
	Cutanéo muqueuse	Infection cutanée	
<i>Leptospira interrogans</i>	Cutanéo muqueuse	Forme anictérique pseudo-grippale, d'évolution favorable Forme ictérique pluriviscérale	
<i>Legionella pneumophila</i>	Respiratoire	Fièvre de Pontiac Maladie du légionnaire	
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Respiratoire	Surinfection d'une infection bronchique chronique Risque de bactériémie ou localisations viscérales multiples (meningite, pneumopathies) chez l'immunodéprimé	
	Cutanéo muqueuse	Plaies chroniques	
<i>Clostridium perfringens</i>	Cutanéo muqueuse	Gangrène gazeuse, myosite	
<i>Staphylococcus aureus</i>	Cutanéo muqueuse	Furoncles, panaris, suppurations de plaies	
	Respiratoire	Pneumopathie	

Différentes toxines produites par ces bactéries peuvent être à l'origine de pathologies après exposition par voie aérosol.

Tableau XXIX : Synthèse de la littérature concernant les principales toxines potentiellement retrouvées dans les particules d'eaux usées traitées et de leurs potentiels effets sanitaires associés lors d'une exposition par voies respiratoire ou cutanéomuqueuse.

Toxines	Voie d'exposition autre que digestive	Effets sanitaires potentiels	Références
Toxine botulique	Respiratoire	Botulisme	Park, 2003
Endotoxines	Respiratoire	Asthme, rhinite, bronchite chronique, pneumopathie	Douwes <i>et al.</i> , 2003

Tableau XXX : Synthèse de la littérature concernant les principaux virus potentiellement retrouvés dans les particules d'eaux usées traitées et de leurs potentiels effets sanitaires associés lors d'une exposition par voies respiratoire ou cutanéomuqueuse.

Virus	Voie d'exposition autre que digestive	Effet sanitaires potentiels	Références
Coxsackievirus	Respiratoire	Méningite, herpangine (Coxsackie A), fièvre, infection respiratoire myocardite, péricardite	Couch <i>et al.</i> , 1966, 1970 Asano, 1998 Pilly, 2010
Echovirus	Respiratoire	Méningite, encéphalite, infection respiratoire, rash cutané, diarrhée, fièvre Myocardite et péricardite	Asano, 1998 Pilly, 2010
Rotavirus	Respiratoire	Vomissements Diarrhée	Schindwein <i>et al.</i> , 2010 Asano, 1998
Adenovirus	Respiratoire	Infection respiratoire, conjonctivite, vomissements, diarrhée Myocardite et péricardite	Couch, 1966 ; Hunter, 1998 Asano, 1998 Pilly, 2010

Pour les virus des hépatites A et E, dans l'état actuel des connaissances, seule la voie d'exposition par ingestion a été confirmée. Cependant, d'autres voies de contamination sont soupçonnées notamment pour le virus de l'hépatite E, mais à ce jour aucune publication scientifique ne vient étayer l'hypothèse d'une possible transmission par aérosols.

Tableau XXXI : Synthèse de la littérature concernant les principaux protozoaires retrouvés dans les particules d'eaux usées traitées et de leurs potentiels effets sanitaires associés lors d'une exposition par voies respiratoire ou cutanéomuqueuse.

Amibes libres	Voie d'exposition autre que digestive	Effets sanitaires	Références
<i>Acanthamoeba</i>	Cutanéomuqueuse	Kératites	Vivesvara, 2007
<i>Hartmannella</i>			

Tableau XXXII : Synthèse de la littérature concernant les principaux champignons/levures pathogènes potentiellement retrouvés dans les particules d'eaux usées traitées et de leurs potentiels effets sanitaires associés lors d'une exposition par voies respiratoire ou cutanéomuqueuse.

Champignons	Voie d'exposition autre que digestive	Effets sanitaires potentiels	Références
<i>Candida</i>	Cutanéo muqueuse	Infection cutanée, Erythème	Pilly, 2010
<i>Cryptococcus</i>	Respiratoire	Pneumopathies	
	Cutanéo muqueuse	Infection cutanée acnéique	
<i>Aspergillus</i>	Respiratoire	Aspergillose bronchopulmonaire	
<i>Trichophyton</i>	Cutanéo muqueuse	Infection cutanée et des ongles	
<i>Epidermophyton</i>	Cutanéo muqueuse	Infection cutanée et des ongles	
<i>Chryseosporium</i>	Cutanéo muqueuse	Inflammations des ongles	
<i>Cladosporium</i>	Cutanéo muqueuse	Infection cutanée et des ongles	
	Respiratoire	Sinusite, infection pulmonaire	
<i>Mucor</i>	Cutanéo muqueuse	Infection cutanée	
	Respiratoire	Formes pulmonaire et rhino-cérébrale	

Il est à noter que, l'air étant un milieu extrême pour les micro-organismes et les toxines d'origine hydrique, leur transport et leur survie dans les particules d'EUT aéroportées peuvent être influencés par différents facteurs environnementaux tels que la température de l'air, l'humidité relative, l'ensoleillement et les rayonnements UV, la présence de polluants dans l'air, *etc.* (annexe 9). De ce fait, la complexité des phénomènes ne permet pas de généraliser la survie des micro-organismes aéroportés.

3.4.4 Données épidémiologiques

Il existe peu de données épidémiologiques concernant les effets sanitaires liés à la REUT par aspersion et la plupart des études réalisées datent des années 1980. Par conséquent, ont également été pris en considération les résultats des études menées sur les STEP et lors des pratiques d'épandage de biosolides.

3.4.4.1 REUT par aspersion

Fattal *et al.* (1986) ont mené une étude en Israël sur 11 kibboutzim (3040 personnes) dans lesquels étaient utilisées en alternance des eaux usées partiellement traitées et d'autres eaux pour l'irrigation de cultures non destinées à la consommation humaine. Il avait mis en évidence, chez les jeunes enfants (0-4 ans), un excès de risque de maladies entériques uniquement pendant l'été où étaient utilisées les eaux usées partiellement traitées (principalement des gastro-entérites).

Les résultats d'une autre étude épidémiologique (Shuval *et al.*, 1989) menée sur 20 kibboutzim entre mars 1981 et février 1982 en Israël, sur près de 10231 personnes, ne montrent pas d'excès de maladies entériques dans une population de travailleurs et leurs familles en contact avec des aérosols d'eaux usées partiellement traitées comparée à une population de référence non exposée. Dans cette étude qui inclut une large population, y compris de jeunes enfants, aucun effet négatif sur la santé n'a été observé pour des populations exposées à des aérosols d'eaux usées traitées émis à des distances de 300 à 600 mètres.

La seule étude épidémiologique française sur la REUT par aspersion a été réalisée en Auvergne (Devaux *et al.*, 2001). Elle est basée d'une part, sur l'exploitation des résultats de la surveillance sanitaire de la population issus de deux réseaux sentinelles (pharmaciens et médecins volontaires de Limagne Noire) associée à une surveillance microbiologique des eaux d'irrigation et d'autre

part, sur des enquêtes de suivi des exploitants et salariés agricoles (écimeurs de maïs) potentiellement exposés aux aérosols d'EUT.

La surveillance environnementale a reposé sur l'analyse microbiologique (coliformes thermotolérants, etc.) et sur le suivi de certains indicateurs de charge organique des eaux usées (DBO₅, DCO) à différents points du réseau : en sortie de STEP, dans les lagunes, en sortie de lagunes, aux bornes, en sortie d'asperseur.

Le suivi auprès du réseau sentinelle de 10 à 20 médecins du secteur de Limagne Noire a reposé sur le recueil, notamment des cas de troubles digestifs, cutanés, oculaires, ORL, pulmonaire constatés chez leurs patients. Le réseau sentinelle de 5 à 10 pharmaciens de Limagne Noire a assuré le recueil des ventes de certaines spécialités, dont celles à visées digestives, antihistaminiques, antibiotiques. L'analyse des données était hebdomadaire (évolution de la moyenne mobile).

L'étude épidémiologique menée auprès des exploitants agricoles était une étude prospective longitudinale, de type exposé/non-exposé. Les sujets exposés étaient les exploitants agricoles utilisateurs du réseau de REUT de Limagne Noire (n=50), les sujets non-exposés étaient des membres de leurs familles (n=50). Du début à la fin de la période d'irrigation, pour chaque jour du suivi, les exploitants et les témoins appariés ont déclaré les symptômes digestifs, cutanés, oculaires, oto-rhino-laryngés, pulmonaires. Les observations ont été comparées entre les exposés et les non-exposés.

L'étude épidémiologique menée auprès des écimeurs de maïs a permis de recueillir les symptômes digestifs, oculaire, oto-rhino-laryngés, cutanés, pulmonaires, de chaque écimeur, pendant la période de castration des maïs (évolution de la moyenne mobile).

La surveillance environnementale a montré que l'eau d'irrigation était conforme aux recommandations du CSHPF (eaux en sortie de lagunes et en sortie d'asperseurs).

Aucun évènement épidémique particulier n'a été rapporté par les réseaux sentinelles. L'enquête auprès des exploitants et des salariés agricoles n'a pas montré de problèmes de santé particuliers.

3.4.4.2 Épidémiologie liée aux aérosols d'eau de STEP

Les symptômes observés chez les travailleurs des STEP sont variés (Altmeyer, 1990 ; Rylander *et al.*, 1976 ; Rylander, 1999 ; Melbostad *et al.*, 1994 ; Douwes *et al.*, 2001 ; Thorn et Kerekes, 2001) :

- fatigue,
- maux de tête,
- fièvres,
- nausées,
- symptômes gastro-intestinaux,
- symptômes respiratoires,
- problèmes oculaires et cutanés.

Dans la plupart des études, ces symptômes ne sont ni strictement associés aux aérosols, plusieurs voies d'exposition des travailleurs étant possibles, ni à un contaminant microbiologique particulier.

Si les symptômes sont décrits dans plusieurs articles, leur origine est rarement identifiée. Les inflammations intestinale et des voies respiratoires sont souvent citées (Rylander, 1999 ; Thorn et Kerekes, 2001). Certains auteurs relèvent l'importance des endotoxines et/ou indiquent des concentrations en endotoxines élevées dans l'air des STEP (Rylander, 1999) quand d'autres précisent que la variété des symptômes observés ne peut être expliquée uniquement par l'exposition aux endotoxines (Douwes *et al.*, 2001).

Enfin, certaines études montrent également que l'exposition des professionnels à des eaux usées peut conduire à une forme particulière de maladie, appelée le « syndrome des égoutiers ». Elle est associée à l'inhalation d'endotoxines, présentes en grandes quantités et provenant des entérobactéries et se caractérise par un état de malaise général avec fièvre et rhinite aigue (Fannin *et al.*, 1985 ; Clark 1987).

La bibliographie fait état de la présence de légionelles pathogènes dans les eaux usées et les aérosols de STEP (Pascual *et al.*, 2001 ; Medema *et al.*, 2004) et de cas de fièvre de Pontiac (Gregersen *et al.*, 1999) chez les travailleurs de STEP.

3.4.4.3 Épandage des « biosolides »

Les « biosolides »¹⁸ peuvent être épandus sur les terres agricoles et non-agricoles (forêts, parcs publics, golfs, cimetières) comme amendement de sol (apport minéral et organique, amélioration des propriétés physiques des sols).

L'épandage des biosolides de classe B est potentiellement générateur d'aérosols contaminés par *E. coli* et d'autres bactéries coliformes, des entérocoques fécaux ainsi que des bactéries du genre *Clostridium*, des virus entériques et des coliphages (Pillai, 1996 ; Sorber *et al.*, 1984 ; Brooks *et al.*, 2005 ; Pepper *et al.*, 2006, 2008 ; Tanner *et al.*, 2008) et, en conséquence peut conduire à un risque sanitaire pour les travailleurs et les populations avoisinantes des terres amendées.

Une évaluation des risques sanitaires pour les travailleurs, liés à une exposition aux bioaérosols lors de l'épandage de biosolides de classe B, prenant comme modèle un Coxsackievirus, conclut à un risque annuel d'infection supérieur de 0,78 à 2,1 % par an lors d'une exposition pulmonaire (Tanner *et al.*, 2008). Dans un contexte d'étude similaire, d'autres chercheurs ont également évalué les risques sanitaires pour les populations avoisinantes des lieux d'épandage. Les risques d'infection annuels seraient faibles : $3,8 \cdot 10^{-5}$ à $4,7 \cdot 10^{-6}$ pour les coxsackievirus, selon la durée d'exposition de l'individu (1 ou 8 heures/jour) (Brooks *et al.*, 2005 ; Pepper *et al.*, 2006).

Les données épidémiologiques sont insuffisantes pour conclure sur l'existence d'un risque sanitaire lié à la présence de micro-organismes dans les EUT pour des opérations de REUT. Par ailleurs, un faible nombre de données relatives à la composition microbiologique des EUT réutilisées est disponible.

3.4.5 Analyse de risque

A partir des micro-organismes sélectionnés précédemment (micro-organismes pathogènes potentiellement présents dans les EUT et pouvant induire des infections après exposition par voie respiratoire ou cutanéomuqueuse), le GT a évalué la possibilité de réaliser une évaluation du risque.

L'évaluation quantitative du risque microbien est strictement conditionnée par l'existence de relation dose-effet ou dose-réponse spécifique des micro-organismes pathogènes recherchés. Dans le cas de la saisine, cette exigence est circonscrite aux expositions par voies respiratoire et cutanéomuqueuse, ce qui a clairement constitué le facteur limitant de l'ERS. De ce fait, l'ERS liés aux micro-organismes véhiculés par des gouttelettes d'EUT est actuellement très difficile à réaliser pour les raisons suivantes :

- Les mesures d'exposition sont souvent indisponibles. En effet, la collecte et la détection/quantification de micro-organismes aéroportés restent aujourd'hui parcellaires, et ce d'autant plus que le sujet concerne les EUT.

¹⁸ Il existe deux classes de biosolides (NRC, 2002 ; US EPA, 2000) : ceux de **la classe A** sont traités afin de réduire les micro-organismes pathogènes au-dessous des niveaux détectables et ils peuvent être employés sans aucune restriction d'usage ; ceux de **la classe B** sont également traités pour réduire les micro-organismes pathogènes, mais contiennent toujours des niveaux détectables. Ils présentent des restrictions d'utilisation pour limiter au maximum l'exposition des personnes ou des animaux jusqu'à ce que les facteurs environnementaux tels que la chaleur, la lumière du soleil, ou la dessiccation aient contribué à la réduction des micro-organismes pathogènes. Ces biosolides de classe B ne peuvent pas être vendus, donnés, ou être utilisés dans les lieux publics.

- La plupart des études sur les risques liés à l'aspersion s'est limitée à la recherche d'indicateurs de contamination fécale des eaux usées potentiellement retrouvés dans les aérosols. Rares sont les travaux documentant la présence et la survie de micro-organismes pathogènes.
- Les relations dose-réponse pour les deux voies d'exposition considérées sont inexistantes. Seule une relation dose-réponse pour la voie respiratoire a été décrite pour *Legionella pneumophila* pour la légionellose et la fièvre de Pontiac (Armstrong *et al.*, 2007, 2008). Celle-ci a été déterminée chez le cochon d'inde et les données retenues sont cohérentes avec le travail d'Ambroise (2003). La transposition à l'Homme pose néanmoins des problèmes. Les données issues des épidémies choisies par Armstrong et ses collaborateurs sont controversées (Kura, 2010), et l'application de cette relation en milieu environnemental extérieur montrerait un décalage de plusieurs ordres de grandeur (Schlosser 2009 ; Ambroise 2003 ; Wallet 2010). Par ailleurs, les données utilisées sont anciennes et les résultats peuvent être modifiés en fonction de la souche considérée.

Compte tenu des incertitudes, une estimation quantitative des risques sanitaires liés à l'aspersion d'EUT n'est pas possible en l'état actuel des connaissances.

4 Conclusion

L'objectif de l'expertise était d'évaluer les risques sanitaires liés à l'aspersion d'EUT pour l'irrigation des cultures, l'arrosage des espaces verts (dont les golfs) et le lavage des voiries pour la population générale et les travailleurs lors d'une exposition directe par voie respiratoire (*via* l'inhalation d'aérosols d'EUT) ou par contact cutanéomuqueux (*via* des gouttelettes ou des aérosols d'EUT).

Les dangers, associés à la REUT sont d'origine microbiologique (agents pathogènes d'origines humaine ou environnementale) et chimique.

Actuellement, en l'absence de méthodologie, peu de données sont disponibles sur la détection, la quantification et la dissémination des contaminants microbiologiques et chimiques lors d'aspersion d'EUT.

S'agissant de la caractérisation des risques chimiques, sur la base des connaissances actuelles, une évaluation des risques sanitaires a pu être réalisée pour la voie respiratoire, indifféremment pour les enfants et les adultes, à partir d'hypothèses maximalistes sur 10 substances. Aucun risque sanitaire sur celles-ci n'a été mis en évidence.

S'agissant de la caractérisation des risques sanitaires d'origine microbiologique, la faisabilité d'une analyse des risques a été explorée. Cependant du fait i) du manque de données d'exposition, ii) de l'existence d'une seule relation dose-réponse établie pour *Legionella pneumophila* pour la voie respiratoire et non transposable aux autres micro-organismes, iii) des conditions complexes de survie des micro-organismes dans l'environnement et, iv) de l'absence de valeur de seuil acceptable pour caractériser le risque, il n'a pas été possible de réaliser une analyse des risques microbiologiques.

Le GT a par conséquent arrêté ses travaux à une identification des dangers. Le GT tient à attirer l'attention sur le caractère très aléatoire d'une caractérisation du risque infectieux lié à la REUT par aspersion, celui-ci étant extrêmement variable selon la STEP considérée et fortement influencé par le climat, la localisation géographique et l'état sanitaire des populations.

En l'état actuel des connaissances, le GT ne peut pas conclure à l'absence totale de risques chimiques et microbiologiques liés à la REUT par aspersion par voies respiratoire et cutanéomuqueuse. Les diverses recommandations internationales préconisent, quant à elles, de limiter au maximum l'exposition aux aérosols en adoptant des mesures préventives sur site.

Le GT estime donc nécessaire de limiter l'exposition de l'Homme aux EUT lors des opérations d'aspersion.

Le GT souligne qu'au-delà des risques sanitaires directs pour l'Homme, la dissémination dans l'environnement des contaminants chimiques (notamment les polluants organiques persistants) et microbiologiques présents dans les EUT pouvant induire notamment une contamination indirecte des populations devrait être étudiée.

En l'absence de données d'exposition relatives au lavage des voiries et plus particulièrement à la taille des particules émises par les différents systèmes, aucune quantification du risque sanitaire n'a pu aboutir.

5 Recommandations

Pour élaborer ses recommandations, le GT s'est appuyé sur les premiers résultats d'une étude française financée par l'Anses¹⁹ et dont les données ne sont pas publiées. L'objectif était d'évaluer le risque de dispersion d'aérosols biologiques par aspersion d'EUT pour des asperseurs dédiés à l'arrosage de parcs et jardins et ayant une portée ne dépassant pas 15 mètres.

Les deux premiers volets de cette étude ont confirmé que le vent était un facteur important de dispersion de particules d'EUT.

Notamment, pour des vitesses de vent variant entre 1,8 et 3,7 m/s, des particules d'eaux contenant des micro-organismes initialement présents dans les EUT peuvent être recueillies à une distance correspondant à 2 fois la portée de l'asperseur.

La direction du vent est également une donnée importante puisqu'il a été montré que pour un vent d'une vitesse de 1,9 m/s à contre courant du jet, des particules d'eau contenant des micro-organismes initialement présents dans les EUT pouvaient être retrouvées à au moins deux fois la portée de l'asperseur sous le vent.

5.1 Irrigation des cultures, arrosage des espaces verts et des golfs

Concernant la modification de l'arrêté du 2 août 2010, les recommandations suivantes viennent compléter et préciser l'encadrement réglementaire de l'irrigation des cultures, l'arrosage des golfs et espaces verts par aspersion et visent à se substituer à l'étude expérimentale préconisée dans l'article 4 et définie dans l'annexe III.

De ce fait, le niveau d'instruction des dossiers de REUT par aspersion devient le même que pour tout type de demande de REUT à savoir que l'instruction doit être menée par les services préfectoraux du département où l'opération de REUT doit être réalisée.

Ces recommandations concernent (figure 10) :

- les qualités d'eaux ;
- l'encadrement des pratiques ;
- la limitation de l'exposition humaine.

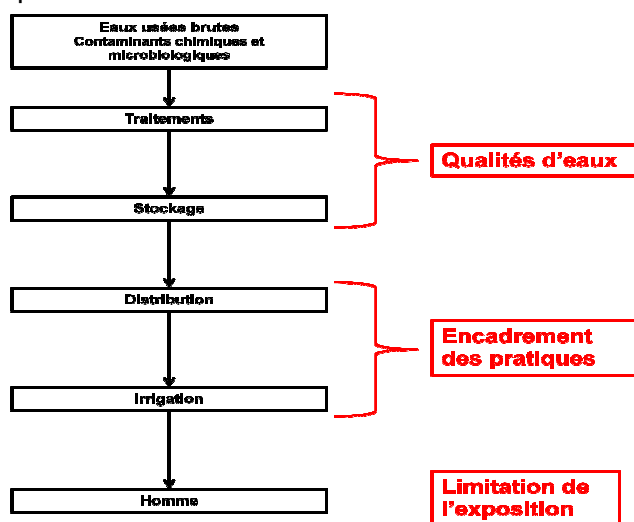


Figure 10 : Recommandations liées à la REUT par aspersion pour l'irrigation des cultures, l'arrosage des espaces verts et des golfs.

¹⁹ Anses (2010). Convention de recherche et de développement : Évaluation du risque de dispersion d'aérosols biologiques par aspersion d'eaux usées traitées. Rapport non publié.

5.1.1 Qualité de l'eau

S'agissant des qualités d'EUT réutilisées, le GT recommande le respect de l'arrêté du 2 août 2010 concernant :

- les qualités d'eaux définies dans l'annexe I pour les usages tels que définis dans l'annexe II du même arrêté ;
- le programme de surveillance des eaux usées traitées défini dans l'article 10.

Concernant le stockage, comme mentionné dans l'article 3 de l'arrêté du 2 août 2010, les conditions de stockage des EUT ne doivent pas favoriser le développement de vecteurs ou d'agents pathogènes.

Le stockage d'eau en vue d'une irrigation ne devra pas être réalisé en cas de fonctionnement dégradé momentané de la STEP.

Le GT rappelle que d'autres ressources en eaux de surface de qualités généralement non contrôlées spécifiquement pour cet usage sont utilisées pour l'aspersion de cultures et espaces verts.

5.1.2 Encadrement des pratiques

5.1.2.1 Liées à la conception et à la gestion du réseau de distribution

Le réseau de distribution des EUT doit être conçu de telle manière qu'il ne dégrade pas la qualité de l'eau. Tout doit être mis en œuvre de façon à éviter la possible prolifération d'espèces microbiennes, à ce titre, il importe de proscrire les bras morts.

Le réseau devrait être conçu de telle sorte que des purges puissent être facilement réalisées par le gestionnaire.

Une vidange totale du réseau d'irrigation à la fin de la saison d'irrigation et un rinçage sous pression à la fin de la saison d'irrigation et au moment de sa mise en route devraient être réalisés. Des procédures de nettoyage et d'entretien de ce réseau, déterminées par les exploitants, devraient être élaborées et mises en place.

5.1.2.2 Liées aux systèmes d'aspersion et à l'irrigation par aspersion

5.1.2.2.1 **Systèmes d'aspersion**

L'utilisation d'asperseurs basse pression, *i.e.* inférieure à 3,5 bars pour les turbines ou les asperseurs de couverture intégrale et 5,5 bars pour les canons d'arrosage, devrait être privilégiée dans les zones ventées. De même l'utilisation d'asperseurs ayant une faible apogée devrait être préférée.

5.1.2.2.2 **Vitesse de vent et distances de sécurité**

L'arrêté du 2 août 2010 préconise des distances de sécurité définies pour protéger des activités mais ne visant pas à limiter l'exposition humaine.

L'étude « Évaluation du risque de dispersion d'aérosols biologiques par aspersion d'eaux usées traitées » (Anses, 2010) a démontré que le vent (direction et vitesse) était un facteur important de dispersion des particules d'eau : pour des vitesses de vent supérieures à 1,8 m/s, des particules d'eau contenant des micro-organismes initialement présents dans les EUT ont été retrouvées à des distances correspondant à deux fois la portée de l'asperseur sous le vent. Il est à noter qu'au-delà de 4m/s, des particules d'eau sont retrouvées à une distance de plus de trois fois la portée de l'asperseur (annexe 7).

Afin de limiter l'exposition des populations au-delà de la portée théorique de l'asperseur, les moyens préconisés par le GT sont :

- la mise en place des distances de sécurité modulées en fonction du type d'asperseur utilisé, correspondant *a minima* à deux fois la portée de l'asperseur ;

- l'installation d'obstacles physiques (haies végétalisées, murs, etc.) autour des sites irrigués ;
- un arrêt de l'aspersion au-delà d'une vitesse limite de vent (par exemple par l'installation de pompage asservi à un anémomètre) mais en l'état actuel des connaissances, le GT n'est pas en mesure de proposer une valeur seuil de cette vitesse.

5.1.2.2.3 Programme d'irrigation

En complément des informations demandées dans l'article 9 de l'arrêté du 2 août 2010, l'exploitant devrait fournir aux autorités compétentes avant le début de la campagne d'irrigation la description et le modèle des asperseurs, leur pression de fonctionnement, le détail des surfaces irriguées et leurs pentes, les distances des surfaces par rapport aux habitations et aux voies de circulation, le volume d'eau dans la bêche de stockage le cas échéant, les périodes d'irrigation.

Conformément à l'article 12 de l'arrêté, l'exploitant consigne son programme d'irrigation incluant les éléments précités dans un registre et le tient à disposition des autorités compétentes.

5.1.3 Limitation de l'exposition

5.1.3.1 Résidents – Passants – Utilisateurs des espaces verts – Sportifs

5.1.3.1.1 Période d'arrosage

L'annexe II de l'arrêté du 2 août 2010 relative aux contraintes d'usage autorise l'irrigation des espaces verts et forêts ouverts au public (notamment golfs) en dehors des horaires d'ouverture au public.

En effet, une interdiction de présence du public au moment de l'aspersion permettrait de réduire considérablement l'exposition.

De ce fait, l'arrosage en période nocturne pourrait être privilégié pour les espaces verts (en général moins d'évaporation et donc moins de dispersion) ce qui permettrait en outre de limiter l'exposition du public au moment de l'arrosage. Néanmoins la période diurne est plus favorable à l'abattement microbien (Teltsch *et al.*, 1980 ; Karra et Katsivela, 2007).

Les autorités australiennes recommandent la fermeture des espaces verts arrosés aux usagers par des EUT pendant 1 à 4 heures suivant l'arrosage. Le GT attire l'attention sur cette recommandation qui permettrait de limiter l'exposition.

5.1.3.1.2 Information du public

Des panneaux à l'entrée des espaces verts ouverts au public et des golfs devraient être installés de manière à informer les utilisateurs de l'utilisation des EUT. Ces panneaux devraient également rappeler aux utilisateurs les bonnes règles d'hygiène de manière à ne pas être exposés aux éventuels contaminants présents dans les EUT par contact main-bouche, frottement des yeux après avoir touché les zones arrosées par des EUT, etc..

5.1.3.2 Professionnels

Les professionnels ne devraient pas se trouver sur les sites irrigués au moment de l'aspersion.

Les mesures préventives suivantes devraient être suivies :

- Prévention collective :
 - Informer les professionnels sur les éventuels risques sanitaires liés à la REUT par aspersion et les mesures préventives à respecter (dont les pratiques d'hygiène de base) ;
 - Assurer une formation particulière à l'hygiène et particulièrement au lavage des mains (risque de manuportage à la bouche et aux muqueuses du visage) ;
 - Prévoir une double rangée de vestiaires séparés : une pour les vêtements de ville et une pour les vêtements de travail ;

- Mettre à disposition des douches et des lavabos en nombre suffisant, ainsi que du savon (savon liquide de préférence, en distributeur à commande au coude) et des essuie-mains jetables ou des sèche-mains à air chaud ;
 - Fournir aux travailleurs qui ne peuvent avoir accès à des installations sanitaires, des moyens de nettoyage sans eau (mousse, gel liquide ou lingettes antiseptiques), à séchage rapide ou des conteneurs d'eau potable et du savon ;
 - Nettoyer toute blessure immédiatement et la recouvrir d'un pansement imperméable ;
 - Recouvrir toute plaie cutanée sur peau dénudée avec un pansement imperméable, avant de débiter le travail ;
 - Assurer un nettoyage adéquat et régulier des locaux des travailleurs ;
- Prévention individuelle :
- Fournir des vêtements de travail en nombre suffisant pour être changés pour autant que de besoin, les faire nettoyer et interdire de les ramener à la maison ;
 - Conseiller le port de gants imperméables dès qu'il y a entrée sur un site qui a été arrosé peu de temps auparavant et qu'il est prévisible que le travailleur sera en contact avec des objets arrosés. Un petit gant de coton peut être inséré dans le gant pour absorber l'humidité ;
 - Interdire de circuler dans les espaces verts durant l'aspersion. Si un travailleur se trouvait obligé de le faire, il devrait porter :
 - un survêtement imperméable ;
 - des lunettes de sécurité ou un écran facial anti-éclaboussures ;
 - des bottes imperméables s'il devait circuler sur le sol peu de temps après aspersion ;
 - Conseiller le port systématique de protection individuelle des yeux s'il y a risque d'éclaboussures au niveau du visage (lors de nettoyage, de réparation ou de manipulation de l'asperseur, de buse ou tout autre matériel relié) : lunettes avec protecteurs latéraux rigides ou un écran facial anti éclaboussures ;
- Prévention médicale :
- Faire assurer un suivi médical régulier enregistrant tout symptôme pouvant être rapporté à une exposition aux EUT réutilisées par aspersion : troubles respiratoires, cutanés ou digestifs semblables à ceux retrouvés dans les métiers du traitement des eaux usées, en particulier si leur occurrence est rythmée par le travail ;
 - Prévoir la collecte et le traitement de ces informations au niveau régional (Consultation de pathologie professionnelle, ARS, Cire, etc.) afin de documenter les éventuels effets sanitaires de cette exposition et faire progresser la connaissance des risques.

5.1.4 Acquisition de connaissances

Compte tenu des lacunes identifiées et/ou des données encore fragmentaires disponibles qui n'ont pas permis de mener à son terme l'ERS liés à la REUT par aspersion, et puisque l'un des objectifs du plan national assainissement est d'intégrer l'assainissement dans une logique de développement durable en favorisant par exemple la REUT (en lien avec la prise en compte des enjeux du changement climatique), des études et/ou des travaux de recherche devraient être menés dans le but de :

- Caractériser quantitativement la composition chimique des EUT notamment en élargissant la surveillance de la présence de micropolluants dans les eaux rejetées au milieu naturel par les stations de traitement des eaux usées supérieures à 10000 EH prévue par la

circulaire du 29 septembre 2010²⁰ à toutes les STEP inférieures à 10000 EH prévoyant de réutiliser leurs EUT ;

- Caractériser quantitativement la composition microbiologique des EUT et notamment rechercher sur des sites pilotes les micro-organismes listés dans l'annexe III de l'arrêté du 2 août 2010 pour déterminer l'efficacité des filières de traitement vis-à-vis de ces derniers (plus particulièrement pour les amibes et les légionelles) et connaître le niveau de contamination des EUT par ces mêmes micro-organismes ;
- Réaliser des études épidémiologiques à proximité de sites (golfs, espaces verts notamment) où est pratiquée la REUT par aspersion ;
- Mener des campagnes de mesures d'aérosols autour des zones aspersées afin de les caractériser d'un point de vue chimique et microbiologique et notamment poursuivre l'étude expérimentale pour évaluer le risque de dispersion d'aérosols biologiques par aspersion d'EUT pour l'irrigation des cultures afin d'estimer la dispersion des particules au-delà de la portée, affiner les distances de sécurité et évaluer l'effet d'éventuels écrans ;
- Produire des données relatives aux relations dose-réponse des micro-organismes retrouvés dans les EUT pour une exposition par voies respiratoire et/ou cutanéomuqueuse ;
- Produire des données toxicologiques relatives aux contaminants chimiques retrouvés dans les EUT pour une exposition par voies respiratoire et/ou cutanéomuqueuse ;
- Évaluer les effets des interactions des différents composés chimiques présents dans les EUT.

Par ailleurs le GT recommande la création d'une base de données regroupant l'ensemble des résultats du contrôle sanitaire des sites où est pratiquée la REUT (qualités d'eaux, distances de sécurité, maladies recensées) afin de bénéficier d'un retour d'expérience sur ces pratiques.

5.1.5 Contrôle des points critiques

La figure 11 indique les points d'action pour limiter l'exposition des travailleurs et de la population générale au cours d'irrigation pas aspersion.

²⁰ DEB (2010). Circulaire du 29/09/10 relative à la surveillance de la présence de micropolluants dans les eaux rejetées au milieu naturel par les stations de traitement des eaux usées. BO/MEEDDM n°2010/21 du 25 novembre 2010 – NOR : DEVO1022584C.

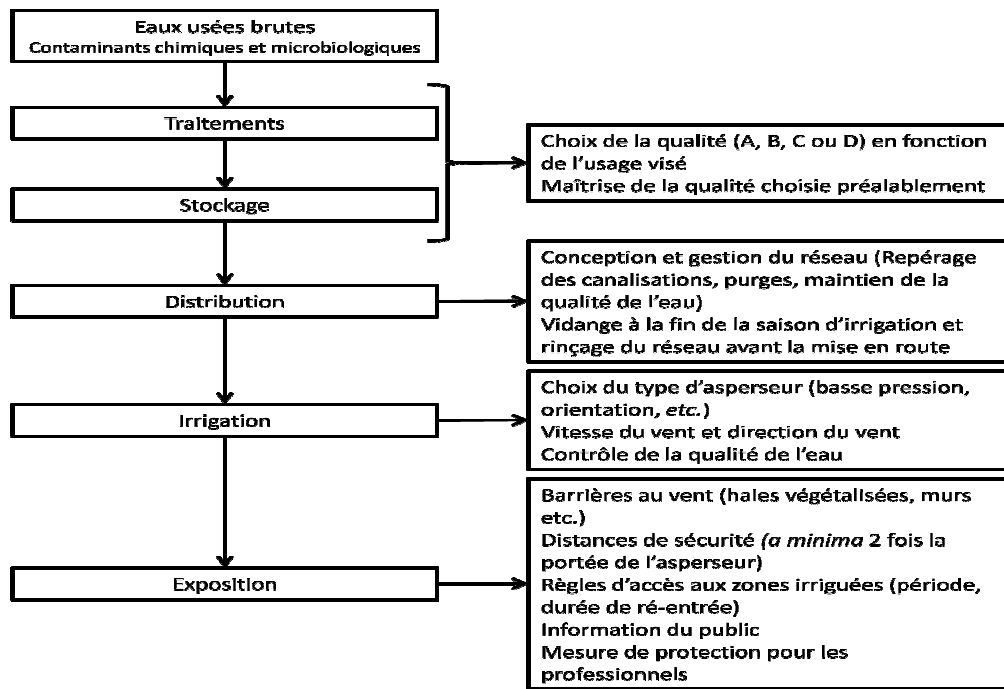


Figure 11 : Points critiques.

5.2 Lavage des voiries

En l'état actuel des connaissances, le GT ne peut se prononcer sur le risque sanitaire lié à l'utilisation d'EUT pour le lavage des voiries.

Afin de pouvoir mener à bien une ERS liés à cette pratique, il recommande la réalisation d'une étude permettant de caractériser les expositions, en particulier celles des travailleurs, en fonction du matériel utilisé.

De même que pour l'irrigation, d'autres ressources en eau de qualités généralement non contrôlées ou contrôlées partiellement sont utilisées pour le lavage des voiries, un recensement et une compilation des qualités d'eau utilisées dans une base de données seraient importants.

BIBLIOGRAPHIE, RÉGLEMENTS ET NORMES

1) BIBLIOGRAPHIE

- Académie nationale de pharmacie (2008). Médicaments et environnement. 103 p. http://www.acadpharm.org/dos_public/1_Rapport_Med_Env_version_JMH_def_JPC.pdf.
- Afssa (2008). Réutilisation des eaux usées traitées pour l'arrosage ou l'irrigation. 69 p.
- Afssa (2010). Avis de l'agence française de sécurité sanitaire des aliments relatifs à l'évaluation des risques sur les effluents issus des établissements de transformation de sous-produits animaux de catégories 1,2 ou 3 à des fins de réutilisation pour l'irrigation des cultures destinées à la consommation humaine. 34 p.
- Altmeyer N., Abadia G., Schmitt S. *et al.* (1990). Risques microbiologiques et travail dans les stations d'épuration des eaux usées. *Fiche médico-technique n°34* ; DMT 44 TC 34.
- Ambroise D. (2003). Influence de la variabilité de la mesure des bactéries de l'air sur l'évaluation du risque infectieux : exemple de la légionellose. Nancy-I: université Henri Poincaré.
- Anderson J., Adin A., Crook J. *et al.* (2001). Climbing the ladder: a step by step approach to international guidelines for water recycling. *Water Science and Technology* ; 43 (10) : 1-8.
- Angelakis A.N., Durham B., Marecos do Monte M.H.F. *et al.* (2007). Wastewater recycling and reuse in eureau countries : with emphasis on criteria used. Report of the EUREAU Water Reuse Group EU1/2-07-WR-40, 42 p.
- Anses (2010). Convention de recherche et de développement : Évaluation du risque de dispersion d'aérosols biologiques par aspersion d'eaux usées traitées. Rapport non publié.
- Armstrong T.W. et Haas C.N. (2007). A quantitative microbial risk assessment model for Legionnaires' disease: animal model selection and dose-response modeling. *Risk Analysis* ; 27 (6) : 1581-1596.
- Armstrong T.W. et Haas C.N. (2008). Legionnaires' disease: evaluation of a quantitative microbial risk assessment model. *Journal of Water and Health*. ; 6 (2) :149-166.
- Arundel A.V., Sterling E.M., Biggin J.H. *et al.* (1986) Indirect health effects of relative humidity in indoor environments. *Environmental Health Perspectives* ; 65 : 351–361.
- Asano T. (1998). Wastewater reclamation and reuse. Editions Technomic. Lancaster. 1528p.
- ATSDR (2004). Toxicological Profiles for cobalt. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Atlanta, GA: U.S department of Health and Human Services, Public Health Services. <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp33.html>. consulté le 27 octobre 2011.
- ATSDR (2008) Draft - Toxicological profile for chromium. Agency for toxic substances and disease registry, Draft No., Atlanta. www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp.asp?id=62&tid=17.
- Australian EPA (2006). Australian guidelines for water recycling : managing health and environmental risks (phase 1). Camberra, Nov 2006. 389 p.
- Azar A., Snee R.D., Habidi K. (1972). Relationship of community levels of air lead and indices of lead absorption. In: Environmental Health Aspects of Lead. C.R. an International Symposium. Amsterdam, The Netherlands, October 1972.
- Backer L.C., McNeel S.V., Barber T. *et al.* (2010). Recreational exposure to microcystins during algal blooms in two California lakes. *Toxicon* ; 55 (5) : 909-921.
- Barré H., Féray C., Gréaud-Hoveman L. *et al.* Convention ONEMA – INERIS 2008. Action 11, Bilan de l'action nationale de recherche et de reduction des rejets des substances dangereuses dans l'eau, volet station d'épuration. INERIS, fév 2009. 56 p.
- Bauer H., Fuerhacker M., Zibuschka F. *et al.* (2002). Bacteria and fungi in aerosols generated by two different types of wastewater treatment plants. *Water Research* ; 36 (16) :3965-3970.

- Birks R., Colbourne J., Hills S. *et al.* (2004). Microbiological water quality in a large in-building, water recycling facility. *Water Science and Technology* ; 50 (2) : 165-172.
- Blatny *et al.* (2008). Tracking airborne legionella downwind. *Environmental Science & Technology* ; 42 (19) : 7028-7028.
- Blumenthal U.J., Duncan Mara D., Peasey A. *et al.* (2000). Guidelines for the microbiological quality of treated wastewater used in agriculture: recommendations for revising WHO guidelines. *Bulletin of the World Health Organization* ; 78 (9) : 1104-1116.
- Boffil-Mas S., Pina S. et Girones R. (2000). Documenting the epidemiologic patterns of polymaviruses in human populations by studying their presence in urban sewage. *Applied and Environmental Microbiology* ; 66 : 238-245.
- Boutin C., Héduit A., Helmer J.M. Convention de partenariat ONEMA – Cemagref 2008, Domaine : Ecotechnologies et pollutions, Action 28 : « Réutilisation des eaux usées traitées ». Cemagref, nov 2009. 100p.
- Brooks J.P., Tanner B.D., Gerba C.P. *et al.* (2005). Estimation of bioaerosol risk of infection to residents adjacent to a land applied biosolids site using an empirically derived transport model. *Journal of Applied Microbiology* ; 98 : 397-405.
- Brown C.C. et Chu K.C. (1983). Approaches to epidemiologic analysis for the analysis of prospective and retrospective studies: Example of lung cancer and exposure to arsenic. Proceeding of the SIMS Conference on Environmental Epidemiology - Alta, Risk Assessment.
- Brown C.C. et Chu K.C. (1983). Implications of the multistage theory of carcinogenesis applied to occupational arsenic exposure. *Journal of the National Cancer Institute* ; 70 (3) : 455-63.
- Cadiergues B. (2000). Boues d'épuration et microorganismes pathogènes : influence de différents traitements et stockage. Thèse de doctorat. Université de Nancy I. 239 p.
- Campos C., Guerrero A. et Cárdenas M. (2002). Removal of bacterial and viral faecal indicator organisms in a waste stabilization pond system in Choconta, Cundinamarca (Colombia). *Water Science and Technology* ; 45 : 61-66.
- Carducci A., Tozzi E., Rubulotta E. *et al.* (2000). Assessing airborne biological hazard from urban wastewater treatment. *Water Research* ; 34 (4) : 1173-1178.
- Carlander A. (2006). Assessment of Microbial Health Hazards Associated With Wastewater Application to Willow Coppice, Coniferous Forest and Wetland. (Department of Crop Production Ecology, Swedish University of Agricultural Sciences).
- Carrera M., Kesavan J., Zandomeni R. *et al.* (2005): Method to Determine the Number of Bacterial Spores Within Aerosol Particles. *Aerosol Science and Technology* ; 39 (10) : 960-965.
- Choubert J.-M., Martin-Ruel S., Budzinski H. *et al.* (2011). Evaluer les rendements des stations d'épuration - Apports méthodologiques et résultats pour les micropolluants en filières conventionnelles et avancées. *Techniques-Sciences-Méthodes* ; 1/2 : 44-62.
- Chovil A., Sutherland R.B. et Halliday M. (1981). Respiratory cancer in a cohort of nickel sinter plant workers. *British Journal of Industrial Medicine* ; 38 : 327-333.
- Cirelli S., Consoli V. Di Grande (2008). Long-term storage of reclaimed water: the case studies in Sicily (Italy). *Desalination* ; 218 : 62-73.
- Clark S.C. (1987). Potential and actual biological related health risk of wastewater industry employment. *Journal of the Water Pollution Control Federation* ; 59 : 999-1008.
- Coquery M., Pomiès M., Martin-Ruel S., *et al.* (2011). Mesurer les micropolluants dans les eaux brutes et traitées - Protocoles et résultats pour l'analyse des concentrations et des flux. *Techniques Sciences Méthodes* ; 1/2 : 25-43.
- Cox C. S. (1998). The microbiology of air. Dans Topley & Wilson's microbiology and microbial infections (eds L. Collier, A. Balows & M. Sussman), pp. 339-350, 9th edn. London,UK: Arnold, Oxford University Press.
- Cox C. S. (1989). Airborne bacteria and viruses. *Sci Prog* ; 73 : 469-499.

- Davis, K.J. (1965). Pathology report on mice fed aldrin, dieldrin, heptachlor or heptachlor epoxide for two years. Internal FDA memorandum to Dr. A.J. Lehman. July 19. (Cité dans: U.S. EPA, 1986).
- Deumier J.M, Lacroix B., Bouthier A. *et al.* (2006). Stratégies de conduite de l'irrigation du maïs et du sorgho dans les situations de ressource en eau restrictive. www.irrinov.arvalisinstitutduvegetal.fr.
- Devaux I., Gerbaud L., Planchon C. *et al.* (2001). Infectious risk associated with wastewater reuse: an epidemiological approach applied to the case of Clermont-Ferrand, France. *Water Science and Technology* ; 43(12) : 53 – 60.
- Donohue J., Orme-Zavaleta J., Burch M. *et al.* (2008). Risk Assessment Workgroup report. *Advances in Experimental Medicine and Biology Journal* ; 619 : 759-829.
- Douwes J., Mannetje A., Heederik D. (2001). Work related symptoms in sewage treatment workers. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine* ; 8 : 39-45.
- Douwes J., Thorne P., Pearce N. *et al.* (2003). Bioaerosol health effects and exposure assessment : progress and prospects. *Annals of Occupational Hygiene* ; 47 (3) : 187 -200.
- Dowd S.E. et Maier R.M. (2000). Aeromicrobiology in environmental microbiology. Édité par R.M. Maier, I.L. Pepper, et C.P., Gerba. Academic Press, San Diego, Calif. 91–122 p.
- Dumontet S., Dinel A., Baloda S. (1997). Pathogen reduction in biosolids by composting and other biological treatments: a literature review. International congress, Maratea. 10-13 octobre 1997, 251-295.
- Enterline P.E., Marsh G.M. (1982). Cancer among workers exposed to arsenic and other substances in a copper smelter. *American Journal of Epidemiology* ; 116 (6) : 895-911.
- Étude Inter Agences n°27 (1994). L'assainissement des agglomérations: techniques d'épuration actuelles et évolutions. Collection des cahiers techniques inter-Agences : 171 p.
- Fannin K.F., Vana S.C., Jakubowski W. (1985). Effect of an activated sludge wastewater treatment plant on ambient air densities of aerosols containing bacteria and viruses. *Applied and Environmental Microbiology* ; 49 (5) : 1191-1196.
- Fattal B., Telsch B. (1982). Viruses in wastewater aerosols. *Environment international* ; 7 (1) : 35-38.
- Fattal B., Wax Y., Davies M. *et al.* (1986). Health risks associated with wastewater irrigation : an epidemiological study. *American Journal of Public Health* ; 76 : 977-979.
- Finch, G., M. Belosevic (2002). Controlling *Giardia* spp. and *Cryptosporidium* spp. in drinking water by microbial reduction processes. *Journal of Environmental Engineering and Science* ; 1 : 17-31.
- Garrec N. (2003) Détection et étude de la survie de *Listeria monocytogenes* dans les boues d'épuration destinées à l'épandage, Nathalie Garrec, thèse de Doctorat, Université d'Angers, 172 p.
- Gennaccaro A. L., McLaughlin M. R., Quintero-Betancourt W. *et al.* (2003). Infectious *Cryptosporidium parvum* Oocysts in Final Reclaimed Effluent. *Applied and Environmental Microbiology* ; 69 : 4983-4984.
- Gilbert Y., Duchaine C. (2009) Bioaerosols in industrial environments : review. *Canadian Journal of Civil Engineering* ; 36 : 1873–1886.
- Glaser J. R., Ledbetter J. O. (1967). Sizes and numbers of aerosols generated by activated sludge aeration. *Water Sewage Works* ; 114 : 219-221.
- Gregersen P., Grunnet K., Uldum S.A. *et al.* (1999). Pontiac fever at a sewage treatment plant in the food industry. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health* ; 25 (3) : 291-295.
- Harwood, V. J., Levine A. D., Scott T. M. *et al.* (2005). Validity of the Indicator Organism Paradigm for Pathogen Reduction in Reclaimed Water and Public Health Protection. *Applied and Environmental Microbiology* ; 71 : 3163-3170.

- He X. Q., Cheng L., Zhang D. Y. *et al.* (2011). One-year monthly survey of rotavirus, astrovirus and norovirus in three sewage treatment plants in Beijing, China and associated health risk assessment. *Water Science and Technology* ; 63 : 191-198.
- Hendawi M. (2006). Études des pertes d'eau par évaporation et dérive sur un jet d'asperseur, these de doctorat, Université Aix-Marseille II.
- Higgins I., Welch K., Burchfiel C. (1982). Mortality of Anaconda smelter workers in relation to arsenic and other exposures. Dep. of Epidemiology, University of Michigan, Ann Arbor, MI.
- Hijnen W. A. M., Beerendonk E. F., Medema G. J. (2006). Inactivation credit of UV radiation for viruses, bacteria and protozoan (oo)cysts in water: A review. *Water Research* ; 40 : 3-22.
- Hirani Z.M., De Carolis J.F., Adham S.S. *et al.* (2010). Peak flux performance and microbial removal by selected membrane bioreactor systems. *Water Research* ; 44 (8) : 2431-2440.
- Ho L., Hoefel D., Palazot S. *et al.* (2010). Investigations into the biodegradation of microcystin-LR in wastewaters. *Journal of Hazardous Material* ; 180 (1-3) : 628-33.
- Hunter P.R. (1998). *Waterborne disease – Epidemiology and ecology*. Chichester. John Wiley & Sons.
- Huot C. (2008) Portrait québécois et évaluation du risque à la santé de la réutilisation des eaux usées domestiques traitées pour l'irrigation de grandes surfaces gazonnées. Institut national de santé publique du Québec. 73 p.
- INERIS. (2009) Les substances dangereuses pour le milieu aquatique dans les rejets au milieu naturel. Bilan de l'action nationale de recherche et de réduction des rejets de substances dangereuses dans l'eau. Volet stations d'épuration. Action 11 : Convention ONEMA-INERIS 2008. 55 p. (Rapport d'étude n°DRC-09-95687-02648A).
- Israeli E., Gitelman J., Lighthart B. (1994). Death mechanisms in bioaerosols. In *Atmospheric microbial aerosols, theory and applications*. Édité par B. Lighthart et A.J. Mohr. Chapman and Hall, New York. pp. 166-191.
- Joss A., Keller E., Alder A.C. *et al.* (2005). Removal of pharmaceuticals and fragrances in biological wastewater treatment. *Water Research* ; 39 : 3139-3152.
- Kamizoulis, G. (2008). Setting health based targets for water reuse (in agriculture). *Desalination* ; 218, 154-163.
- Karra S., Katsivela E. (2007). Microorganisms in bioaerosol emissions from wastewater treatment plants during summer at a Mediterranean site. *Water Research* ; 41: 1355-1365.
- Korzeniewska E., Filipkowska Z., Gotkowska-Plachta A. *et al.* (2009). Determination of emitted airborne microorganisms from a BIO-PAK wastewater treatment plant. *Water Research* ; 43 (11) : 2841-2851.
- Kuo D.H.W., Simmons F.J., Blair S., *et al.* (2010). Assessment of human adenovirus removal in a full-scale membrane bioreactor treating municipal wastewater. *Water Research* ; 44 : 1520-1530.
- Kura F, Alelura-Maekawa J, Chang B. *et al.* (2010). The links between Legionella concentrations in spa water and outbreaks of legionellosis Poster presentation P 1.17, 25th EWGLI meeting, 15-17 september, Copenhagen, Danemark.
- Larrouy A. (2005). Les gisements d'économies d'eau dans les usages collectifs sur le territoire du pays Cœur Entre deux mers, Rapport de stage de DESS, Institut EGID Bordeaux III et Syndicat Mixte du Pays Cœur Entre deux Mers, 49 p.
- Lazarova V., Bahri A. (2008). Water reuse practices for agriculture, in *Water Reuse – An international survey of current practice, issues and needs*, Jimenez B. and Asano T. (Eds), IWA publishing, 631 p.
- Lee-Feldstein A. (1983). Arsenic and respiratory cancer in humans: follow-up of copper smelter employees in Montana. *Journal of the National Cancer Institute* ; 70 (4) : 601-10.

- Lemarchand K., Masson L., Brousseau R. (2004). Molecular biology and DNA microarray technology for microbial quality monitoring of water. *Critical Reviews in Microbiology* ; 30 : 145-172.
- Lightart B., Mohr A.J. (1987). Estimating the downwind concentrations of viable airborne microorganisms in dynamic atmospheric conditions. *Applied and Environmental Microbiology* ; 53 : 1580-1583.
- Lighthart B., Shaffer B.T. (1997). Increased Airborne Bacterial Survival as a Function of Particle Content and Size. *Aerosol Science and Technology* ; 27 (3) : 439-446.
- Lindberg E., Hedenstierna G. (1983) Chrome plating: Symptoms, finding in the upper airways, and effects on lung functions. *Archives of Environmental Health* ; 38(6) : 367-374.
- Lucena F., Duran A. E., Moron A. *et al.* (2004). Reduction of bacterial indicators and bacteriophages infecting faecal bacteria in primary and secondary wastewater treatments. *Journal of Applied Microbiology* ; 97 : 1069-1076.
- Mancuso T.F. (1975). Consideration of chromium as an industrial carcinogen. In: Hutchinson TC, ed. Proceedings of the international conference on heavy metals in the environment. Toronto, Canada: Toronto Institute for Environmental Studies, 343-356.
- Marthi B., Fieland V. P., Walter M., *et al.* (1990). Survival of Bacteria during Aerosolization. *Applied and environmental microbiology* ; 56 : 3463-3467.
- Martin Ruel S., Choubert J.M., Esperanza M. *et al.* (2011). On-site evaluation of the removal of 100 micro-pollutants through advanced wastewater treatment processes for reuse applications. *Water Science and Technology* ; 63 (11) : 2486-2497.
- Medema G., Wullings B., Roeleveld P. *et al.* (2004). Risk assessment of Legionella and enteric pathogens in sewage treatment works. *Water Science and Technology* ; 4 (2) : 125-132.
- Meierhenry E.F., Reuber B.H., Gershwin M.E., *et al.* (1983). Deildrin-induced mallory bodies in hepatic tumors of mice of different strains. *Hepatology* ; 3: 90-95.
- Melbostad E., Eduard W., Skogstad A. *et al.* (1994). Exposure to bacterial aerosols and work-related symptoms in sewage workers. *American Journal of Industrial Medicine* ; 25 (1) : 59-63.
- Molle B., Huet L., Tomas S. *et al.* (2010). Convention de partenariat ONEMA – Cemagref 2009. Application à la définition des limites d'utilisation de l'aspersion en réutilisation des eaux usées traitées, Caractérisation du risque de dérive et d'évaporation d'une gamme d'asperseurs d'irrigation. Cemagref, 2010.84 p.
- Mohr A.J. (2007). Fate and transport of microorganisms in air. Dans Manual of Environmental Microbiology. Édité par C.J. Hurst, R.M. Crawford, J.L. Garland, D.A. Lipson, A.L. Mills, and L.D. Stetzenbach. ASM Press, Washington, DC. pp. 961–971.
- Moore B.E., Sagik B.P., Sorber C.A. (1979). Procedure for the recovery of airborne human enteric viruses during spray irrigation of treated waste water. *Applied and Environmental Microbiology* ; 38 (4) : 688-693.
- Muir D.C.F., Julian J.A., Roberts R.S. (1984). Mortality analysis in a Canadian sinter plant : a comparison of two cohorts based on year of first hiring. Dans : Progress in Nickel Toxicology : CR de the Third International Conference on Nickel Metabolism and Toxicology, 4-7 September, Paris, France. Brown SS and Sunderman FW, eds. Blackwell Scientific Publications, Oxford, England, pp. 207-210.
- National research council : committee on toxicants and pathogens in biosolids applied to land (2002). Biosolids applied to land : advancing standards and practices. Washington, DC : National academy press. 1-12.
- Nemery B., Casier P., Roosels D., *et al.* (1992). Survey of cobalt exposure and respiratory health indiamond polishers. *American Review of Respiratory Disease* ; 145 : 610-616.

- NTP (1989) - NTP technical report on the toxicology and carcinogenesis studies of pentachlorophenol (CAS n°87-86-5) in B6C3F1 mice (feed studies). NTP TR 349. NIH publication N°89-2804.
- NTP (1996). Toxicology and carcinogenesis of nickel sulfate hexahydrate (CAS N°10101- 97-0) in F344/N rats and B6C3F1 mice (inhalation studies). Research Triangle Park, NC: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, National Institutes of Health, National Toxicology Program.
- OEHHA (2002) - ERUi and ERUo Lead. Office of Environmental Health Hazard Assessment. <http://www.oehha.ca.gov/>.
- OEHHA (2005) www.oehha.ca.gov/air/hot_spots/2009/AppendixB.pdf consulté le 27 octobre 2011.
- OEHHA (2008) [oehha.ca.gov/air/hot_spots/2008/AppendixD1_final.pdf](http://www.oehha.ca.gov/air/hot_spots/2008/AppendixD1_final.pdf) consulté le 27 octobre 2011.
- OEHHA (2008) – Determination of noncancer chronic reference exposure levels Arsenic and arsenic compounds. Office of Environmental Health Hazard Assessment. www.oehha.ca.gov/air/chronic_rels/pdf/. (dernière validation de la valeur 2008).
- OEHHA (2009) - Technical Support Document for Cancer Potency Factors: Methodologies for derivation, listing of available values, and adjustments to allow for early life stage exposures. Office of Environmental Health Hazard Assessment.
- Oppliger A., Hilfiker S. et Duc T.V. (2005). Influence of seasons and sampling strategy on assessment of bioaerosols in sewage treatment plants in Switzerland. *The Annals of Occupational Hygiene* ; 49 (5) : 393-400.
- Organisation mondiale de la santé (2006) « Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater-Volume 2 Wastewater use in agriculture ». www.who.int/water_sanitation_health/wastewater/gsuweg2/en/index.html.
- Pascual L., Perez-Luz S., Amo A. *et al.* (2001). Detection of *Legionella pneumophila* in bioaerosols by polymerase chain reaction. *Canadian Journal of Microbiology* ; 47 : 341-347.
- Pedgley D.E. (1991). Aerobiology : the atmosphere as a source and sink for microbes. In *Microbial ecology of leaves*. Édité par 2002 NRC Canada 694 Can. J. Microbiol. Vol. 48, 2002 J.H. Andrews and S.S. Hirano. Springer-Verlag GmbH & Co. KG, Berlin. pp. 43–59.
- Pelletier P. A., du Moulin G. C., Stottmeir K. D. (1988). Mycobacteria in public water supplies : comparative resistance to chlorine. *Microbiology Science* ; 5 : 147–148.
- Pepper I.L., Brooks J.P., Gerba C.P. (2006). Pathogens in biosolids. *Advances in Agronomy*, Vol 90, 41 p.
- Pepper I.L., Zerzghi H., Brooks J.P. *et al.* (2008). Sustainability of Land Application of Class B Biosolids. *Journal of Environmental Quality* ; 37 : 58–67.
- Petterson S. R., Ashbolt N.J. (2003). Microbial risk assessment. Dans : WHO Guidelines for the Safe Use of Wastewater and Excreta in Agriculture. Geneva : WHO, Water Sanitation and Health. 36 p. (Background papers).
- Pillai S.D., Ricke S.C. (2002). Bioaerosols from municipal and animal wastes: background and contemporary issues. *Canadian Journal of Microbiology* ; 48 (8): 681–696.
- Pillai S.D., Widmer K.W., Dowd S.E. *et al.* (1996). Occurrence of airborne bacterial pathogens and indicator organisms during land application of sewage sludge. *Applied and Environmental Microbiology* ; 62: 296–299.
- Pilly E. (2010). *Maladies infectieuses et tropicales*. EMI. 22^e édition.
- Prażmo Z., Krysińska-Traczyk E., Skórska C. *et al.* (2003). Exposure to bioaerosols in a municipal sewage treatment plant. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine* ; 10 (2) : 241-248.
- RIVM (2001) Re-evaluation of human-toxicological maximum permissible risk levels. National institute of public health and the environment, Bilthoven.

- Roberts R.S., Julian J.A., Muir D.C.F. *et al.* (1983). Cancer mortality associated with the high-temperature oxidation of nickel subsulfide. In: Nickel in the Human Environment: Proceedings of a Joint Symposium held at IARC, 8-11 March 1983. Sunderman FW, ed. International Agency for Research on Cancer, Lyon, France, pp. 23-35.
- Rose J. B., Dickson L. J., Farrah S. R. *et al.* (1996). Removal of pathogenic and indicator microorganisms by a full-scale water reclamation facility. *Water Research* ; 30 : 2785-2797.
- Rylander R. (1999). Health effects among workers in sewage treatment plants. *Occupational and Environmental Medicine* ; 56 : 354-357.
- Santé Canada (2006). Guidelines for Canadian Drinking Water Quality: Guideline Technical Document-Bacterial Waterborne Pathogens-Current and Emerging Organisms of Concern. Water Quality and Health Bureau, Healthy Environments and Consumer Safety Branch, Ottawa, Ontario. www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/water-eau/pathogens-pathogenes/index-eng.php.
- Schlosser O., Martin-Ruel S., Courtois S. (2009). *Legionella* en station d'épuration des eaux usées : évaluation et prévention du risque professionnel. *L'eau, l'industrie, les nuisances* ; 319 : 75-9.
- Schwartzbrod L. (1991). Virus et milieu hydrique. Dans : Virologie des milieux hydriques, Tec. et Doc. Lavoisier. Paris, France.
- Schwartzbrod J., Schwartzbrod L. (1999). Les agents biologiques d'intérêt sanitaire des boues d'épuration urbaines. Connaitre pour agir, Guide des cahiers techniques – ADEME 183 p.
- Shuval H.I., Wax Y., Yekutieli P. *et al.* (1989). Transmission of enteric disease associated with wastewater irrigation : a prospective epidemiological study. *American journal of public health* ; 79 (7) : 850-852.
- Simmons F.J., Xagorarakis I. (2011). Release of infectious human enteric viruses by full-scale wastewater utilities. *Water Research* ; 45 (92) : 3590-3598.
- Sorber C.A., Guter K.J. (1975). Health and Hygiene Aspects of Spray Irrigation. *American journal of public health* ; 65 (1) : 47-52.
- Sorber C.A., Moore B.E., Johnson D.E. *et al.* (1984). Microbiological aerosols from the application of liquid sludge to land. *Journal of the Water Pollution Control Federation* ; 56 : 830-836.
- Stetzenbach L.D. (2007). Introduction to aerobiology. Dans : Manual of Environmental Microbiology. Édité par C.J. Hurst, R.M. Crawford, J.L. Garland, D.A. Lipson, A.L. Mills, and L.D. Stetzenbach. ASM Press, Washington, DC, pp. 925-938.
- Tang J.W. (2009). The effect of environmental parameters on the survival of airborne infectious agents, *J. R. Soc. Interface* 6, S737-S746.
- Tanner B.D., Brooks J.P., Gerba C.P. *et al.* (2008). Estimated occupational risk from bioaerosols generated during land application of class B biosolids. *Journal of Environmental Quality* ; 37 (6) : 2311-2321.
- Taylor R.M. *et al.* (2000). Chlorine, Chloramine, Chlorine Dioxide, and Ozone Susceptibility of *Mycobacterium avium*. *Applied and Environmental Microbiology* ; 66 : 1702-1705.
- Teltsch B., Kedmi S., Bonnet L. *et al.* (1980). Isolation and identification of pathogenic microorganisms at wastewater-irrigated fields : ratios in air and wastewater. *Applied and environmental microbiology* ; 39 (6) : 1183-1190.
- Tennekes H.A., Wright A.S., Dix K.M. *et al.* (1981). Effects of dieldrin, diet, and bedding on enzyme function and tumor incidence in livers of male CF-1 mice. *Cancer Research* ; 41: 3615-3620.
- Thomas R J., Webber D, Sellors W. *et al.* (2008). Characterization and Deposition of Respirable Large- and Small-Particle Bioaerosols. *Applied and environmental microbiology* ; 74 : 6437-6443.
- Thorn J., Kerekes E. (2001). Health effects among employees in sewage treatment plants : a literature survey. *American journal of industrial medicine* ; 40 : 170-179.
- Thorpe E., Walker A.I.T. (1973). The toxicology of dieldrin (HEOD). II. Comparative long-term oral toxicity studies in mice with dieldrin, DDT, phenobarbitone, -BHC and -BHC. *Food and Cosmetics Toxicology* ; 11 : 433-442.

- Tong Y., Lighthart B. (1997). Solar radiation has a lethal effect on natural populations of culturable outdoor atmospheric bacteria. *Atmospheric Environment* ; 31 (6) : 897-900.
- Tsai S.Y., Chou H.Y., The H.W., Chen C.M. *et al.* (2003). The effects of chronic arsenic exposure from drinking water on the neurobehavioral development in adolescence. *Neurotoxicology* ; 24, 4-5, 747-753.
- U.S. Environmental Protection Agency (1993) www.epa.gov/iris/subst/0225.htm consulté le 27 octobre 2011.
- U.S. Environmental Protection Agency (1998) Toxicological review of hexavalent chromium. United States - Environmental protection agency, Washington, DC. cfpub.epa.gov/ncea/iris_drafts/recordisplay.cfm?deid=200316.
- U.S. Environmental Protection Agency (2000). A guide to field storage of biosolids and the organic by-products used in agriculture and for soil resource management. United States environmental protection agency, Office of wastewater management, EPA/832 – B – 00 – 007, Washington, DC.
- U.S. Environmental Protection Agency, U.S. Agency for International Development (2004) "Guidelines for Water Reuse". Washington, DC : U.S. Environmental Protection Agency and U.S. Agency for International Development. 445 p.
- U.S. Environmental Protection Agency (2011). Exposure Factors Handbook : 2011 edition. Washington D.C. : National Center for Environmental Assessment – Office of Research and development Office of Health and Environmental Assessment. 1466 p.
- Van den Berg H., Lodder W., Van der Poel W. *et al.* (2005). Genetic diversity of noroviruses in raw and treated sewage water. *Research in Microbiology* ; 156 : 532-540.
- Vasconcelos V.M., Pereira E. (2001). Cyanobacteria diversity and toxicity in a wastewater treatment plant (Portugal). *Water Research* ; 35 : 1354-1357.
- Vieno N.M., Tuhkanen T. et Kronberg L. (2006). Analysis of neutral and basic pharmaceuticals in sewage treatment plants and in recipient rivers using solid phase extraction and liquid chromatography-tandem mass spectrometry detection. *Journal of Chromatography A.*; 1134 : 101-111.
- Visvesvara G.S., Moura H., Schuster F.L. (2007). Pathogenic and opportunistic free-living amoebae: *Acanthamoeba* spp., *Balamuthia mandrillaris*, *Naegleria fowleri*, and *Sappinia diploidea*. *FEMS Immunology & Medical Microbiology* ; 50 (1):1-26
- Walker A.I.T., Thorpe E., Stevenson D.E. (1972). The toxicology of dieldrin (HEOD). I. Long-term oral toxicity studies in mice. *Food and Cosmetics Toxicology* ; 11: 415-432.
- Wallet F., Le-Brun M., Charton-Bissetta J. *et al.* (2010). Analysis of Different Quantitative Microbial Risk Assessment Models for *Legionella* Infection, SRA, Salt Lake City, USA, 5-8 décembre 2010.
- Walter M. V., Marthi B., Fieland V. P. *et al.* (1990). Effect of aerosolization on subsequent bacterial survival. *Applied and Environmental Microbiology* ; 56 : 3468–3472.
- Wasserman G.A., Liu X., Parvez F., *et al.* (2004). Water arsenic exposure and children's intellectual function in Araihasar, Bangladesh. *Environmental Health Perspectives* ; 112 (13) : 1329-1333.
- Wéry, N., Lhoutellier C., Ducray F. *et al.* (2008): Behaviour of pathogenic and indicator bacteria during urban wastewater treatment and sludge composting, as revealed by quantitative PCR. *Water Research* ; 42 : 53-62.
- World Health Organization Guidelines for the Safe Use of Wastewater and Excreta in Agriculture, Microbial Risk Assessment Section, 36 p.
- Wu J., Li H., Huang X. (2010). Indigenous somatic coliphage removal from a municipal wastewater by a submerged membrane bioreactor. *Water Research* ; 44 (6) : 1853-1862.
- Xie X., Yuguo Li Y., Zhang T., *et al.* (2006). Bacterial survival in evaporating deposited droplets on a teflon-coated surface. *Applied Microbiology and Biotechnology* ; 73 : 703-712.

Zhang, K., K. Farahbakhsh (2007): Removal of native coliphages and coliform bacteria from municipal wastewater by various wastewater treatment processes: Implications to water reuse. *Water Research* ; 41 : 2816-2824.

2) RÉGLEMENTATION

Code de la santé publique. (2004). Chapitre I^{er} : Règles générales – Article L.1311-1.

Code du travail. (2009). Chapitre II : aération et assainissement – Section 1 : principes et définitions – Article R4222-3.

DEB (2010). Circulaire du 29/09/10 relative à la surveillance de la présence de micropolluants dans les eaux rejetées au milieu naturel par les stations de traitement des eaux usées. BO/MEEDDM n°2010/21 du 25 novembre 2010 – NOR : DEV O1022584C.

DGS (1991). Circulaire DGS/SD1.D./91 N°51 du 22 juillet 1991 relative à l'utilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation des cultures et l'arrosage des espaces verts. N° DGS/ SD1.D/91 N°51.

DGS (1992). Circulaire DGS/SD1.1D/92 N°42 du 3 août 1992, Recommandations complémentaires concernant l'utilisation après épuration, des eaux résiduaires urbaines pour l'irrigation des cultures et des espaces verts. N° DGS/SD1.1D/92 N°42.

Directive 2000/60 CE du Parlement européen et du Conseil du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau. Journal officiel des Communautés européennes n°L327 du 22 décembre 2000 : 1-72.

Journal officiel de la République Française. (2010). Arrêté du 2 août 2010 relatif à l'utilisation d'eaux issues du traitement d'épuration des eaux résiduaires urbaines pour l'irrigation de cultures ou d'espaces verts – NOR : SASP1013629A.

Ministerio de la presidencia (2007). Real decreto 1620/2007, de 7 diciembre, por el que se establece el regimen juridico de la reutilizacion de les aguas depuradas. BOE n°294 : 50639-50661.

Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio. (2003). « Norme tecniche per il riutilizzo delle acque reflue domestiche, urbane ed industriali ». DM 12 giugno 2003 n.185.

3) NORMES

Norme NFX 43-001. Août 1982. Qualité de l'air. Vocabulaire. Paris. AFNOR, 1982. 9p.

Norme XP X 43-244. Décembre 1998. Air des lieux de travail. Eléments de terminologie en hygiène du travail. L'exposition, son évaluation, les valeurs limites. Paris. AFNOR, 1998. 15p.

Norme NF EN 1085. Avril 2007. Traitement des eaux usées. Vocabulaire. Paris. AFNOR, 2007. 69p.

ANNEXES

Annexe 1 : Lettre de saisine

COURRIER REÇU LE
07 AOUT 2009
3055 → S2ini
→ CTS



MINISTÈRE DE LA SANTÉ ET DES SPORTS MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DE L'ÉNERGIE, DU
DEVELOPPEMENT DURABLE ET DE
L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE

Direction générale de la santé Direction de l'eau et de la biodiversité

Le Directeur général de la santé

La Directrice de l'eau et de la biodiversité

à

Monsieur le Directeur général de l'Agence
Française de Sécurité Sanitaire de
l'Environnement et du Travail
253, Avenue du Général Leclerc
94701 Maisons-Alfort

Objet : Demande d'expertise – Projet d'arrêté relatif à l'utilisation d'eaux issues du traitement d'épuration des eaux résiduaires urbaines pour irrigation ou arrosage de cultures ou d'espaces verts

N/Réf. : DGS N° 090029 (*Numéro de dossier à rappeler dans toute correspondance*)

P. J. : 2

La réutilisation d'eaux résiduaires urbaines épurées pour l'arrosage ou l'irrigation de cultures ou d'espaces verts présente un intérêt écologique vis-à-vis de la préservation de la ressource en eau, notamment dans un contexte de conditions météorologiques défavorables (période de sécheresse prolongée) ou dans une zone de faible productivité des ressources en eau.

Cependant, cette réutilisation d'eaux usées doit être encadrée réglementairement, afin de prévenir ~~les risques sanitaires liés à cette pratique. En effet, les eaux résiduaires urbaines, même traitées par une station d'épuration, contiennent divers microorganismes pathogènes (bactéries pathogènes ou parasites par exemple) et des éléments organiques et minéraux toxiques.~~

La réglementation doit permettre de protéger :

- les personnes qui manipulent les récoltes et les consommateurs des produits irrigués ou arrosés par des eaux usées traitées (risques liés à l'ingestion) ;
- les professionnels de l'irrigation, le public fréquentant les espaces verts irrigués ou arrosés par des eaux usées traitées et les personnes qui vivent à proximité (risques liés à l'inhalation d'aérosols).

Afin de garantir la protection de la santé publique et de l'environnement, des prescriptions sanitaires et techniques applicables aux installations utilisant après épuration des eaux usées à des fins d'arrosage ou d'irrigation ont été définies en juillet 1991 par la section des eaux du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France (CSHPF). Ces recommandations sanitaires ont été actualisées en 2001 par un groupe d'experts et un projet d'arrêté a été élaboré en application de

l'article 24 du décret du 3 juin 1994 relatif à l'assainissement des eaux usées urbaines. Ce projet a été transmis à l'AFSSA pour avis en avril 2001.

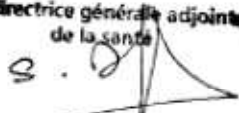
L'AFSSA a rendu son avis le 1^{er} décembre 2008 (cf. rapport en annexe 1). Dans cet avis, l'AFSSA définit notamment des contraintes d'usage, de distance et de terrain, en fonction du niveau de qualité sanitaire des eaux usées traitées. Dans le cadre de cette expertise, l'AFSSA n'a pris en compte que le risque lié à l'ingestion compte tenu de ses compétences. La prise en compte des risques sanitaires liés à l'inhalation nécessite donc une saisine complémentaire de l'AFSSET, conformément aux dispositions de l'article R.211-23 du code de l'environnement.

Objet de la saisine

Considérant les éléments évoqués précédemment, nous vous serions obligés de nous faire parvenir :

- **sous deux mois**, votre avis sur le projet d'arrêté conformément aux dispositions de l'article R.211-23 du code de l'environnement ; cet avis portera en particulier sur le caractère suffisant des critères (qualité, distances et usages) contenus dans le projet d'arrêté et basés sur les recommandations de l'AFSSA, au regard des éventuels risques sanitaires propres à votre champ de compétence liés à l'irrigation sans aspersion. Le projet d'arrêté prévoyant d'autoriser les opérations d'irrigation par aéroaspersion, à titre expérimental, après avis favorable de l'Afsset, vous nous transmettez également le contenu du dossier de demande d'expérimentation, qui comprendra la liste des paramètres de suivi.
- **sous six mois**, une note d'étape faisant le point de la littérature scientifique nationale et internationale sur la réutilisation des eaux usées traitées par aspersion et notamment en ce qui concerne les paramètres suivis, les valeurs limites retenues, les contraintes de distances et les risques sanitaires identifiés.
- **sous deux ans**, une évaluation des risques sanitaires liés à l'aspersion des eaux usées traitées, telle que prévue dans votre programme de travail 2009. Cette expertise devra notamment examiner si les critères proposés par l'AFSSA permettent de garantir la sécurité sanitaire des travailleurs, des usagers et des riverains en cas d'aspersion des eaux usées traitées. Si tel n'était pas le cas, il vous appartient de proposer de nouveaux critères. De plus, vous évalueriez les risques sanitaires liés à la réutilisation des eaux usées traitées pour des usages urbains autres que l'arrosage, notamment le lavage des voiries.

Nous vous transmettons en retour les données de suivi relatives aux opérations de réutilisation des eaux usées traitées par aspersion.



La directrice générale adjointe
de la santé

Sophie DELAPORTE

La Directrice de l'eau et de la biodiversité


Odile Gauthier

Copie au ministère de l'agriculture et de la pêche

Annexe 2 : Annexe technique de la convention de recherche et développement entre l'Anses, le CSTB et le Cemagref intitulée « Évaluation du risque de dispersion d'aérosols biologiques par aspersion d'eaux usées traitées »

	<p align="center">Projet d'étude :</p> <p align="center">Evaluation du risque de dispersion d'aérosols biologiques par aspersion d'eaux usées traitées</p>	
---	---	---

1. Contexte et objet de l'étude

La réutilisation d'eaux usées traitées (REUT) pour l'arrosage ou l'irrigation de cultures ou d'espaces verts présente un intérêt vis-à-vis de la préservation de la ressource en eau, notamment dans un contexte de conditions météorologiques défavorables (période de sécheresse prolongée), dans les zones où la pression des rejets est trop élevée pour l'environnement ou dans une zone de faible disponibilité des ressources en eau. En France, ces opérations sont encadrées par l'arrêté du 2 août 2010 qui autorise l'usage de systèmes d'irrigation gravitaire et localisée, mais ne tolère qu'à titre expérimental la REUT par aspersion dans l'attente d'une meilleure évaluation des risques sanitaires liés à cette application.

Dans ce contexte, le CSTB et le Cemagref ont été sollicités par l'ANSES pour étudier le risque microbiologique relevant de l'aspersion d'eaux usées potentiellement chargées en microorganismes pathogènes. L'objet de l'étude porte en particulier sur une caractérisation du transfert et de la dispersion des microorganismes en aérosols, associée à l'usage des procédés d'aspersion.

2. Démarche

Étant donnés les délais et les contraintes expérimentales, la mise en œuvre des procédés d'aspersion dans les conditions réelles d'usage (réutilisation des EUT par les asperseurs en plein champ et conditions climatiques fluctuantes) n'est pas envisagée à ce stade. La méthodologie proposée comprendra ainsi trois volets expérimentaux en conditions semi-réelles, puis laboratoire. Ils consisteront en :

- Un travail d'inventaire et d'analyse technique des procédés d'aspersion. Cette analyse portera notamment sur la mesure des émissions de particules d'eau produites et potentiellement porteuses de germes microbiologiques.
- Une évaluation de l'exposition aux aérosols microbiens par l'usage des asperseurs.
- Une étude en laboratoire du potentiel de transfert des microorganismes, selon le modèle microbien et la qualité de l'eau réutilisée.

Inventaire et analyse technique des procédés d'aspersion

Ce volet vise à orienter le ou les procédés d'aspersion à évaluer en regard du risque de diffusion de microorganismes aéroportés. Une première évaluation consistera à caractériser la composition du jet dispersé, en volume par classes de diamètres de gouttes, pour différents modèles d'asperseurs. Par ailleurs, pour un asperseur modèle, on caractérisera l'effet de la charge transportée et de la viscosité d'une EUT modèle sur les caractéristiques physiques de la

dispersion. De cette phase, on déduira les conditions auxquelles les germes microbiens seront exposés ou comment ils seront protégés par la goutte susceptible de les transporter. Concernant le choix des asperseurs, celui-ci sera établi parmi les typologies représentatives des usages en vigueur, notamment dans le cadre de pratiques agricoles et paysagères.

Évaluation de l'exposition aux aérosols microbiologiques par l'usage de dispositifs d'aspersion

Les procédés d'aspersion retenus seront ensuite mis en œuvre en conditions semi-contrôlées pour appréhender l'exposition potentielle des travailleurs et des populations riveraines.

La dispersion microbiologique associée à l'utilisation de ces dispositifs sera évaluée à l'aide d'un traceur bactérien, par des mesures sous le vent, à l'émission, puis en s'éloignant du terme source, selon les conditions climatiques fournies par une station météo locale (direction et vitesse du vent, température, hygrométrie). L'emploi d'un traceur permet d'accéder à une cartographie de la répartition du flux microbien spécifique à l'asperseur parmi le bruit de fond environnemental. La dispersion sera ainsi caractérisée en termes de concentration et granulométrie du bioaérosol collecté, aux différents points de mesure.

Étude en laboratoire du potentiel de transfert par aspersion de pathogènes cibles, selon le type de microorganisme et la qualité de l'eau

Dans le cadre d'une réutilisation d'eaux usées traitées par aspersion, certains microorganismes présents dans les EUT, s'ils s'aérosolisent, sont susceptibles d'induire des effets sur la santé de l'homme, notamment par voie respiratoire. Cette étude vise donc à renseigner leur propension potentielle à être vectorisés par l'air, en fonction de la qualité de l'eau dispersée.

Il s'agira de reproduire expérimentalement, en environnement confiné et maîtrisé, à l'aide d'un dispositif d'aspersion de référence proposé par le Cemagref, l'aérosolisation d'eaux usées traitées dopées à l'aide de microorganismes pathogènes naturellement présents dans les EUT et pertinents en termes sanitaires.

➤ Première étape : caractérisation de la flore microbiologique aérosolisée selon la typologie des EUT dispersées

Des eaux usées traitées seront collectées en sortie de traitement secondaire classique de station d'épuration et analysées. Ces eaux seront asperées à l'aide de l'asperseur modèle. La fraction aérosol (<10 µm) sera collectée et analysée. La biodiversité microbiologique de ces EUT et des aérosols sera comparée.

➤ Deuxième étape : choix des microorganismes modèles (référents)

Cette étape a pour objectif de sélectionner deux microorganismes modèles (une bactérie, un virus) pour doper les eaux usées traitées lors de la 3ème étape. Ces modèles seront choisis en fonction des résultats de l'étape 1 et de la revue de la littérature effectuée par le GT REUT de l'Anses sur les microorganismes d'intérêt sanitaire retrouvés dans les EUT. Ce choix devra également tenir compte des limites de quantification éventuelles lors de mise en culture sur milieu gélosé (bactérie) ou modèle cellulaire (virus).

➤ Troisième étape : évaluation de la survie des modèles microbiologiques lors de l'aspersion d'EUT

Les EUT collectées seront ensuite dopées avec les microorganismes retenus à l'étape 2, puis dispersées à l'aide de l'asperseur modèle. La survie des microorganismes lors du transfert eau/air sera évaluée par la cultivabilité des bactéries et l'infectiosité des virus.

3. Méthodes et outils

3.1. Caractérisation de la distribution des dispositifs d'aspersion

Deux questions se posent:

- Quelles sont les caractéristiques fines de la distribution des différents types d'asperseurs utilisés pour distribuer des EUT sur une parcelle?

L'objectif de cette question est de caractériser la taille (et la vitesse) des gouttes en vol en différentes abscisses pour trois types d'arroseurs et trois pressions incluant les valeurs minimale et maximale des pressions recommandées par les constructeurs. On choisira un arroseur type turbine (utilisé en Parcs et Jardins et qui fonctionne entre 4 et 6 bars) ; un arroseur type sprinkler (utilisé en agriculture en couverture intégrale et qui fonctionne entre 2.5 et 4.5 bars) et un arroseur de type micro-asperseur (utilisé en arboriculture et qui fonctionne entre 1.5 et 3 bars). Cette caractérisation sera traitée à partir de mesures avec différents instruments disponibles au Cemagref (granulomètre à IR et système PTV) pour explorer l'ensemble de la gamme des tailles de particules présentes dans un jet (de plusieurs mm à quelques μm).

- Dans quelle mesure la charge de l'EUT peut-elle jouer un rôle sur les propriétés de dispersion?

L'objectif de cette partie est de pouvoir étudier dans le cas d'un arroseur modèle (pour s'affranchir des spécificités constructeurs) l'impact de la viscosité et des particules en suspension sur la granulo-vélocimétrie des gouttes. L'arroseur modèle sera un tuyau de 1 cm de diamètre, équipé d'un coude à 21° et d'un tube long de 10 cm sur lequel on pourra monter différentes buses (diamètre de 2, 3 et 4 mm) . La charge des particules en suspension sera déterminée en fonction des critères retenus pour la classification des eaux de l'arrêté du 2/08/2010. Ces matières en suspension proviendront de boues séchées au soleil, diluées et filtrées à 80 μm . Quant au choix de la viscosité, des études précédentes sur des eaux usées simplement dégrillées à 1mm nous ont montré que la viscosité de ces eaux était au maximum de deux fois celle de l'eau et qu'il s'agissait de fluides Newtoniens. Aussi, on ne travaillera qu'à deux viscosités différentes : celle de l'eau et un fluide qui aura une viscosité double. Au total, cela constitue 24 combinaisons (eau, fluide modèle*2 charges*3 pressions*2 abscisses) dont seules les plus pertinentes seront étudiées en détail. Cette analyse fera intervenir à la fois des simulations mécaniques du comportement de l'EUT (viscosité uniquement) dans l'asperseur (code CFD commercial, ANSYS/Fluent), et des mesures avec les dispositifs précédemment évoqués.

L'effet généralement le plus évoqué sur la dispersion d'un jet en gouttes habituellement mesurées pour l'irrigation agricole, est celui de la pression, celui-ci sera analysé en détail pour en tirer quelques règles générales en étendant les conclusions aux plus petites particules émises (de 5 à 200 μm) qui sont les plus à même de dériver loin et de donner naissance à des aérosols.

3.2. Échantillonnage et caractérisation granulométrique de l'aérosol biologique produit par les procédés d'aspersion

La caractérisation des particules distribuées par les procédés d'aspersion sera complétée par une caractérisation spécifique, lors des dispersions en extérieur, de la granulométrie des aérosols contaminés par les microorganismes. L'analyse sera menée avec un biocollecteur permettant de distribuer les microorganismes présents dans l'aérosol sur différents étages corrélés à des domaines de tailles spécifiques. Les aérosols biologiques seront caractérisés à un point proche de l'asperseur, puis à différents points distants, de manière à suivre la dynamique granulométrique de ces particules durant l'émission.

A ces mêmes points, seront mesurées simultanément les concentrations des microorganismes aérosolisés par des prélèvements au sol, à l'aide de biocollecteurs liquides et

impacteurs sur gélose. Des dispositifs d'impaction séquentielle seront également mis en œuvre pour suivre l'évolution du nuage biologique au cours du fonctionnement des asperseurs. Les conditions climatiques seront identifiées au cours de ces mesures à l'aide d'anémomètres soniques (champ de vitesses moyennes et turbulentes, hygrométrie, température, rayonnement).

3.3. Analyse microbiologique des échantillons d'eaux usées

3.3.1. Caractérisation de la diversité microbienne

L'analyse qualitative des populations microbiennes présentes dans les prélèvements d'eaux usées sera réalisée par empreinte moléculaire SSCP (Single Strand Conformation Polymorphism), technique permettant d'établir un profil global de la microflore. Les espèces détectées seront ensuite identifiées par séquençage sur l'ADN ribosomique 16S.

3.3.2. Quantification des groupes microbiens d'intérêt sanitaire

Les groupes biologiques d'intérêt seront quantifiés par PCR quantitative et RT-PCR quantitative en temps réel. Ces dénombrements pourront porter sur les espèces majoritaires révélées par l'analyse de la diversité ou certaines cibles caractéristiques des EUT et identifiées par ailleurs dans la littérature. Il pourra s'agir notamment des bactéries coliformes (*Escherichia coli*), entérovirus, légionelles (*Legionella* spp. et *Legionella pneumophila*).

3.3.3. Dénombrement de la flore cultivable

La flore cultivable correspondante sera évaluée par ensemencement d'une partie de l'échantillon sur des milieux nutritifs adaptés. Les protocoles s'appuieront en partie sur les protocoles normatifs relatifs à la recherche de germes microbiens à partir de prélèvements d'eau (ex. NF EN ISO 6222 pour les bactéries totales à 22°C et 37°C, ISO 9308-1 pour les coliformes, NFT 90-431 pour *Legionella*).

Annexe 3 : Arrêté du 2 août 2010 relatif à l'utilisation d'eaux issues du traitement d'épuration des eaux résiduaires urbaines pour l'irrigation des cultures ou d'espaces verts

31 août 2010

JOURNAL OFFICIEL DE LA RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Texte 34 sur 157

Décrets, arrêtés, circulaires

TEXTES GÉNÉRAUX

MINISTÈRE DE LA SANTÉ ET DES SPORTS

Arrêté du 2 août 2010 relatif à l'utilisation d'eaux issues du traitement d'épuration des eaux résiduaires urbaines pour l'irrigation de cultures ou d'espaces verts

NOR : SASP1013629A

Le ministre d'Etat, ministre de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de la mer, en charge des technologies vertes et des négociations sur le climat, la ministre de la santé et des sports, le ministre de l'alimentation, de l'agriculture et de la pêche et la secrétaire d'Etat chargée de l'écologie,

Vu le code de la santé publique, et notamment ses articles L. 1311-1 et L. 1311-2 ;

Vu le code de l'environnement, et notamment son article R. 211-23 ;

Vu le code des collectivités territoriales, et notamment ses articles L. 2224-8 et L. 2224-10 ;

Vu l'arrêté du 8 janvier 1998 fixant les prescriptions techniques applicables aux épandages de boues sur les sols agricoles pris en application du décret n° 97-1133 du 8 décembre 1997 relatif à l'épandage des boues issues du traitement des eaux usées ;

Vu l'arrêté du 22 juin 2007 relatif à la collecte, au transport et au traitement des eaux usées des agglomérations d'assainissement ainsi qu'à la surveillance de leur fonctionnement et de leur efficacité, et aux dispositifs d'assainissement non collectif recevant une charge brute de pollution organique supérieure à 1,2 kg/j de DBO₅ ;

Vu l'avis du Conseil supérieur d'hygiène publique de France en date du 9 janvier 2001 ;

Vu le rapport de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments en date du 1^{er} décembre 2008 ;

Vu l'avis de l'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail en date du 8 octobre 2009 ;

Vu l'avis de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments en date du 19 mai 2010 ;

Vu l'avis de la mission interministérielle de l'eau en date du 19 novembre 2009,

Arrêtent :

Art. 1^{er}. – *Champ d'application.*

Le présent arrêté fixe les prescriptions sanitaires et techniques applicables à l'utilisation d'eaux usées traitées à des fins d'irrigation de cultures ou d'espaces verts. Ces prescriptions visent à garantir la protection de la santé publique, de la santé animale et de l'environnement ainsi que la sécurité sanitaire des productions agricoles.

Au sens du présent arrêté, les eaux usées traitées sont celles issues des stations d'épuration des eaux usées mentionnées au II de l'article L. 2224-8 du code général des collectivités territoriales et celles issues des installations d'assainissement non collectif mentionnées au III de l'article L. 2224-8 du code général des collectivités territoriales et dont la charge brute de pollution organique est supérieure à 1,2 kg de demande biologique en oxygène sur cinq jours (DBO₅) par jour.

Au sens du présent arrêté, l'irrigation désigne l'apport artificiel en eau pour des cultures ou des espaces verts.

Art. 2. – *Définitions.*

L'utilisation d'eaux usées traitées aux fins d'irrigation est mise en œuvre selon les règles de l'art, au moyen des systèmes suivants :

1. Irrigation gravitaire : l'eau est fournie aux plantes par remplissage de petits bassins, par planches ou par canaux, par des rigoles, canaux ou raies d'irrigation ;

2. Irrigation localisée :

a) Souterraine : l'eau est fournie par l'intermédiaire de tuyaux perforés, de goutteurs de microirrigation ou de drains enterrés ;

b) De surface : l'eau est distribuée au moyen de goutteurs ou de rampes perforées au voisinage de la plante ;

3. Irrigation par aspersion : l'eau est fournie aux plantes sous forme de pluie artificielle grâce à l'utilisation d'organes d'arrosage ou d'asperseurs alimentés en eau sous pression.

Art. 3. – Prescriptions techniques.

Sans préjudice de l'application des réglementations générales ou particulières concernant la protection des ressources en eau, l'irrigation de cultures ou d'espaces verts par des eaux usées traitées doit respecter, en fonction du niveau de qualité sanitaire des eaux usées traitées tel que défini en annexe I, les contraintes d'usage, de distance et de terrain définies en annexe II.

Les conditions de stockage des eaux usées traitées ne doivent pas favoriser le développement de vecteurs ou d'agents pathogènes.

Art. 4. – Cas de l'irrigation par aspersion d'eaux usées traitées.

Toute utilisation d'eaux usées traitées à des fins d'irrigation par aspersion peut être autorisée à titre expérimental par arrêté préfectoral tel que défini à l'article 8 et après avis favorable de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail. Cet avis est rendu dans un délai ne devant pas excéder six mois à compter de la date de réception par l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail du dossier de demande d'expérimentation déclaré complet. Le contenu du dossier de demande d'expérimentation est défini en annexe III. Il comporte notamment les résultats d'un programme de suivi de la qualité des eaux usées traitées devant porter sur une aspersion menée à échelle réduite sur un terrain implanté ou confiné de telle manière qu'aucun public n'y soit exposé. Ce programme de suivi ne fait pas l'objet d'une autorisation spécifique.

L'équipement utilisé doit émettre la plus faible proportion possible d'aérosols et être placé le plus bas possible par rapport au sol et à la culture.

Art. 5. – Interdictions.

Est interdite l'irrigation des cultures et des espaces verts :

1. A partir d'eaux usées brutes ;
2. A partir d'eaux usées traitées issues de stations d'épuration reliées à un établissement de collecte, de stockage, de manipulation ou de traitement des sous-produits d'origine animale de catégorie 1 ou 2 au sens du règlement européen 1774/2002 et soumis à la réglementation des installations classées au titre des rubriques 2730 ou 2731, à l'exception des cas où les eaux sont, préalablement à leur rejet dans le réseau de collecte, traitées thermiquement à 133 °C pendant 20 minutes sous une pression de 3 bars ;
3. A partir d'eaux usées traitées issues de stations d'épuration qui produisent des boues ne respectant pas l'ensemble des valeurs limites figurant aux tableaux I a et I b de l'annexe I de l'arrêté du 8 janvier 1998 susvisé ;
4. A partir d'eaux usées traitées sur un sol ne respectant pas l'ensemble des valeurs limites figurant au tableau 2 de l'annexe I de l'arrêté du 8 janvier 1998 susvisé ;
5. A partir d'eaux usées traitées à l'intérieur d'un périmètre de protection rapprochée de captage d'eau destinée à la consommation humaine, tel que défini à l'article L. 1321-2 du code de la santé publique. Il peut être dérogé à cette interdiction, après avis d'un hydrogéologue agréé en matière d'hygiène publique, dans certaines zones du périmètre de protection rapprochée, dans le cas d'un captage d'eau superficielle ou d'origine karstique, pour une eau usée traitée de qualité A ou B telle que définie en annexe I.

Art. 6. – Protection des réseaux d'eau potable.

Les canalisations de distribution d'eaux usées traitées sont repérées de façon explicite.

Tout raccordement, qu'il soit temporaire ou permanent, du réseau de distribution d'eaux usées traitées avec le réseau de distribution d'eau destinée à la consommation humaine est interdit. Le cas échéant, l'appoint en eau du système de distribution d'eaux usées traitées depuis le réseau de distribution d'eau destinée à la consommation humaine est assuré par un système de disconnexion par surverse totale, notamment à l'occasion du remplissage d'une cuve de stockage d'eaux usées traitées.

Art. 7. – Dépôt du dossier.

Toute personne souhaitant réaliser une installation ou procéder à une activité d'utilisation d'eaux usées traitées à des fins d'irrigation de cultures ou d'espaces verts adresse une demande au préfet du département où elle doit être réalisée.

Cette personne peut être le propriétaire ou l'exploitant de la station d'épuration, ou le propriétaire ou l'exploitant des parcelles à irriguer.

Le contenu du dossier est défini en annexe III.

Dans le cas d'une demande d'expérimentation au titre de l'article 4, le préfet transmet le dossier à l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail.

Art. 8. – Arrêté préfectoral.

L'utilisation d'eaux usées traitées à des fins d'irrigation est autorisée par un arrêté préfectoral qui fixe, après avis du conseil départemental de l'environnement et des risques sanitaires et technologiques et, le cas échéant, après l'avis favorable de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail, les modalités d'irrigation à partir des eaux usées traitées de la station d'épuration.

L'arrêté préfectoral indique notamment :

1. L'origine et le niveau de qualité sanitaire des eaux usées traitées selon le tableau de l'annexe I ;
2. Le programme d'irrigation prévu à l'article 9. Si les conditions d'irrigation sont variables d'une année sur l'autre, cet arrêté prévoit que l'exploitant du système d'irrigation fournisse un programme annuel d'irrigation ;
3. Le programme de surveillance des eaux usées traitées défini à l'article 10 ;
4. Le programme de surveillance de la qualité des sols défini à l'article 11 ;
5. Les débits ou volumes journaliers autorisés pour l'irrigation et, le cas échéant, pour le stockage ;
6. Les distances à respecter vis-à-vis des activités ou usages de l'eau à protéger ;
7. Les mesures d'information du public ;
8. L'identité de l'exploitant de la station d'épuration, de l'exploitant du système d'irrigation et des exploitants des parcelles irriguées.

L'arrêté préfectoral peut prévoir des dispositions plus strictes que celles du présent arrêté, notamment en application de l'article L. 1311-2 du code de la santé publique.

L'arrêté préfectoral précise l'identité des personnes responsables de la surveillance des eaux et des sols, qui peut être différente de celle définie aux articles 10 et 11, après accord de l'ensemble des parties (exploitants de la station d'épuration, du système d'irrigation et des parcelles irriguées).

Art. 9. – Programme d'irrigation.

Le programme d'irrigation comprend :

1. La liste des parcelles ou groupes de parcelles concernées ainsi qu'une représentation cartographique des parcelles concernées ;
2. La nature des cultures implantées pendant la période d'irrigation ;
3. L'identification des personnes morales ou physiques intervenant dans la mise en œuvre de l'irrigation ;
4. Le calendrier prévisionnel de l'irrigation et les quantités d'eau par unité culturale en fonction du sol et des cultures ;
5. Le descriptif du matériel utilisé pour l'irrigation.

Le programme annuel d'irrigation est une déclinaison annuelle des documents prévus au premier alinéa du présent article. Il est transmis au préfet et aux maires concernés au plus tard un mois avant le début de la campagne d'irrigation par l'exploitant du système d'irrigation.

Art. 10. – Programme de surveillance des eaux usées traitées.

L'exploitant de la station d'épuration met en place un programme de surveillance, qui comporte :

1. Le suivi analytique des *Escherichia coli* dans les eaux usées traitées selon une fréquence minimale fixée en annexe IV : les prélèvements sont effectués au point d'usage pendant la totalité de la saison d'irrigation. Pour les durées d'irrigation inférieures à deux mois par an, le nombre d'analyses annuel ne pourra être inférieur à deux ;
2. Le suivi de la qualité des boues produites lors du traitement des eaux usées à raison d'au moins quatre analyses par an pour les paramètres figurant aux tableaux I a et I b de l'annexe I de l'arrêté du 8 janvier 1998 susvisé, à l'exception des traitements par lagunage qui font l'objet d'une analyse annuelle dans la lagune finale. L'arrêté préfectoral prévu à l'article 8 définit, dans le cas où les boues ne font pas l'objet d'un épandage agricole, les modalités de constitution des échantillons de boues nécessaires à leur analyse ;
3. Le suivi annuel des paramètres définis en annexe I en complément de la surveillance de la qualité des eaux usées traitées prévue par l'arrêté du 22 juin 2007 susvisé.

Les analyses du programme de surveillance sont réalisées dans un délai tel que les résultats d'analyses sont connus avant le début de la période d'irrigation par des eaux usées traitées.

Les analyses de la qualité des eaux doivent être réalisées par un laboratoire accrédité, pour les paramètres et les différents types d'eaux considérés, selon la norme ISO/CEI 17025 par le comité français d'accréditation ou par tout autre organisme d'accréditation équivalent européen signataire de l'accord multilatéral pris dans le cadre de la coordination européenne des organismes d'accréditation.

L'exploitant de la station d'épuration transmet les résultats du programme de surveillance au préfet et aux maires concernés une fois par an.

L'exploitant de la station d'épuration transmet les résultats du programme de surveillance aux exploitants des parcelles concernées par le programme d'irrigation et, le cas échéant, aux personnes morales ou physiques intervenant dans la mise en œuvre de l'irrigation.

Art. 11. – Programme de surveillance de la qualité des sols.

L'exploitant de chaque parcelle irriguée par des eaux usées traitées réalise au minimum tous les dix ans une analyse du sol sur chaque point de référence, repéré par ses coordonnées Lambert, représentatif d'une zone homogène. Par « zone homogène », on entend une partie d'unité culturale homogène d'un point de vue pédologique n'excédant pas vingt hectares. Par « unité culturale », on entend une parcelle ou un groupe de parcelles exploitées selon un système unique de rotations de cultures par un seul exploitant. Ces analyses portent sur les éléments traces figurant au tableau 2 de l'annexe I de l'arrêté du 8 janvier 1998 susvisé et sur le pH. Les analyses de sol doivent être réalisées par un laboratoire d'analyse de terre agréé par le ministère de l'alimentation, de l'agriculture et de la pêche. Les méthodes d'échantillonnage et d'analyse de sols sont conformes aux dispositions de l'annexe V de l'arrêté du 8 janvier 1998 susvisé.

L'exploitant de la parcelle irriguée communique les résultats des analyses à l'exploitant de la station d'épuration.

Art. 12. – Traçabilité.

L'exploitant de la parcelle irriguée tient à jour un registre, qu'il tient à la disposition du maire de la commune concernée, de l'autorité sanitaire, du service de police de l'eau et de l'exploitant de la station d'épuration, précisant :

1. La nature des cultures et les parcelles irriguées par des eaux usées traitées ;
2. Les volumes d'eaux usées traitées épanchées ;
3. Les périodes d'irrigation par des eaux usées traitées ;
4. Les résultats des programmes de surveillance définis aux articles 10 et 11 ;
5. Les résultats des analyses des sols réalisées dans le cadre de l'appréciation de l'état initial du milieu récepteur prévu à l'annexe III-6.

Ce registre est conservé pendant dix ans.

Art. 13. – Suspension de l'irrigation par des eaux usées traitées.

Dans le cadre du programme de surveillance défini à l'article 10, en cas de dépassement d'une valeur limite fixée par le présent arrêté ou, le cas échéant, par l'arrêté préfectoral, portant sur les eaux usées traitées ou les boues, l'exploitant de la station d'épuration :

1. En informe immédiatement les exploitants des parcelles irriguées et, le cas échéant, les personnes morales ou physiques intervenant dans la mise en œuvre de l'irrigation et suspend immédiatement le programme d'irrigation ;

2. Transmet immédiatement l'information au préfet et aux maires concernés ainsi que les causes du dépassement constaté et les actions correctives mises en œuvre ou envisagées.

L'irrigation par des eaux usées traitées est alors interdite jusqu'à transmission au préfet des résultats d'analyses conformes aux valeurs limites.

Dans le cadre de la surveillance de la qualité des sols définie à l'article 11, en cas de dépassement d'une valeur limite figurant au tableau 2 de l'annexe I de l'arrêté du 8 janvier 1998 susvisé ou, le cas échéant, par l'arrêté préfectoral, l'exploitant de la parcelle irriguée en informe immédiatement l'exploitant de la station d'épuration et exclut la parcelle incriminée du programme d'irrigation.

Art. 14. – Mise en conformité des installations existantes.

Les opérations d'irrigation gravitaire ou localisée d'eaux usées traitées autorisées par arrêté préfectoral à la date d'entrée en vigueur du présent arrêté doivent être mises en conformité avec les dispositions du présent arrêté dans un délai d'un an à compter de son entrée en vigueur.

Les opérations d'irrigation par aspersion d'eaux usées traitées autorisées par arrêté préfectoral à la date d'entrée en vigueur du présent arrêté doivent être mises en conformité avec les dispositions prévues aux articles 5, 10, 11, 12 et 13 du présent arrêté dans un délai d'un an à compter de son entrée en vigueur.

Art. 15. – Application.

La directrice de l'eau et de la biodiversité, le directeur général de la santé et le directeur général des politiques agricole, agroalimentaire et des territoires sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent arrêté, qui sera publié au *Journal officiel* de la République française.

Fait à Paris, le 2 août 2010.

La ministre de la santé et des sports,
ROSELYNE BACHELOT-NARQUIN

*Le ministre d'Etat, ministre de l'écologie,
de l'énergie, du développement durable et de la mer,
en charge des technologies vertes
et des négociations sur le climat,*
JEAN-LOUIS BORLOO

*Le ministre de l'alimentation,
de l'agriculture et de la pêche,*
BRUNO LE MAIRE

*La secrétaire d'Etat
chargée de l'écologie,*
CHANTAL JOUANNO

ANNEXES

ANNEXE I

NIVEAUX DE QUALITÉ SANITAIRES DES EAUX USÉES TRAITÉES

Quatre niveaux de qualité sanitaire des eaux usées traitées (A, B, C et D) sont définis comme suit :

PARAMÈTRES	NIVEAU DE QUALITÉ SANITAIRE DES EAUX USÉES TRAITÉES			
	A	B	C	D
Matières en suspension (mg/l)	< 15	Conforme à la réglementation des rejets d'eaux usées traitées pour l'exutoire de la station hors période d'irrigation		
Demande chimique en oxygène (mg/l)	< 60			
Entérocoques fécaux (abattement en log)	≥ 4	≥ 3	≥ 2	≥ 2
Phages ARN F-spécifiques (abattement en log)	≥ 4	≥ 3	≥ 2	≥ 2
Spores de bactéries anaérobies sulfitoréductrices (abattement en log)	≥ 4	≥ 3	≥ 2	≥ 2
<i>Escherichia coli</i> (UFC/100 ml)	≤ 250	≤ 10 000	≤ 100 000	-

Les eaux usées traitées sont classées dans le niveau de qualité qui correspond au classement du paramètre le plus défavorable.

Pour les stations d'épuration dont la qualité des eaux usées traitées varie dans l'année, il convient de prendre en compte les résultats d'analyses relatives au dénombrement d'*Escherichia coli* précédant la campagne d'irrigation.

Les abattements sont mesurés entre l'eau entrant dans la station d'épuration et l'eau usée traitée sortant de la station d'épuration ou de la filière de traitement complémentaire, le cas échéant.

ANNEXE II

CONTRAINTES D'USAGE, DE DISTANCE ET DE TERRAIN

1. Contraintes d'usage

TYPE D'USAGE	NIVEAU DE QUALITÉ SANITAIRE DES EAUX USÉES TRAITÉES			
	A	B	C	D
Cultures maraîchères, fruitières et légumières non transformées par un traitement thermique industriel adapté	+	-	-	-
Cultures maraîchères, fruitières, légumières transformées par un traitement thermique industriel adapté	+	+	-	-
Pâturage	+	+(1)	-	-
Espaces verts et forêts ouverts au public (notamment golfs)	+(2)	-	-	-
Fleurs vendues coupées	+	+	-	-
Autres cultures florales	+	+	+(3)	-
Pépinières et arbustes	+	+	+(3)	-
Fourrage frais	+	+(1)	-	-
Autres cultures céréalières et fourragères	+	+	+(3)	-
Arboriculture fruitière	+	+	+(3)	-

TYPE D'USAGE	NIVEAU DE QUALITÉ SANITAIRE DES EAUX USÉES TRAITÉES			
	A	B	C	D
Forêt d'exploitation avec accès contrôlé du public	+	+	+(3)	+(3)

+ : autorisée, - : interdite.
 (1) Sous réserve du respect d'un délai après irrigation de dix jours en l'absence d'abattoir relié à la station d'épuration et de vingt et un jours dans le cas contraire.
 (2) Irrigation en dehors des heures d'ouverture au public.
 (3) Uniquement par irrigation localisée, telle que définie à l'article 2.

Dans le cas d'une culture sous serre, seule l'irrigation localisée, telle que définie à l'article 2, est autorisée.

2. Contraintes de distance

Les distances minimales à respecter (en mètres) entre l'irrigation par des eaux usées traitées et les activités à protéger figurent dans le tableau suivant :

NATURE DES ACTIVITÉS À PROTÉGER	NIVEAU DE QUALITÉ SANITAIRE DES EAUX USÉES TRAITÉES		
	A	B	C ET D
Plan d'eau (1)	20 m	50 m	100 m
Bassin aquacole (à l'exception des coquillages filtreurs/ Pisciculture y compris pêche de loisir	20 m	50 m	100 m
Conchyliculture Pêche à pied des coquillages filtreurs	50 m	200 m	300 m
Baignades et activités nautiques	50 m	100 m	200 m
Abreuvement du bétail	50 m	100 m	200 m

(1) A l'exception du plan d'eau servant d'exutoire au rejet de la station d'épuration et des plans d'eau privés où l'accès est réglementé et où aucune activité telle que baignade, sport nautique et aquatique, pêche ou abreuvement du bétail n'est pratiquée.

3. Contraintes de terrain

Dans le cas d'un terrain dont la pente est supérieure à 7 %, seule l'irrigation localisée, telle que définie à l'article 2, est autorisée.

L'irrigation par des eaux usées traitées de terrains saturés en eau est interdite de manière à éviter tout ruissellement d'eaux usées traitées hors du site.

En milieu karstique, l'irrigation n'est possible qu'avec des eaux de qualité A et B et seulement sur des terrains comportant un sol épais avec un couvert végétal. En outre, si la pente de ces terrains excède 3 %, l'irrigation doit être localisée.

ANNEXE III

DOSSIER DE DEMANDE D'AUTORISATION

Le dossier de demande d'autorisation adressé au préfet en quatre exemplaires comprend :

1. Lettre de demande du pétitionnaire.
2. Note de synthèse technique et non technique justifiant la demande et décrivant les conditions actuelles d'irrigation du secteur concerné et le milieu récepteur des eaux issues de la station d'épuration.

3. Informations sur la station d'épuration :

Nom exact et localisation précise ;

Type de réseaux (unitaire, séparatif) raccordés à la station d'épuration ;

Caractéristiques des eaux usées brutes : débits et volumes, nature des eaux épurées (eaux usées domestiques, industrielles, etc.), principales caractéristiques physico-chimiques, recensement et analyses des activités raccordées au réseau de collecte d'eaux usées et compatibilité des rejets de ces activités avec l'utilisation des eaux usées traitées y compris copie des conventions de rejets des établissements à risque (abattoirs, établissements de soins, industriels, etc.) ;

Caractéristiques techniques des équipements et procédés de traitement mis en œuvre sur la station d'épuration :

Informations générales sur le milieu récepteur (notamment hydrologie et hydrogéologie) :

Résultats du suivi de la performance épuratoire de la station d'épuration (comprenant la filière de traitement tertiaire, le cas échéant) sur une période d'au moins six mois consécutifs comprenant l'ensemble de la saison d'irrigation avec une fréquence mensuelle d'analyses portant sur les paramètres définis en annexe I ;

Résultats du suivi de la qualité des boues produites lors du traitement des eaux usées, sur une période d'au moins 6 mois, à raison d'au moins quatre analyses par an pour les paramètres figurant aux tableaux I a et I b de l'annexe I de l'arrêté du 8 janvier 1998 susvisé ;

Extrait des rapports d'autosurveillance des eaux résiduaires brutes et des effluents épurés (nombre de non-conformités et période de suivi).

4. Description détaillée du projet de réutilisation :

Éléments cartographiques des documents d'urbanisme en vigueur (plan local d'urbanisme) autour de la zone d'irrigation envisagée ;

Présentation et analyse des situations météorologiques locales (pluviométrie, climat et variations saisonnières) ;

Description détaillée de la filière de traitement tertiaire, le cas échéant (principe, dimensionnement, gestion technique et maintenance) ;

Le cas échéant, informations sur le stockage temporaire des eaux usées traitées (matériel, localisation, enterré ou non, temps de séjour) ;

Identification des parcelles à irriguer (noms exacts et localisations précises des terrains, nombre d'hectares concernés, couverts végétaux envisagés, infrastructures, activités anthropiques et usages du sol) ;

Nature et devenir des cultures irriguées (description détaillée de l'utilisation des sites irrigués par les eaux usées traitées), évaluation des besoins en eau des espaces irrigables ;

Fréquence et conditions d'apport en eau usées traitées en fonction des capacités d'absorption et d'échange des sols ;

Devenir des eaux usées traitées en dehors des périodes d'utilisation pour l'irrigation (exutoires possibles, installations de stockage envisagées) ;

Représentation cartographique, si possible au 1/25 000, du projet d'irrigation, indiquant notamment les usages à protéger (habitations, puits, cours d'eau, captages, etc.), les caractéristiques topographiques (dont les courbes de niveau), pédologiques (aptitude des sols à l'infiltration, nature et pentes des terrains), hydrogéologiques et hydrologiques superficielles et profondes, la localisation, le cas échéant, des périmètres de protection des captages d'eau, les types de cultures et les distances par rapport aux habitations, aux bâtiments et/ou installations accueillant du public et aux voies de circulation ;

Mesures d'information du public prévu et notamment sur le site ;

Projet de programme d'irrigation saisonnier à titre indicatif (débit, quantité d'eau potentiellement épanchée, nombre d'heures d'irrigation par jour ou par nuit) ;

Programme de surveillance ;

Paramètres pris en compte pour la gestion de l'irrigation (programmation manuelle, automatique, en fonction des pluies, etc.).

5. Caractéristiques, dimensionnement et entretien du réseau d'irrigation et description détaillée des matériels d'irrigation, de la mise en route, de la gestion et de l'entretien du système sur les sites irrigués (identification des intervenants) ainsi que la formation prévue pour les travailleurs concernés.

6. Description de l'état initial du milieu récepteur des eaux usées traitées et de l'aptitude des sols à l'irrigation, comprenant notamment une analyse des sols réalisée en un point de référence, repéré par ses coordonnées Lambert, représentatif de chaque zone homogène (c'est-à-dire pour chaque partie d'unité culturale homogène d'un point de vue pédologique n'excédant pas 20 hectares), portant sur les éléments traces figurant au tableau 2 de l'annexe I de l'arrêté du 8 janvier 1998 susvisé et sur le pH. Les analyses de sol doivent être réalisées par un laboratoire d'analyse de terre agréé par le ministère de l'alimentation, de l'agriculture et de la pêche.

7. Analyse des risques : descriptif des modes de détection et gestion des dysfonctionnements de la filière de traitement et de distribution.

8. Analyse des impacts environnementaux et sanitaires de la réutilisation des eaux usées traitées (infrastructures, habitations, pluies, cultures, etc.), modes d'évaluation de ces impacts et mesures compensatoires prévues.

9. Projet de convention entre le propriétaire de la station d'épuration, l'exploitant de la station d'épuration, les propriétaires des parcelles concernées, les exploitants des parcelles concernées et les éventuelles personnes morales ou physiques intervenant dans la mise en œuvre de l'irrigation explicitant notamment la gestion de l'irrigation et les modalités de suivi (sols, effluents, surveillance des impacts sanitaires).

Lorsque la demande porte sur une expérimentation pour l'irrigation par aspersion d'eaux usées traitées (tel que prévu à l'article 4) :

A. – Le dossier comprend en outre les informations suivantes :

10. La description de la technologie d'irrigation mentionnée au point 5 comprend des précisions sur la technologie d'aspersion et le périmètre de l'asperseur. Les conditions de vents, ainsi que leur prise en compte pour la gestion de l'irrigation, sont précisées.

11. Les résultats du suivi de la performance épuratoire de la station d'épuration mentionnés au point 3 sont complétés par les informations suivantes (il s'agit d'un programme de suivi pendant six mois consécutifs comprenant la saison estivale qui doit être mené à échelle réduite sur un terrain implanté ou confiné de telle manière qu'aucun public n'y soit exposé) :

Méthodes de prélèvement et d'analyses mises en œuvre (identité des laboratoires chargés des prélèvements et des analyses) ;

Définition précise des points de prélèvements, localisation et critères d'identification ;

Paramètres à suivre pour contrôler la qualité des eaux en entrée et en sortie de la station d'épuration, en sortie de la bache de stockage (le cas échéant) et en sortie des asperseurs :

- paramètres physico-chimiques à suivre quotidiennement : matières en suspension (MES), demande biochimique en oxygène en cinq jours (DBO5), demande chimique en oxygène (DCO), carbone organique total (COT) et dissous (COD), turbidité, paramètres relatifs à l'azote (NTK, N-NH₄⁺, N-NO₂⁻ et N-NO₃⁻) et phosphore total ;
- paramètres microbiologiques à suivre hebdomadairement : *Escherichia coli*, entérocoques fécaux, spores de bactéries anaérobies sulfite-réductrices, bactériophages ARN-F spécifiques, *Legionella* spp et *Legionella pneumophila*, amibes, *Cryptosporidium* et *Giardia*.

Synthèse des résultats analytiques et synthèse des résultats de toutes les analyses comprenant notamment la date des prélèvements, le volume d'eau analysé, la limite de détection et le rendement de récupération de la méthode utilisée ;

Copie, sur support informatique, des résultats d'analyses du laboratoire.

B. – Le préfet transmet le dossier à l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail, après l'avoir complété avec les pièces suivantes, en trois exemplaires :

12. Avis des services de l'Etat, des organismes consultés et, le cas échéant, de l'hydrogéologue agréé.

13. Rapport et avis du conseil départemental de l'environnement et des risques sanitaires et technologiques et projet d'arrêté préfectoral.

ANNEXE IV

FREQUENCES DE SURVEILLANCE DES EAUX USEES TRAITÉES

USAGE REQUIÉRANT A MINIMA (1) une eau de qualité sanitaire	FREQUENCE D'ANALYSES	VALEUR LIMITE A RESPECTER en <i>Escherichia coli</i> (UFC/100 ml)
A	1 par semaine	≤ 250
B	1 tous les 15 jours	≤ 10 000
C et D	1 par mois	≤ 100 000

(1) Selon le tableau de l'annexe I.

Annexe 4 : Techniques d'arrosage et d'irrigation selon les espaces verts

Pour les espaces verts les différentes techniques d'arrosage par aspersion sont choisies en fonction de la nature du couvert, de l'intensité et du type de fréquentation, de la fréquence des apports, de la capacité d'investissement et de la disponibilité de la main d'œuvre.

Les solutions d'irrigation localisée, du type goutte à goutte, qui n'est pas envisageable pour les couverts homogènes et couvrants comme les pelouses ne seront pas abordées. Seule l'aspersion a un coût abordable, les techniques localisées étant appliquées aux massifs et bosquets.

Techniques		Pression	Débit	Portée	Usages	Objectifs spécifiques	Contraintes spécifiques
Canons d'irrigation	Fixes Escamotables ou sur rehausse	5 à 7 bars	15 à 70 m ³ /h	20 à 70 m	Stades, hippodromes	Apport d'une lame d'eau homogène Recherche d'uniformité Maintien de la souplesse des terrains Utilisés sur terrains synthétiques Espaces de grande dimension	Positionnés sur les bordures Risque physique (pression, jet) Fonctionnement hors périodes de fréquentation Apports fréquents doses faibles Contrôle des doses
	Mobiles sur enrouleur	3 à 7 bars	20 à 40 m ³ /h	25 à 45 m	Golfs (fairway), Stades, parcs	Apport d'une lame d'eau homogène Recherche d'uniformité Espaces de grande dimension	Arrosage par bandes parallèles Besoin de main d'œuvre Apports peu fréquents Contrôle des doses

Techniques		Pression	Débit	Portée	Usages	Objectifs spécifiques	Contraintes spécifiques
Turbines à grande portée	Escamotables Fixes	4 à 7 bars	7 à 40 m ³ /h	20 à 45 m	Golfs (fairway), parcs, stades hippodromes, terrains de sport	Apport d'une lame d'eau homogène Recherche d'uniformité Maintien de la végétation Maintien de la souplesse des terrains Espaces de grande dimension	Positionnés sur les bordures ou au milieu des espaces cibles Risque physique (pression, jet) Fonctionnement hors périodes de fréquentation Apports fréquents doses faibles Contrôle des doses
Turbines à moyenne portée	Escamotables Fixes	3 à 5 bars	2 à 7 m ³ /h	8 à 20 m	Golfs (green), parcs, terrains de sport, jardins terre-pleins, rond points, aires d'autoroute	Apport d'une lame d'eau homogène Recherche d'uniformité Maintien de la souplesse des terrains Espaces de dimension réduite	Positionnés sur les bordures ou au milieu des espaces cibles Risque physique réduit Fonctionnement hors périodes de fréquentation Fonctionnement pendant la fréquentation Apports fréquents doses faibles Contrôle des doses
Diffuseurs ou sprays	Fixes Escamotables	1 à 3 bars	0,3 à 2 m ³ /h	<7 m	Parcs, jardins, terre-pleins, rond points, massifs	Apport d'une lame d'eau homogène Uniformité variable Espaces de dimension réduite	Positionnés sur les bordures ou au milieu des espaces cibles Fonctionnement indépendant de la fréquentation sauf sur pelouses ouvertes aux piétons Apports fréquents doses faibles Contrôle des doses médiocre
Micro-asperseurs	Fixes	0.5 à 3 bars	0,1 à 0.8 m ³ /h	<5 m	Massifs, jardinières, jardins, terre-pleins, rond points	Apport d'eau localisé Uniformité variable Espaces de dimension réduite Souvent sous couvert	Positionnés au milieu des espaces cibles Fonctionnement indépendant de la fréquentation Apports fréquents doses faibles Contrôle des doses médiocre

Dans le domaine de la production végétale à des fins économiques, les technologies d'irrigation suivantes peuvent être utilisées.

Techniques		Pression	Débit	Portée	Usages	Objectifs spécifiques	Contraintes spécifiques
Canons d'irrigation <i>50 % des surfaces irriguées en France</i>	Mobiles sur enrouleur Dédié à plusieurs parcelles	Enrouleur 7 à 10 bars Canon 4,5 à 7 bars	30 à 70 m ³ /h	30 à 70 m	Céréales, oléagineux, fourrages, pommes de terre, betteraves	Apport d'une lame d'eau homogène Recherche d'uniformité Espaces de grande dimension (>10ha)	Arrosage par bandes parallèles Positions de 10 à 20h Besoin de main d'œuvre Apports peu fréquents (tour d'eau) Contrôle des doses variable Sensibilité au vent Forte intensité Forts risques de ruissellement
Rampes pivotantes et frontales	Mobiles dédiées à une parcelle	2 à 5 bars	50 à 300 m ³ /h	100 à 1000 m	Céréales, oléagineux, fourrages, betteraves, légumes de plein champ pépinières	Apport d'une lame d'eau homogène Recherche d'uniformité Espaces de grande dimension (>20ha)	Arrosage en rond ou par bande Apports fréquents Contrôle des doses optimal Fertigation fréquente Bonne tolérance au vent
Couverture d'asperseurs	Quadrillage fixe	2 à 5 bars	1 à 2 m ³ /h par arroseur	10 à 20 m	Cultures spéciales, Semences, légumes de plein champ, fruitiers, horticulture, céréales	Apport d'une lame d'eau homogène Recherche d'uniformité Utilisation sur ou sous frondaison Utilisation en lutte anti-gel	Adaptation à tous types de parcelles Apports fréquents Faible intensité d'arrosage Sensible au vent Bon contrôle des doses Besoin en main d'œuvre au montage/démontage
Micro-aspersion	Fixe Pérenne Apport localisé	1 à 2.5 bars	0,1 à 0,5 m ³ /h	<4 m	Légumes de plein champ et sous serre, Fruitiers, horticulture	Apport d'une lame d'eau localisée Utilisation sous frondaison en vergers	Apports fréquents Faible intensité d'arrosage Bon contrôle des doses Filtration 150 à 200µm Fertigation très fréquente

Annexe 5 : Encadrement de la réutilisation des eaux usées traitées par aspersion

1. Recommandations

Les trois principales recommandations concernant la REUT sont celles élaborées par l'US EPA (2004), l'OMS (2006) et l'australien EPA (2006).

Les tableaux XXXIII à XXXVIII regroupent les paramètres de suivi et les valeurs limites retenues par ces organismes. Ils portent uniquement sur la REUT par **ASPERSION** pour les usages agricoles et urbains.

A noter que l'OMS n'a émis des recommandations que pour les usages agricoles.

1.1 Aspect physico-chimique

1.1.1 Usages agricoles

Tableau XXXIII : Paramètres de suivi pour l'aspect physico – chimique et valeurs recommandées pour l'usage agricole.

		DBO ₅ (mg/L)	MES (mg/L)	Turbidité (NTU)	pH	Couleur	Odeur	Cl ₂ résiduel (mg/L)
US EPA (2004)	Cultures alimentaires sans transformation industrielle	≤ 10	(a)	≤ 2	Entre 6 et 9	(a)	(a)	≥ 1
	Cultures alimentaires avec transformation industrielle	≤ 30		(a)				
	Cultures non alimentaires	(a)		(a)				
OMS (2006)	Irrigation illimitée	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)
	Irrigation limitée							
Australian EPA (2006)	Cultures alimentaires sans transformation industrielle	A déterminer au cas par cas	A déterminer au cas par cas	(a)	(a)	(a)	(a)	A prévoir
	Cultures alimentaires avec transformation industrielle	< 20	< 30					
	Cultures non alimentaires	< 20						

(a) : pas de recommandation particulière

1.1.2 Usages urbains

Tableau XXXIV : Paramètres de suivi pour l'aspect physico – chimique et valeurs recommandées pour les usages urbains.

		DBO ₅ (mg/L)	MES (mg/L)	Turbidité (NTU)	pH	Couleur	Odeur	Cl ₂ résiduel (mg/L)
US EPA (2004)	Usages non restreints	≤ 10	(a)	≤ 2	Entre 6 et 9	Absence	Absence	> 1
	Usages restreints	≤ 30	≤ 30	(a)		(a)	(a)	(a)
OMS (2006)	(b)							
Australian EPA (2006)	Usages non restreints	A déterminer au cas par cas	A déterminer au cas par cas	(a)	(a)	(a)	(a)	A déterminer au cas par cas
	Usages restreints	< 20	< 30					A prévoir

(a) : pas de recommandation particulière

(b) : aspect non traité pour cet usage

1.3 Aspect chimique

Au niveau de la contamination chimique, les eaux usées urbaines contiennent de nombreux micropolluants dont un certain nombre est difficilement quantifiable par manque de techniques analytiques suffisamment sensibles à ce jour (émergents majoritairement).

Ces micropolluants peuvent être classés en deux familles (composés minéraux et organiques) parmi lesquelles figurent des substances dites « émergentes » (perturbateurs endocriniens, résidus de médicaments, drogues, etc.).

Les trois organismes (US EPA (2004), OMS (2006) et Australian EPA (2006)) ont abouti aux conclusions suivantes :

- concernant les composés minéraux et organiques, en comparaison avec l'eau destinée à la consommation humaine, l'exposition des populations à ces substances *via* la REUT est beaucoup plus faible. De ce fait, aucune valeur n'est proposée et l'Australian EPA estime que les valeurs limites pour ces substances pourraient être nettement supérieures à celles recommandées pour l'eau potable.
- concernant les substances dites « émergentes », des études complémentaires sont nécessaires pour les quantifier dans les eaux usées urbaines, évaluer leur abattement par les divers procédés de traitements et déterminer les effets potentiels sur la santé et l'environnement.

1.4 Aspect microbiologique

Trois approches différentes pour établir des niveaux de qualité microbiologique des eaux pour la REUT ont été utilisées par l'US EPA, l'OMS et l'Australian EPA (Blumenthal *et al.*, 2000) :

- l'absence de micro-organismes, indicateurs de contamination fécale dans les eaux usées traitées réutilisées tels *E. coli*, les coliformes fécaux. Pour l'US EPA (2004), l'objectif recherché est l'absence d'indicateur fécal dans les eaux usées traitées réutilisées, mais aucune précision n'est donnée sur le volume d'eau analysé ;
- l'absence d'excès de cas d'infections entériques mesurable dans la population exposée. Les critères de qualité des eaux usées traitées sont basés sur les résultats d'études épidémiologiques complétées par des études microbiologiques sur la transmission des germes pathogènes (ex : OMS, 1989) (Anderson, 2001) ;

- l'estimation d'un risque, calculé à partir d'un modèle applicable à des germes pathogènes choisis (méthode d'analyse quantitative du risque microbiologique). Ce risque devra être inférieur au risque défini comme acceptable. Cette méthode a été appliquée par l'OMS pour réviser ses recommandations en 2006 et par l'Australie pour établir ses propres lignes directrices.

Dans ces recommandations, seule l'US EPA évoque les risques microbiologiques liés à l'aspersion. Cet organisme, seul à préconiser une désinfection chimique et une valeur de chlore résiduel, indique que même si aucune épidémie résultant de l'aspersion d'EUT n'a été documentée et même si les études montrent que les risques sanitaires associés aux aérosols sont faibles (US EPA, 1980), il est nécessaire de limiter l'exposition aux aérosols jusqu'à ce qu'une évaluation complète des risques sanitaires ait été menée.

1.4.1 Usages agricoles

Tableau XXXV : Paramètres de suivi pour l'aspect microbiologique et valeurs recommandées pour l'usage agricole.

		<i>E. coli</i> (UFC/ 100 mL)	Coliformes fécaux (UFC/ 100 mL)	Œufs d'helminthes (œuf/L)	Virus entériques (Abattement)	Protozoaires entériques (Abattement)	Bactéries entériques (Abattement)
US EPA (2004)	<i>Cultures alimentaires sans transformation industrielle</i>	(a)	ND	(a)	(a)	(a)	(a)
	<i>Cultures alimentaires avec transformation industrielle</i>		< 200				
	<i>Cultures non alimentaires</i>		< 200				
OMS (2006)	<i>Irrigation illimitée</i>	(a)	(a)	≤ 0.1	6 – 7 log		
	<i>Irrigation limitée</i>			(a)			
Australian EPA (2006)	<i>Cultures alimentaires sans transformation industrielle</i>	< 1	(a)	(a)	6 log	5 log	5 log
	<i>Cultures alimentaires avec transformation industrielle</i>	< 100					
	<i>Cultures non alimentaires</i>	< 10000					

ND : non détectable

(a) : pas de recommandation particulière

1.4.2 Usages urbains

Tableau XXXVI : Paramètres de suivi pour l'aspect microbiologique et valeurs recommandées pour les usages urbains.

		<i>E. coli</i> (UFC/ 100 mL)	Coliformes fécaux (UFC/ 100 mL)	Virus entériques (Abattement)	Protozoaires entériques (Abattement)	Bactéries entériques (Abattement)
US EPA (2004)	<i>Usages non restreints</i>	(a)	0	(a)	(a)	(a)
	<i>Usages restreints</i>		< 200			
OMS (2006)	(b)					
Australian EPA (2006)	<i>Usages non restreints</i>	< 1	(a)	5 log	3,5 log	4 log
	<i>Usages restreints</i>	< 100				

(a) : pas de recommandation particulière

(b) : aspect non traité pour cet usage

1.5 Mesures complémentaires

Pour limiter l'exposition, les préconisations suivantes ont été proposées par l'US EPA en 2004 et reprises par l'OMS et l'Australian EPA en 2006 :

- respecter des distances de sécurité ;
- créer des barrières au vent (barrières végétales ou murs autour des surfaces irriguées) ;
- préférer des systèmes d'irrigation basse pression équipés d'arroseurs dont les brises jets permettent de réduire la formation de fines goutelettes, positionnés le plus proche possible du sol et si possible dans le couvert végétal ;
- irriguer hors période d'ouverture au public, ou de passage du personnel, et avec des vitesses de vent faibles ;
- préférer des méthodes d'irrigation localisée.

L'US EPA précise que les distances de sécurité sont définies par les instances réglementaires d'une manière arbitraire sur la base du niveau de désinfection et de l'expérience.

Les tableaux XXXVII et XXXVIII suivants reprennent les mesures préventives complémentaires à mettre en place directement sur le site de REUT.

1.5.1 Usages agricoles

Tableau XXXVII : Mesures complémentaires préventives sur site pour les usages agricoles.

		Accès du public	Distances de sécurité	Contrôle de l'aspersion	Autres
US EPA (2004)	Cultures alimentaires sans transformation industrielle	(a)	15 mètres des forages d'eau potable	(a)	(a)
	Cultures alimentaires avec transformation industrielle	(a)	90 mètres des forages d'eau potable	(a)	(a)
	Cultures non alimentaires	(a)	30 mètres des zones accessibles au public	(a)	(a)
OMS (2006)	Irrigation illimitée	(a)	50 mètres des maisons et des routes	Angle des asperseurs (180°), microasperseurs, écran végétal, arrêt automatisé en cas de vent	Plusieurs combinaisons possibles : Traitement + inhibition naturelle des microorganismes + lavages des cultures Ou Traitement Ou Traitement + type d'irrigation
	Irrigation limitée	(a)			
Australian EPA (2006)	Cultures alimentaires sans transformation industrielle	(a)			
	Cultures alimentaires avec transformation industrielle	Pas d'accès du public pendant l'irrigation	25 à 30 mètres	Angle des asperseurs (180°), écran végétal, arrêt automatisé en cas de vent	Durée de 2 jours entre l'irrigation et la récolte
	Cultures non alimentaires		25 à 30 mètres et possible extension à 50 mètres		(a)

(a) : pas de recommandation particulière

1.5.2 Usages urbains

Tableau XXXVIII : Mesures complémentaires préventives sur site pour les usages urbains.

		Accès du public	Distances de sécurité	Contrôle de l'aspersion	Autres
US EPA (2004)	Usages non restreints	(a)	15 mètres des forages d'eau potable	(a)	Taux de chlore résiduel de 1,5 mg/L dans le système de distribution
	Usages restreints		90 mètres des forages d'eau potable 30 mètres des zones accessibles au public		(a)
OMS (2006)		(b)			
Australian EPA (2006)	Usages non restreints	Pas de mesures préventives sur site, le traitement devant permettre d'atteindre les objectifs de qualité microbiologique			
	Usages restreints	Interdit pendant l'irrigation	Plus, au choix, l'une des recommandations ci-dessous :		
	25 à 30 mètres du point d'accès au public le plus proche		Angle des asperseurs (180°), écran végétal, arrêt automatisé en cas de vent	Accès aux terrains irrigués interdits pendant une durée comprise entre 1 et 4 heures suivant l'irrigation	

(a) : pas de recommandation particulière

(b) : aspect non traité pour cet usage

2. Réglementations

Ce chapitre recense les valeurs réglementaires retenues par différents pays dont les pratiques sont proches de celles utilisées en France. Il s'agit des États de Californie (US), de South Australia (Australie), d'Israël, de l'Espagne, Chypre, la Jordanie, l'Italie et du Japon.

Les tableaux XXXIX à XLIII reprennent les paramètres suivis et valeurs limites retenues pour les usages agricoles et urbains.

2.1 Suivi physico-chimique

2.1.1 Usages agricoles

Tableau XXXIX : Paramètres de suivi pour l'aspect physico – chimique et valeurs limites réglementaires pour les usages agricoles.

		DBO ₅ (mg/L)	DCO (mg/L)	O ₂ dissous (mg/L)	MES (mg/L)	Turbidité (NTU)	Cl ₂ résiduel (mg/L)	pH	SAR	Phosphore (mg/L)	Nitrate (mg/L)	Azote total (mg/L)	Conductivité (µS/cm)
Californie		(a)	(a)	(a)	(a)	≤ 2	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)
South Australia		< 20	(a)	(a)	(a)	≤ 2	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)
Israël		15	(a)	0.5	15	(a)	0.5	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)
Espagne	Cultures alimentaires sans transformation industrielle	(a)	(a)	(a)	20	10	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)
	Cultures alimentaires avec transformation industrielle				35	(a)	(a)						
	Cultures non alimentaires				35	(a)	(a)						
Chypre		10			10	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)
Jordanie	Cultures alimentaires cuites	30	100	> 2	50	10	(a)	Entre 6 et 9	(a)	(a)	30	45	(a)
	Arbres fruitiers	200	500	(a)	150	(a)	(a)				45	70	
	Cultures de champs, cultures industrielles et forêts	300	500	(a)	150	(a)	(a)				45	70	
Italie		20	100	(a)	10	(a)	(a)	Entre 6.5 et 9	10	2	15		3 000

(a) : pas de valeur limite

2.1.2 Usages urbains

Tableau XL : Paramètres de suivi pour l'aspect physico – chimique et valeurs limites réglementaires pour les usages urbains.

		DBO ₅ (mg/L)	DCO (mg/L)	O ₂ dissous (mg/L)	MES (mg/L)	Turbidité (NTU)	pH	SAR	Phosphore (mg/L)	Nitrate (mg/L)	Azote total (mg/L)	Conductivité (µS/cm)	Apparence Couleur Odeur
Californie	Restreints											(a)	(a)
	Non restreints	(a)	(a)	(a)	(a)	2	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	
South Australia	Restreints		(a)		(a)							(a)	(a)
	Non restreints	< 20	< 30	(a)	≤ 2	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	
Italie		20	100	(a)	10	(a)	6 et 9.5	10	2	15	(a)	3000	(a)
Jordanie	Restreints	30	100	> 2	50	10	6 et 9	(a)	(a)	30	45	(a)	(a)
	Non restreints	200	500	(a)	150	(a)		9		45	70		
Japon		(a)	(a)	(a)		≤ 2 mg- kaolin equivalent/ L	5.8 et 8.6	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	Plaisant
Espagne		(a)	(a)	(a)	20	10	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)

(a) : pas de valeur limite

2.2 Suivi microbiologique

2.2.1 Usages agricoles

Tableau XLI : Paramètres de suivi pour l'aspect microbiologiques et valeurs limites réglementaires pour les usages agricoles.

		<i>E. coli</i> (UFC/ 100 mL)	Coliformes fécaux (NPP/100 mL)	Coliformes totaux (UFC/100 mL)	Nématodes intestinaux (œuf/10L)	<i>Taenia saginata</i> (œuf/L)	<i>Taenia solium</i> (œuf / L)	Œufs d'helminthes (œuf/L)	<i>Legionella spp</i> (UFC/L)	Salmonelles	
Californie	Cultures alimentaires	(a)	(a)	2.2 (moyenne sur 7 jours)	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	
	Cultures non alimentaires			23 (moyenne sur 7 jours)							
South Australia	Toutes cultures	< 10	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	
	Cultures restreintes	< 100									
	Prairies, fourrages	< 1 000									
Israël		(a)	(a)	12 NPP/100 mL (80 % du temps) 2.2 NPP/100mL (50 % du temps)	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	
Espagne	Cultures alimentaires sans transformation industrielle	100	(a)	(a)	1 (<i>Ancylostoma</i> , <i>Trichuris</i> et <i>Ascaris</i>)	(a)	(a)	(a)	100	(a)	
	Cultures alimentaires avec transformation industrielle	1 000				1	1				(a)
	Cultures non alimentaires	10 000				(a)	(a)				1 000
Chypre			50	(a)	(a)	(a)	(a)	0	(a)	(a)	
Jordanie	cultures alimentaires cuites	100	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	≤ 1	(a)	(a)	
	Arbres fruitiers	1 000									
	Cultures de champs, cultures industrielles et forêts										
Italie		10	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	(a)	Absence	

(a) : pas de valeur limite

2.2.2 Usages urbains

Tableau XLII : Paramètres de suivi pour l'aspect microbiologique et valeurs limites réglementaires pour les usages urbains.

		<i>E. coli</i> (UFC/ 100 mL)	Coliformes totaux (UFC/ 100 mL)	Nématodes intestinaux (œuf/10L)	Œufs d'helminthes (œuf/L)	<i>Legionella</i> <i>spp</i> (UFC/L)
Californie	<i>Restreints</i>	(a)	2.2	(a)	(a)	(a)
	<i>Non restreints</i>	(a)	23	(a)	(a)	(a)
South Australia	<i>Restreints</i>	< 10	(a)	(a)	(a)	(a)
	<i>Non restreints</i>	< 100	(a)	(a)	(a)	(a)
Italie		10	(a)	(a)	(a)	Absence
Jordanie	<i>Parcs, aires de jeux, bords de routes à l'intérieur des villes</i>	100	(a)	(a)	≤ 1	(a)
	<i>Bords des routes à l'extérieur des villes, jardins paysagés</i>	1 000	(a)	(a)		(a)
Japon		ND	(a)	(a)	(a)	(a)
Espagne		200	(a)	1 (<i>Ancylostoma</i> , <i>Trichuris</i> et <i>Ascaris</i>)	(a)	100

ND : Non détectable

(a) : pas valeur limite

2.3 Suivi chimique

Seules la Jordanie et l'Italie préconisent le suivi de paramètres chimiques (Tableau XXXIV).

Tableau XLIII : Paramètres chimiques et valeurs limites recommandées (mg/L).

	Italie	Jordanie
Aluminium	1,0	5,0
Arsenic	0,02	0,1
Barium	10	(a)
Beryllium	(a)	0,1
Bore	1,0	1,0
Cadmium	0,005	0,01
Calcium	(a)	230
Cobalt	0,05	0,05
Chrome (total)	0,1	0,1
Chrome hexavalent	0,005	(a)
Fer	2,0	5,0
Fluor	(a)	1,5
Lithium	(a)	2,5 (0,075 pour les citronniers)
Magnésium	(a)	100
Manganèse	0,2	0,2

Mercure	0,001	0,002
Molybdène	(a)	0,01
Nickel	0,2	0,2
Plomb	0,1	5,0
Cuivre	1,0	0,2
Sélénium	0,01	0,05
Etain	3,0	(a)
Thallium	0,001	(a)
Vanadium	0,1	0,1
Zinc	0,5	5,0
Cyanures	0,05	(a)
Sulfure d'hydrogène	0,5	(a)
Sulfites	0,5	(a)
Sulfates	500	500
Phosphates	(a)	30
Chlorure	250	400
Bicarbonates	(a)	400
Fluorure	1,5	(a)
Phénols	0,1	< 0,002
Pentachlorophénols	0,003	(a)
Aldéhydes	0,5	(a)
Tetra/trichloro-éthylène	0,01	(a)
THM totaux	0,03	(a)
Solvants chlorés	0,04	(a)
Solvants aromatiques	0,001	(a)
Benzène	0,01	(a)
Benzo[a]pyrene	0,00001	(a)
Pesticides organophosphorés	0,00001	(a)
Autres pesticides (total)	0,05	(a)
Biocides chlorés	0,0001	(a)
Surfactants (total)	0,5	(a)

(a) : pas de valeur limite

Annexe 6 : Caractérisation du risque de dérive et d'évaporation d'une gamme d'asperseurs d'irrigation

Tableau XLIV : Synthèse des résultats de l'étude Onema – Cémagref pour 7 asperseurs (Molle *et al.*, 2010).

Canon Komet Twin 101 Plus, buse 22mm						
Pression de fonctionnement (bar)	3,5		4,5		5,5	
Débit délivré (m ³ /h)	35,3		41,0		44,2	
Volume (L/h) & % gouttes <0,15mm	11,4	0,03 %	22,6	0,06 %	27,1	0,06 %
Volume (L/h) & % gouttes <0,40mm	125,6	0,35 %	227,6	0,56 %	271,3	0,61 %
Portée (m) Dérive	42,0	18 %	47,0	18 %	50,5	21 %
Turbine Rain Bird EAGLE 750 S						
Pression de fonctionnement (bar)	4,5		5,5		6,5	
Débit délivré (m ³ /h)	5,19		5,85		7,01	
Volume (L/h) & % gouttes <0,15mm	2,6	0,05 %	1,9	0,03 %	2,0	0,03 %
Volume (L/h) & % gouttes <0,40mm	28,1	0,54 %	21,1	0,36 %	24,6	0,35 %
Portée (m) Dérive	22,2	20 %	23,5	20 %	23,5	19 %
Aspersion Rain Bird 46 WH						
Pression de fonctionnement (bar)	2,5		3,5		4,5	
Débit délivré (L/h)	1530		1789		2100	
Volume (L/h) & % gouttes <0,15mm	4,7	0,30 %	3,1	0,17 %	4,8	0,23 %
Volume (L/h) & % gouttes <0,40mm	64,8	4,23 %	75,0	4,19 %	118,1	5,62 %
Portée (m) Dérive	13,5	25 %	14,0	30 %	14,5	37 %
Turbine Rain Bird 5000 plus						
Pression de fonctionnement (bar)	2,0		3,0		4,0	
Débit délivré (L/h)	489		601		716	
Volume (L/h) & % gouttes <0,15mm	0,9	0,19 %	2,11	0,35 %	3,1	0,43 %
Volume (L/h) & % gouttes <0,40mm	21,5	4,42 %	38,81	6,46 %	55,3	7,73 %
Portée (m) Dérive	11,5	17 %	12,5	23 %	12,5	28 %
Aspersion Nan-Dan 5022 U						
Pression de fonctionnement (bar)	2,5		3,0		3,5	
Débit délivré (L/h)	575		657		700	
Volume (L/h) & % gouttes <0,15mm	7,0	1,2 %	11,9	1,8 %	17,5	2,5 %
Volume (L/h) & % gouttes <0,40mm	66,1	11,5 %	96,7	14,7 %	165,4	23,6 %
Portée (m) Dérive	10,0	18 %	10,3	20 %	10,2	16 %
Micro-aspersion Nan-Dan Hadar 7110						
Pression de fonctionnement (bar)	2,5		3,0		3,5	
Débit délivré (L/h)	87,7		99,0		127,2	
Volume (L/h) & % gouttes <0,15mm	5,3	6,1 %	7,0	7,1 %	7,6	6,0 %

Volume (L/h) & % gouttes <0,40mm	54,0	61,7 %	78,0	78,8 %	94,1	74,0 %
Portée (m) Dérive	3,8	34 %	3,9	37 %	3,75	29 %
Micro-asperseur Nan-Dan Turbojet						
Pression de fonctionnement (bar)	2,5		3,0		3,5	
Débit délivré (L/h)	31,1		36,7		35,7	
Volume (L/h) & % gouttes <0,15mm	1,7	5,5 %	0,2	0,5 %	0,5	1,3 %
Volume (L/h) & % gouttes <0,40mm	14,3	46,1 %	4,82	13,1 %	7,10	21,0 %
Portée (m) Dérive	2,25	39 %	3,0	22 %	3,75	21 %

Annexe 7 : Premiers résultats du volet de la convention de recherche et développement intitulée « Évaluation du risque de dispersion d'aérosols biologiques par aspersion d'eaux usées traitées »

Dans le cadre de la convention de recherche et développement (CRD) dont l'annexe technique est présentée en annexe 2, voici les principaux résultats qu'il convient de retenir sur le volet 1 concernant les aspects technologiques, sans prise en compte du volet biologique. L'analyse technique des procédés d'aspersion a été conduite à partir de mesure de tailles des particules d'eau produites au laboratoire, puis d'une première approche de l'évaluation *in situ* du transport des plus petites d'entre elles sous le vent de l'asperseur. Ce volet est axé sur le transport des particules d'eau (ou volume transporté) échappant au périmètre mouillé et correspondant à une pluviométrie inférieure à 0,3 mm/h (le périmètre mouillé recevant une pluviométrie supérieure à 0,3 mm/h) et éventuellement affecté par de la dérive,

➤ Méthodes et outils

- Caractérisation de la distribution des dispositifs d'aspersion utilisables avec des EUT

L'objectif de ce travail est de caractériser la composition granulométrique du nuage de gouttelettes issu d'un jet au cours de sa dispersion. La dispersion d'un jet est due principalement à sa turbulence et à la différence entre sa vitesse lorsqu'il sort de la buse et la vitesse de l'air environnant. La vitesse de l'eau dans le jet est déterminée par la pression, le diamètre et la forme de la buse. Toutefois, pour les eaux usées, il faut vérifier si d'autres paramètres interviennent comme la charge en particules en suspension et/ou la viscosité du fluide.

Les effets de la charge solide transportée et de la viscosité d'une EUT modèle sur les caractéristiques physiques de l'écoulement ou de la dispersion au moyen d'un asperseur modèle ont été caractérisés. Une partie du travail a été faite en expérimentation (charge), une autre en simulation (viscosité).

- Matériels et méthodes

Deux types d'asperseurs, représentatifs du marché français et testés pour trois pressions différentes (incluant les valeurs minimale et maximale des pressions recommandées par les constructeurs) ont été utilisés :

- arroseur type turbine utilisé en Parcs et Jardins fonctionnant entre 2 et 4 bars, avec un débit variant entre 500 et 700 L/h, et une portée de moins de 13 m ;
- arroseur type sprinkler utilisé en agriculture fonctionnant entre 2,5 et 4,5 bars, avec un débit variant entre 1500 et 2000 L/h et une portée de moins de 15 m.

Leur distribution radiale d'apport d'eau a été mesurée en laboratoire dans chacune des configurations sus-mentionnées, c'est à dire sans vent dont on déduit la portée de l'asperseur. Puis a été mesurée la distribution granulométrique des gouttelettes produites au moyen de deux dispositifs : un capteur à infra rouge (DBS), pour caractériser les gouttelettes au niveau du sol entre 100 et 5000 μm et un dispositif de « particle tracking velocimetry » (PTV), pour les gouttelettes à partir de 70 μm en différentes hauteurs au niveau de l'apogée.

Un arroseur modèle sans batteur a été utilisé afin d'analyser l'effet de la charge sur la dispersion du jet. Trois essais, l'un avec une eau pure et l'autre avec une eau chargée de particules minérales à 22 et 33 mg/L, ont été réalisés et ont permis d'obtenir la distribution granulométrique. L'effet de la viscosité a ensuite été étudié par simulation.

L'effet de la pression a également été étudié à l'aide du dispositif PTV et par simulation comme pour la viscosité, deux valeurs de viscosité ont été testées, celle de l'eau (1 centipoise) et son double.

Enfin un arroseur de parc et jardin (Rainbird 5000+) utilisé aussi couramment sur les golfs, sur une parcelle isolée, alimentée en eau potable additionnée d'un colorant a été testé. Cette parcelle étant

dégagée, cela a permis d'avoir des conditions de vent stables. Des dispositifs de collecte horizontaux et verticaux (0,5 et 1,5 m de hauteur) ont été placés sous le vent et jusqu'à une distance de 45 m de l'asperseur.



Figure 12 : Dispositifs de collecte horizontaux et verticaux.

Pour estimer le transport, le traceur recueilli dans les collecteurs par colorimétrie a été dosé. Les valeurs obtenues ont ensuite été comparées à la solution mère dispersée par l'arroseur ce qui a permis d'en déduire le volume collecté.

Les données météorologiques ont été enregistrées au moyen de 2 anémomètres soniques 3D (2,7 et 3,9 m), un pyranomètre (rayonnement en kW/m²), une sonde de température et humidité relative.

- Résultats des mesures et simulations
 - Caractérisation des paramètres de distribution

La mesure de distribution radiale de pluviométrie donne la répartition de l'eau autour de l'asperseur en volume, permettant ensuite d'en déduire la distribution de diamètres de gouttelettes pour affecter à chaque classe de diamètre le volume d'eau représenté.

Le DBS permet d'obtenir une distribution en diamètre et vitesses des gouttes en 6 points de la portée de l'asperseur et donc d'estimer la proportion en volume des gouttelettes sensibles à la dérive (gouttelettes de moins de 400 µm de diamètre) et au transport (moins de 150 µm).

Il ressort de ces essais que :

- la viscosité exerce un effet mineur sur les valeurs de l'énergie cinétique turbulente à la sortie de la buse ;
- L'augmentation de la pression se traduit par une augmentation de l'apogée liée à l'augmentation de la vitesse d'éjection du jet, et une baisse de la taille moyenne des gouttelettes. Les courbes obtenues sur les deux asperseurs suivent la même tendance, laissant penser que les processus de dispersion mis en œuvre, à partir d'un jet principal, pour ce type d'arroseurs, sont comparables. Les simulations effectuées en complément sur le même arroseur aux trois valeurs de pression: 2,5 ; 3,5 ; 4,5 bar mettent en évidence ce même phénomène.

Enfin, il n'a pas été possible de mettre en évidence l'effet de la charge de l'effluent sur la dispersion des gouttelettes issu d'un jet d'aspersion.

- Analyse du transport *in situ* en conditions ventées au moyen d'eau colorée

Une dizaine d'essais de mesure a été menée dans des conditions climatiques cohérentes avec les conditions rencontrées lors de l'utilisation d'eaux usées traitées en aspersion. Pour chaque distance de mesure, les courbes des doses transportées sous le vent de l'asperseur ont été tracées en fonction de la distance (Figure 13). Au cours de l'ensemble des 10 sessions de mesures, la vitesse moyenne du vent horizontal a varié de 1,5 à 4,8 m/s. La composante verticale

de la vitesse a quant à elle varié de -7 à +9 cm/s, soit des valeurs faibles au regard des vitesses de sédimentation d'un aérosol (25 cm/s).

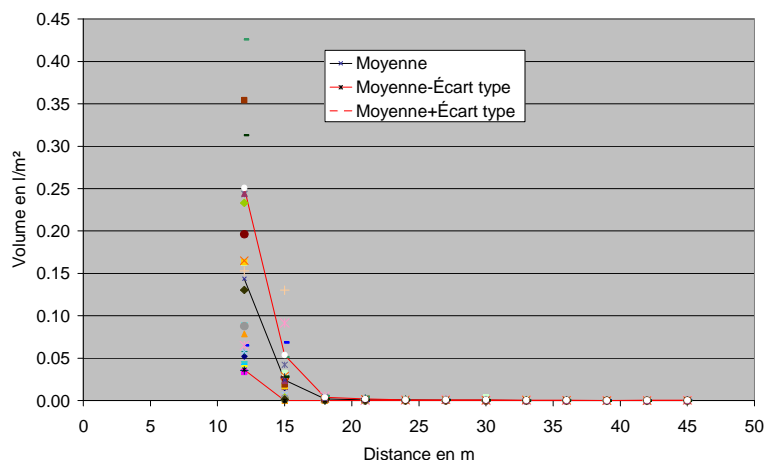


Figure 13 : Transport des particules mesuré sur l'ensemble des essais, asperseur Rainbird 5000+.

Même si les doses sont faibles ($<0,1 \text{ mL/m}^2/\text{h}$), un transport de particules d'eau a pu être observé avec des vitesses du vent inférieures à 2 m/s.

Jusqu'à 12 m, il s'agit de volume soumis à la dérive. La quantité d'eau recueillie diminue ensuite très rapidement. Au-delà de 18 m la dose recueillie est inférieure $5 \text{ mL/m}^2/\text{h}$ puis à une distance égale à deux fois la portée de l'asperseur (25 m), elle devient inférieure à $2 \text{ mL/m}^2/\text{h}$.

Dans les boîtes de Pétri placées verticalement, des quantités proches de celles collectées dans les boîtes de Pétri placées horizontalement ont été recueillies (Tableau XLV). En bordure de la zone de mesure, la dose maximale mesurée d'embruns en suspension dans la masse d'air se déplaçant avec elle est de $5 \text{ mL/m}^2/\text{h}$. Ces mesures donnent une idée du panache de gouttelettes passant à une hauteur moyenne de 1 m du sol environ. La méthode doit être affinée pour pouvoir reconstituer l'ensemble des volumes pouvant être transportés.

Distance m	Minimum Bas	Maximum Bas	Minimum Haut	Maximum Haut
21	0.298	26.598	0.379	27.722
30	0.069	10.722	0.066	10.385
39	0.029	4.075	0.031	4.052
48	0.008	2.662	0.002	4.102

Tableau XLV : Doses moyennes recueillies par les boîtes de pétri verticales à 0,4 et 1,3 m du sol en $\text{mL/m}^2/\text{h}$.

➤ Conclusions et perspectives

Les mesures *in situ* ont permis de développer un protocole pour caractériser les volumes d'eau dérivés et transportés. Pour un asperseur d'un débit de 700 L/h, une portée de 12,5 m et une pression de 3 bars, des volumes de moins de $2 \text{ mL/m}^2/\text{h}$ ont été mesurés à une distance de 45 m de l'asperseur sous un vent moyen maximum de 4,4 m/s. Le travail a été conduit sur un modèle d'asperseur à relativement faible portée, ainsi pour être plus complet la prise en compte des asperseurs à grande portée (plus de 20 m) serait nécessaire, à la fois en modélisation et *in situ*.

Annexe 8 : Sélection des VTR les plus pertinentes

➤ Dieldrine (n°CAS : 60-57-1)

- VTR pour des effets chroniques à seuil

Sans objet.

- VTR pour des effets chroniques sans seuil

	US EPA (1993)	OEHHA
VTR	ERU = $4,6 \cdot 10^{-3} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$	ERU = $4,6 \cdot 10^{-3} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$
Études clés	Davis (1965), Walker (1972), Thorpe et Walker (1973), Tennekes <i>et al.</i> (1981), Meierhenry (1983)	US EPA (1993)
Population d'étude	Souris (souches CF1, B63F1)	
Voie d'exposition	Orale (alimentation)	
Concentrations testées		
Durée d'exposition	80 à 110 semaines	
Effet critique	Carcinomes hépatocellulaires	
Concentration critique		
Modèle utilisé	Modèle multi-étape linéarisé	
Facteurs d'incertitude	ERU basé sur données voie orale	

Commentaires : Aucune VTR pour un effet à seuil n'est disponible. Pour les effets sans seuil, une seule valeur a été identifiée à partir d'une étude animale (US EPA, 1993 ; ATSDR, 2002), soit une valeur correspondant à un excès de risque pour une étude impliquant la voie orale (alimentation) $\text{ERU} = 4,6 \cdot 10^{-3} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$.

Le document source de l'OEHHA expliquant et justifiant la détermination de la valeur de référence est indisponible.

Conclusion : Cette VTR semble adaptée au contexte de l'ERS. De plus, une seule valeur est disponible. Ainsi, pas de choix à opérer : VTR retenue.

La VTR est utilisée sous l'acronyme $\text{VTR}_{\text{extrapolée Orale-Inhalation}}$.

➤ **Cobalt (n°CAS : 7440-48-4)**

➤ VTR pour des effets chroniques à seuil

	ATSDR (2004)	RIVM(2000)
VTR	VTR = 0,1 µg/m ³	VTR = 0,5 µg/m ³
Étude clé	Némery <i>et al.</i> , 1992	
Population d'étude	Humaine (travailleurs, polisseurs de diamants)	Humaine (travailleurs)
Voie d'exposition	inhalation	
Concentrations testées		
Durée d'exposition		
Effet critique	Diminution de la capacité respiratoire	Effets pulmonaires
Concentration critique	LOAEL=0,0151 mg/m ³ NOAEL=0,0053 mg/m ³	LOAEL=0,05 mg/m ³
Modèle utilisé	Ajustement temporel du NOAEL à 0,0013 mg/m ³	
Facteurs d'incertitude	10 : variabilité interindividuelle	10 : variabilité interindividuelle 10 : extrapolation à partir d'un LOAEL

➤ VTR pour des effets chroniques sans seuil

Sans objet

Commentaires : Trois valeurs de doses repères sont disponibles pour les effets à seuil : LOAEL (0,015 mg/m³) et NOAEL (0,0053 mg/m³) de l'ATSDR (2004), et LOAEL (0,05 mg/m³) du RIVM (2000) (valeur non-documentée).

La VTR de 0,01 µg/m³ a été calculée à partir d'une seule valeur de NOAEL (obtenue dans une étude humaine) après un ajustement temporel (facteur 4) et l'utilisation d'un facteur de sécurité de 10 (variation interindividuelle).

Conclusion : Le RIVM ne documente pas sa valeur. La VTR de l'ATSDR semble adaptée au contexte de l'ERS et est donc retenue.

➤ **Hexachlorocyclohexane (=lindane) CAS N°58-89-9**

- VTR pour des effets chroniques à seuil

A ce jour, aucune instance ne propose de VTR se rapportant à un effet à seuil pour l'hexachlorocyclohexane pour une exposition chronique par voie respiratoire.

- VTR pour des effets chroniques sans seuil

L'OEHHA en 1994 a proposé la valeur de $3,1 \cdot 10^{-4} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$ comme valeur de risque unitaire pour la voie d'inhalation.

	OEHHA (1994)
VTR	ERU = $3,1 \cdot 10^{-4} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$
Étude clé	Thorpe et Walker (1973)
Population d'étude	Souris mâle CF1
Voie d'exposition	voie orale
Concentrations testées	400 ppm, soit 52 mg/kg/j
Durée d'exposition	110 semaines
Effet critique	Carcinome hépatocellulaire
Concentration critique	
Modèle utilisé	Modèle multi-étape linéarisé (ERU voie orale = $1,1 \text{ mg}/\text{kg}/\text{j})^{-1}$)
Facteurs d'incertitude	Aucun

Commentaires : La construction de la VTR de l'OEHHA repose sur des choix méthodologiques justifiés : la VTR proposée a été construite à partir de données animales en l'absence de données chez l'homme sur une durée d'exposition de 110 semaines, ce qui correspond à la vie entière chez l'animal.

L'OEHHA justifie la construction de sa VTR à partir d'une étude menée par voie orale par l'absence d'étude disponible par voie respiratoire. La valeur a été extrapolée pour la voie d'inhalation : ERU = $3,1 \cdot 10^{-4} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$.

Conclusion : Cette VTR semble adaptée au contexte de l'ERS. De plus, une seule valeur est disponible. Ainsi, pas de choix à opérer : VTR retenue. La VTR a été extrapolée à partir de données obtenues dans une étude impliquant la voie orale.

➤ **Pentachlorophénol (n°CAS : 87-86-5)**

- VTR pour des effets chroniques à seuil

Sans objet

- VTR pour des effets chroniques sans seuil

	OEHHA (2009)
VTR	ERU = $5,1 \cdot 10^{-6}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ⁻¹
Étude clé	NTP (1989)
Population d'étude	Souris B6C3F1
Voie d'exposition	Alimentation
Concentrations testées	0, 100, 200, ou 600 mg/kg/j
Durée d'exposition	Étude cancérogénèse sur 2 ans
Effet critique	Augmentation dose dépendant de l'incidence des tumeurs du foie et des glandes surrénales chez mâles et femelles
Concentration critique	
Modèle utilisé	Modèle multi-étape linéarisé (adénomes et carcinomes hépatocellulaires)

Commentaires : Aucune VTR pour effet à seuil n'est disponible. Pour les effets sans seuil, une seule valeur a été identifiée à partir d'une étude animale (NTP, 1989) et retenue par l'OEHHA en 2009, soit une valeur correspondant à un excès de risque pour une étude impliquant la voie orale (alimentation). L'OEHHA a calculé une valeur de $q1^* = 8,34 \cdot 10^{-2}$ (mg/kg/j)⁻¹ et une valeur équivalente chez l'humain de $q1^* = 8,11 \cdot 10^{-2}$ (mg/kg/j)⁻¹.

Conclusion : Cette VTR semble adaptée au contexte de l'ERS. De plus, une seule valeur est disponible. Ainsi, pas de choix à opérer : VTR retenue et sera utilisée sous l'acronyme VTR ^{Extrapolée} Orale-Inhalation. La VTR a été extrapolée à partir de données obtenues dans une étude impliquant la voie orale.

➤ **DEHP n°CAS (117-81-7) :**

A ce jour, seul l'OEHHA propose une VTR à seuil d'effet datant de 2002. Or le potentiel cancérogène du DEHP n'est pas démontré.

Conclusion : Cette VTR ne semble pas pertinente et n'est donc pas retenue par le GT.

➤ **Chrome VI n°CAS (18540-29-9) :**

Le choix des VTR a été restreint au chrome VI qui est la forme la plus toxique.

La toxicité du chrome dépend de son niveau d'oxydation. Parmi les états d'oxydation prédominants dans les eaux (chrome III et chrome VI) ; les composés du chrome VI présentent la plus forte toxicité pour l'Homme (ATSDR 2008 ; OEHHA 2011).

➤ VTR pour des effets chroniques à seuil

Composés de chrome VI dissouts

	US-EPA (1998)	OEHHA (2000)	OEHHA (2000)	ATSDR (2008)
Composés	Vapeurs d'oxyde chromique et aérosols de chrome VI dissout	Composés solubles du chrome VI à l'exception de l'oxyde chromique	Vapeurs d'oxyde chromique	Aérosols et vapeurs de chrome VI dissout
VTR	VTR = 8.10^{-6} mg/m ³	VTR = 2.10^{-4} mg/m ³	VTR = 2.10^{-6} mg/m ³	VTR = 5.10^{-6} mg/m ³
Études clés	Lindberg et Hedenstierna, 1983	Glaser <i>et al.</i> , 1990	Lindberg et Hedenstierna, 1983	Lindberg et Hedenstierna, 1983
Population d'étude	humaine (travailleurs)	Rats wistar	humaine (travailleurs)	humaine (travailleurs)
Voie d'exposition	Inhalation	inhalation	Inhalation	Inhalation
Concentrations testées	2.10^{-3} mg/m ³ pendant 8h/24h et 5j/semaine	De 0,54 à 403 µg/m ³	$6,8.10^{-4}$ µg/m ³	
Durée d'exposition	2,5 ans	90 jours	2,5 ans	2,5 ans
Effet critique	Atrophie du septum nasale	Hyperplasie bronchoalvéolaire	Atrophie du septum nasale	Irritation nasale, atrophie des muqueuses et ulcérations
Concentration critique	LOAEL = 2.10^{-3} mg/m ³	LOAEL = 5.10^{-2} mg/m ³	LOAEL = $1,9.10^{-3}$ mg/m ³	LOAEL = 2.10^{-3} mg/m ³
Modèle utilisé	Ajustement temporel de la LOAEL à $7,14.10^{-4}$ mg/m ³	Benchmark concentration BMC ₀₅ = $1,25.10^{-2}$ mg/m ³	Ajustement temporel de la LOAEL	Ajustement temporel de la LOAEL à 5.10^{-4} mg/m ³
Facteurs d'incertitude	3 : extrapolation à partir d'un LOAEL 3 : extrapolation à partir d'une étude de toxicité subchronique 10 : variabilité interhumaine	3 : extrapolation à partir d'une étude de toxicité subchronique 3 : variabilité inter-espèce 10 : variabilité interhumaine	3 : extrapolation à partir d'un LOAEL 10 : extrapolation à partir d'une étude de toxicité subchronique 10 : variabilité interhumaine	10 : extrapolation à partir d'un LOAEL 10 : variabilité interhumaine

Composés de chrome VI particulaires

	US-EPA (1998)	ATSDR (2008) (exposition intermédiaire)
Composés	Chrome VI particulaire	Chrome VI particulaire
VTR	VTR = 1.10^{-4} mg/m ³	VTR = 3.10^{-4} mg/m ³
Études clés	Glaser <i>et al.</i> , 1990 Malsch <i>et al.</i> , 1994	Glaser <i>et al.</i> , 1990
Population d'étude	Rats Wistar	Rats Wistar
Voie d'exposition	Inhalation	Inhalation
Concentrations testées	0,025 à 0,4 mg/m ³	0,05 à 0,4 mg/m ³
Durée d'exposition	90 jours	90 jours
Effet critique	Altération des niveaux de lactate déshydrogénase dans le liquide de lavage broncho-alvéolaire	Altération des niveaux de lactate déshydrogénase dans le liquide de lavage broncho-alvéolaire
Concentration critique	BMD ₁₀ = 0,016 mg/m ³ 0,034 mg/m ³ (ajustée)	BMCL = 0,016 mg/m ³ BMCL _{humaine} = 0,01 mg/m ³
Modèle utilisé	Benchmark concentration	Benchmark concentration
Facteurs d'incertitude	3 : différences pharmacodynamiques non prises en compte 10 : extrapolation à partir d'une étude de toxicité subchronique 10 : variabilité interindividuelle	3 : variabilité inter-espèces 10 : variabilité interindividuelle

➤ VTR pour des effets chroniques sans seuil

	US EPA (1998)	RIVM (2001)	Santé Canada (1993)	OEHHA
Composés concernés	Chrome VI particulaire	Chrome VI		Chrome VI
VTR	$ERU = 1,2 \cdot 10^{-2} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$	$ERU = 2,5 \cdot 10^{-6} (\text{mg}/\text{m}^3)^{-1}$	$ERU = 6,6 \cdot 10^{-4} (\text{mg}/\text{m}^3)^{-1}$	$ERU = 1,2 \cdot 10^{-2} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$
Études clés	Mancuso (1975)	OMS (1987)	Mancuso (1975)	Mancuso (1975)
Population d'étude	Humaine (travailleurs)	Humaine (travailleurs)		Humaine (travailleurs)
Voie d'exposition	Inhalation	Inhalation		Inhalation
Concentrations testées	De 4 à 47 $\mu\text{g}/\text{m}^3$			De 4 à 47 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Durée d'exposition				
Effet critique	Cancer du Poumon	Cancer du poumon		Mortalité par cancer du poumon
Concentration critique			$DT_{0,05} = 0,66 \mu\text{g}/\text{m}^3$	
Modèle utilisé	Modèle multi-étape			Modèle multi-étape linéarisé
Facteurs d'incertitude				

Commentaires : Parmi les valeurs pour des effets à seuil, celle de l'OEHHA (2000) est la plus sévère pour le chrome VI dissout : $5 \cdot 10^{-6} \text{ mg}/\text{m}^3$ ou $5 \cdot 10^{-3} \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Parmi les valeurs pour des effets sans seuil, la valeur la plus sévère est celle de l'US EPA : $1,2 \cdot 10^{-2} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$.

Un choix doit être fait à savoir si on doit privilégier une valeur de VTR ou d'ERU.

Une façon de répondre consiste à calculer l'excès de risque cancérogène correspondant à la dose équivalente à la VTR (sans seuil). Dans ce cas le niveau de risque attendu est égal à :

$$\begin{aligned} \text{Risque} &= VTR_{\text{sans seuil}} \times ERU \\ \text{Risque} &= 5 \cdot 10^{-3} \mu\text{g}/\text{m}^3 \times 1,2 \cdot 10^{-2} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1} = 6 \cdot 10^{-5} \end{aligned}$$

Soit une valeur supérieure à $1 \cdot 10^{-5}$.

Conclusions : La valeur de l'ERU de $1,2 \cdot 10^{-2} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$ est donc la plus protectrice et devrait être privilégiée pour le calcul de la concentration maximale théorique.

- **Nickel (n°CAS : 7440-02-0)**
 - VTR pour des effets chroniques à seuil

	ATSDR (2005)	RIVM (2001)
VTR	9.10^{-5} mg/m^3	$5.10^{-2} \mu\text{g/m}^3$
Étude clé	NTP (1996)	
Population d'étude	Rats F344	Rats
Voie d'exposition	inhalation	
Concentrations testées	0 ; 0,03 ; 0,06 ; ou 0,11 mg/m^3	
Durée d'exposition	6 heures/j, 5 jours/semaine pendant 104 semaines	
Effet critique	Effets sur les poumons (inflammation et fibrose)	Effet sur le système respiratoire
Concentration critique	NOAEL=0,03 mg/m^3 LOAEL= 0,03 mg/m^3	NOAEC = 30 $\mu\text{g/m}^3$
Modèle utilisé	A partir du NOAEL, ajustement allométrique, puis extrapolation de ce NOAEL à l'homme.	
Facteurs d'incertitude	Transposition animal homme, puis ajustement allométrique : 3 Variabilité interhumaine : 10	Extrapolation intra et interespèce : 100

➤ VTR pour des effets chroniques sans seuil

	OEHHA (2001)
VTR	ERU = $2,6 \cdot 10^{-4}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ⁻¹
Etude clé	Chovil <i>et al.</i> , 1981 ; Roberts <i>et al.</i> , 1984 ; Muir <i>et al.</i> , 1985
Population d'étude	Travailleurs de l'industrie du nickel (cohorte Ontario)
Voie d'exposition	Respiratoire
Concentrations testées	
Durée d'exposition	
Effet critique	Cancer du poumon
Concentration critique	
Modèle utilisé	Extrapolation linéaire aux faibles doses

Commentaires : Des VTR ont été identifiées pour des effets avec ou sans seuil.

Concernant les VTR avec des seuils d'effets, celle de l'ATSDR est construite à partir d'une étude menée chez le rat, pour une administration vie entière par inhalation. La méthode de construction est disponible et bien étayée scientifiquement.

Le RIVM ne cite pas l'étude source ayant permis de déterminer le LOAEC de $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La méthodologie conduisant à la VTR de $5 \cdot 10^{-2} \mu\text{g}/\text{m}^3$ est peu justifiée.

Ainsi la VTR à seuil d'effet de l'ATSDR, plus sévère, est retenue ce qui cadre bien avec les scénarii d'exposition choisis pour l'ERS.

Concernant les VTR sans seuil d'effet, seule une valeur est disponible, celle de l'OEHHA (2001).

En ce qui a trait au choix de la VTR, un choix doit être fait à savoir si on doit privilégier une valeur de VTR ou d'ERU.

Une façon de répondre consiste à calculer le l'excès de risque cancérigène correspondant à une dose égale à la VTR sans seuil. Dans ce cas le niveau de risque attendu est égal à :

$$\begin{aligned} \text{Risque} &= \text{VTR}_{\text{sans seuil}} \times \text{ERU} \\ \text{Risque} &= 0,09 \mu\text{g}/\text{m}^3 \times 2,6 \cdot 10^{-4} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1} = 2,3 \cdot 10^{-5} \end{aligned}$$

Soit une valeur légèrement supérieure à $1 \cdot 10^{-5}$.

La valeur de l'ERU de $2,6 \cdot 10^{-4} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$ est donc la plus protectrice et devrait être privilégiée pour le calcul de la concentration maximale théorique.

Conclusion : l'ERU de l'OEHHA est retenu pour l'expertise.

- **Arsenic (n°CAS : 7440-38-2)**
- VTR pour des effets chroniques à seuil

	OEHHA (2008)	RIVM (2001)
VTR	$1,5 \cdot 10^{-5} \text{ mg/m}^3$	$1 \text{ } \mu\text{g/m}^3$
Étude clé	Wasserman <i>et al.</i> (2004); Tsai <i>et al.</i> (2003)	
Population d'étude	201 enfants âgés de 10 ans	Homme
Voie d'exposition	Eau de boisson	
Concentrations testées		
Durée d'exposition	9,5 à 10,5 ans	
Effet critique	Diminution des fonctions intellectuelles chez des enfants de 10 ans – système cardiovasculaire	Cancer du poumon
Concentration critique	LOAEL = 2,27 $\mu\text{g/L}$	LOAEC = 10 $\mu\text{g/m}^3$
Modèle utilisé	Extrapolation de la voie orale vers respiratoire	
Facteurs d'incertitude	1 : Variabilité Interspèces 10 : variabilité Intraespèces 3 : Passage LOAEL vers NOAEL	10 : variabilité interindividuelle

Commentaires : La valeur de l'OEHHA est le résultat d'une extrapolation de voie à voie, réalisée à partir de la REL déterminée pour la voie orale. Il s'agit d'une REL déterminée à partir d'une étude épidémiologique menée chez les enfants.

L'OEHHA considère une absorption de l'arsenic 2 fois plus importante par voie respiratoire que par voie orale et un volume inhalé de 9,9 m³ par jour et un poids moyen des enfants de 21,9 kg.

$$\text{Calcul : } 3,5 \times 10^{-6} \times \frac{21,9}{9,9} \times 2 = 1,5 \cdot 10^{-5} \text{ mg/m}^3$$

La valeur de l'OEHHA est une VTR chronique par inhalation destinée à protéger la santé des enfants. L'OEHHA propose également pour l'adulte plusieurs VTR en fonction des effets critiques recensés dans la littérature scientifique. Elle indique toutefois que ces études épidémiologiques comportent des facteurs confondants, ce qui ne permet pas de dériver de VTR chronique par inhalation pour l'adulte.

Le RIVM indique que les effets cancérigènes induits par l'arsenic ne sont pas génotoxiques et que le mécanisme d'action est épigénétique. C'est ce qui explique le fait qu'ils ont basé leur VTR sur

un LOAEC et établi un TCA et non une valeur de risque pour le cancer. Par ailleurs, le RIVM ne cite pas l'étude source ayant permis de déterminer le LOAEC de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Il ajoute que ce TCA est valable à la fois pour l'arsenic trivalent et pentavalent.

Conclusion : la VTR de l'OEHHA, plus récente et plus sévère est retenue.

➤ VTR pour des effets chroniques sans seuil

	OEHHA (2009)	US EPA (1998)	Santé Canada (2004)
VTR	$\text{ERU} = 3,3 \cdot 10^{-3} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$	$\text{ERU} = 4,3 \cdot 10^{-3} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$	$\text{ERU} = 6,1 \cdot 10^{-3} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$
Études clés	Enterline et Marsh, 1982	Brown et Chu, 1983 Enterline et Marsh, 1982 Higgins <i>et al.</i> , 1982 Lee-Feldtein, 1983	
Population d'étude	Etudes épidémiologiques menées en milieu professionnel	Etudes épidémiologiques menées en milieu professionnel	
Voie d'exposition	respiratoire	respiratoire	
Concentrations testées			
Durée d'exposition			
Effet critique	Cancers pulmonaires	Cancers pulmonaires	
Concentration critique			
Modèle utilisé		Il s'agit d'une moyenne géométrique calculée à partir de 2 moyennes géométriques de $2,6 \cdot 10^{-3}$ et $7,2 \cdot 10^{-3} \mu\text{g}/\text{m}^3$	

Commentaires : La méthode de construction de la VTR de Santé Canada n'est pas décrite.

L'US EPA utilise les résultats de plusieurs études dans lesquelles les concentrations en arsenic étaient disponibles et pour lesquelles des ERU ont été estimés sur la base d'un modèle mathématique. Une moyenne géométrique a ensuite été utilisée pour déterminer l'excès de risque final. Cette méthodologie semble plus robuste que celle adoptée par l'OEHHA qui n'utilise qu'une seule étude épidémiologique (cancer pulmonaire).

Conclusion : La VTR de l'US EPA est donc retenue.

Choix entre VTR ou ERU :

Une façon de répondre consiste à calculer le l'excès de risque cancérigène correspondant à une dose égale à la VTR sans seuil. Dans ce cas le niveau de risque attendu est égal à :

$$\text{Risque} = \text{VTR}_{\text{sans seuil}} \times \text{ERU}$$

$$\text{Risque} = 0,015 \mu\text{g}/\text{m}^3 \times 4,3 \cdot 10^{-3} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1} = 6,45 \cdot 10^{-5}$$

Soit une valeur supérieure à $1 \cdot 10^{-5}$.

La valeur de l'ERU de $4,3 \cdot 10^{-3} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$ est donc la plus protectrice et devrait être privilégiée pour le calcul de la concentration maximale théorique.

Conclusion : l'ERU est retenu pour l'expertise.

➤ **Plomb (n°CAS : 7439-92-1)**

- VTR pour des effets chroniques à seuil

A ce jour, aucune instance ne propose de VTR se rapportant à un effet à seuil pour le plomb pour une exposition chronique par voie respiratoire.

- VTR pour des effets chroniques sans seuil

	OEHHA (2002)
VTR	ERU = $1,2 \cdot 10^{-5} (\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3})^{-1}$
Étude clé	Azar <i>et al.</i> , 1972
Population d'étude	Rat
Voie d'exposition	Alimentation
Concentrations testées	0,10, 50, 100, 500, 1000 et 2000 ppm
Durée d'exposition	2 ans
Effet critique	Tumeurs rénales
Concentration critique	
Modèle utilisé	Modèle multi-étape linéarisé

Conclusion : La VTR du plomb semble adaptée au contexte de l'ERS. De plus, une seule valeur est disponible. Ainsi, pas de choix à opérer : VTR retenue. La VTR a été extrapolée à partir de données obtenues dans une étude impliquant la voie orale.

Annexe 9 : Paramètres influençant la dissémination et la survie des micro-organismes dans les particules d'eaux usées

Au cours des 50 dernières années, de nombreuses publications ont étudié les effets des paramètres environnementaux (température, humidité de l'air, ensoleillement / rayonnement, polluants de l'air, etc.) sur la survie dans l'air des organismes infectieux (virus, bactéries et champignons).

L'une des principales limites de toutes ces études, pour la plupart anciennes, est qu'elles diffèrent grandement dans leurs méthodes de sorte que les résultats obtenus sur les mêmes micro-organismes par des équipes différentes sont difficiles à comparer.

L'objet de ce paragraphe est de donner un aperçu d'ensemble des connaissances sur les paramètres d'influence de la dissémination et de la survie des micro-organismes aéroportés. La complexité des phénomènes et la diversité des conditions opératoires rendent la généralisation difficile.

➤ Dissémination des micro-organismes dans les aérosols

La dissémination des micro-organismes dans les aérosols est influencée par de nombreux facteurs physiques (mouvement brownien, pesanteur, gradients thermiques, rayonnement électromagnétique, etc.) (Lightart et Mohr, 1987 ; Pedgley, 1991 ; Pillai et Ricke, 2002). Parmi eux, la taille, la forme et la densité des particules aérosolisées sont d'une importance particulière pour le transport car elles contrôlent leur vitesse de sédimentation. Ainsi, les bioaérosols dont la taille des particules est comprise entre 1 et 5 µm tendent à suivre les lignes de courants de l'air ambiant, ce qui les rend moins sensibles que les grosses particules à s'impacter sur des surfaces (Cox, 1989 ; Mohr, 2007).

La température et l'humidité relative (HR %) de l'air peuvent aussi affecter la dissémination des bioaérosols (Mohr, 2007 ; Gilbert et Duchaine, 2009). Elles conditionnent l'évaporation des particules d'eau dans les aérosols et conduisent à leur déshydratation. Cette perte en eau lors du phénomène d'aérosolisation est souvent à l'origine des altérations cellulaires et de l'inactivation rapide des micro-organismes aérosolisés (Cox 1989, 1998). Les études en laboratoire sur souche pure et eau distillée montrent des taux d'évaporation de gouttelette de l'eau de 50 µm en 0,3 seconde dans un air à 50 % d'humidité relative et une température de 22°C (Glaser et Ledbetter, 1967 ; Sorber *et al.*, 1975). Dans le même esprit, Walter *et al.* (1990) ont réalisé des aérosols de bactéries en souche pure, sous serre, en utilisant des « sprayers » équipés de buses. Ils montrent que la taille des gouttelettes d'eau est un facteur déterminant leur survie. Ainsi, sur les 8.10⁶ gouttelettes générées par seconde, 40 % ont une taille comprises entre 100 et 200 µm. Leur évaporation a été estimée à moins de 50 secondes pour les plus grosses, avec une humidité relative de 47 %, une température de 24,5°C et une vitesse de vent de 0,6 m/s. Les auteurs suggèrent aussi que les bactéries contenues dans les plus grosses gouttelettes auraient un temps de survie supérieur car elles seraient protégées plus longtemps de la dessiccation et du stress osmotique.

➤ Survie des micro-organismes aérosolisés

L'air est un milieu extrême pour les micro-organismes. Leur survie dans les aérosols a été le plus souvent étudiée avec des dispositifs de laboratoire en conditions contrôlées, et rares sont les études à échelle réelle sur des champs irrigués. Les études ont majoritairement porté sur des modèles bactériens et de rares études sur les virus. Notre recherche bibliographique n'a pas permis de détecter d'étude sur la dissémination et la survie des eucaryotes (protozoaires, parasites).

- Survie des bactéries

Les déterminants de la survie bactérienne sont nombreux et interdépendants: les principaux sont présentés dans les paragraphes suivants.

La survie bactérienne semble meilleure :

- **à faible température, forte hygrométrie et avec un faible ensoleillement** (Karra *et al.*, 2007 ; Telsch *et al.*, 1980). A titre d'exemple, l'étude de Walter *et al.* (1990) montre que la cultivabilité de bactéries aérosolisées dans des conditions d'humidité relative modérée (HR 54 %) et une température de l'air de 27°C n'est pas affectée par l'aérosolisation sur une distance de 15 m. Par contre, ils observent des atteintes de viabilité de ces bactéries pour des HR % plus faibles (40-45 %) et une température de 27°C.
- **pour des particules d'eau de grosse taille** (Lighthart et Shaffer, 1997 ; Tong et Lighthart, 1997). Ce phénomène pourrait être expliqué par le fait que des particules plus grosses contiennent un nombre plus élevé de bactéries dans des agrégats (Thomas *et al.*, 2008), permettant à une fraction de survivre aux stress délétères rencontrés en aérosol, et notamment à celles les plus internes de ces agrégats d'être moins altérées (Carrera *et al.*, 2005, Lighthart et Shaffer, 1997).
- **en présence de matières organiques dans l'eau** (Marthi *et al.*, 1990). L'hypothèse avancée est une limitation de l'évaporation de l'eau et un rôle protecteur des matières organiques vis-à-vis des cellules aérosolisées.
- **en absence de matières minérales dans l'eau.** Xie *et al.* (2006) démontrent que la survie de *Escherichia coli* et *Acinetobacter* est diminuée lors de la déshydratation de gouttelettes d'eau en présence de sels (NaCl) comparativement à celle observée en eau distillée. Ils suggèrent que deux phénomènes se mettent en place : d'une part la salinité pourrait prolonger le temps d'évaporation d'une goutte, favorisant de fait la survie des bactéries, et d'autre part, l'évaporation conduirait à la cristallisation du soluté et à la génération d'un choc osmotique.
- **pour une durée d'aérosolisation courte (temps entre la création de l'aérosol et le dépôt sur le sol ou la plante).** Selon Walter *et al.* (1990), les bactéries impactées sur les plantes rapidement (à 1 m de l'asperseur) ne sont pas ou peu affectées par l'aérosolisation.
- **pour des micro-organismes sous forme de spores (champignons) ou d'endospores (*Bacillus* spp., *Clostridium* spp.)** qui sont plus résistants aux facteurs environnementaux que les cellules végétatives (Stetzenbach, 2007).
- **pour les bactéries à Gram positive** comparativement aux bactéries à Gram négatives plus sensibles à l'inactivation par la déshydratation et les chocs osmotiques (Marthi *et al.* 1990 ; Xie *et al.*, 2006 ; Mohr, 2007).
- **en période nocturne ou lors d'un faible ensoleillement.** En effet, l'irradiation solaire (rayons γ , rayons X et ultraviolets (UV)) est connue pour provoquer l'inactivation de micro-organismes (rupture des brins d'ADN, la dénaturation des protéines) (Gilbert et Duchaine, 2009). De même, les radicaux libres, l'oxygène (Israeli *et al.*, 1994) et les autres oxydants de l'air sont également soupçonnés de diminuer la viabilité des micro-organismes, et il semble que ce phénomène s'accroît avec la déshydratation, la concentration en oxygène, et le temps d'exposition (Mohr, 2007 ; Gilbert et Duchaine, 2009).
 - Survie des virus

Le déterminant principal de survie pour les virus est **la température** dans la mesure où elle conditionne l'ensemble des activités protéiques, dont les enzymes et l'état de leurs génomes. Selon Tang (2009), les virus à ADN sont généralement plus stables que les virus à ARN. En principe, toute augmentation de température conduit à une perte de viabilité des virus.

Comme les bactéries, les virus sont aussi sensibles au degré **d'humidité relative** de l'air. Généralement, les virus nus (capside protéique hydrophile) sont stables à haute humidité relative (HR 70-90 %), comme cela est le cas pour les adénovirus (Arundel *et al.*, 1986 ; Cox, 1989), alors que les virus enveloppés (enveloppe lipidique hydrophobe) sont plus stables à une faible humidité relative (HR 20-30 %). Ceci est vrai pour la plupart des virus respiratoires tels que les virus Influenza, les coronavirus (Tang, 2009).

Annexe 10 : Synthèse des déclarations publiques d'intérêts des experts par rapport au champ de la saisine

RAPPEL DES RUBRIQUES DE LA DÉCLARATION PUBLIQUE D'INTÉRÊTS

IF	Intérêts financiers dans le capital d'une entreprise
LD	Liens durables ou permanents (Contrat de travail, rémunération régulière...)
IP	Interventions ponctuelles (travaux scientifiques, rapports d'expertise, activités de conseil, conférences, colloques, actions de formation...)
SR-A	Autres liens sans rémunération ponctuelle (Participation à des conseils d'administration, scientifiques d'une firme, société ou organisme professionnel)
VB	Activités donnant lieu à un versement au budget d'une structure dont l'expert est responsable ou dans laquelle il exerce une responsabilité scientifique (correspondant à la rubrique 3 de la DPI)
SR	Autres liens sans rémunération (Parents salariés dans des personnes morales visées par la loi – voir paragraphe de la notice de la DPI ; autres intérêts considérés comme préjudiciables à l'impartialité de l'expert)

SYNTHÈSE DES DÉCLARATIONS PUBLIQUES D'INTÉRÊTS DES MEMBRES DU CES PAR RAPPORT AU CHAMP DE LA SAISINE

NOM	Prénom <i>Rubriques de la DPI</i> Description de l'intérêt	Date de déclaration des intérêts
Analyse Anses :	<i>en cas de lien déclaré</i>	
ANDRES	Yves	09/09/2010 16/04/2011
Analyse Anses :	<i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	
BOUDENNE	Jean-Luc	26/07/2010 07/02/2011 30/05/2011
Analyse Anses :	<i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	
CABASSUD	Corinne SR ADEME, Saur, Eau de Paris, Cemagref : Participation au projet ANR ECOTECH REEBIM sur la réutilisation des eaux usées (Travaux sur le colmatage et l'élimination de micropolluants par membrane (BAM+NF/RO) – Thèse M. Jacob) (2007-2010)	12/09/2010 26/05/2011

Analyse Anses :	<i>Pas de risque de conflits d'intérêts par rapport à la thématique de la saisine</i>	
CARRÉ	Jean	01/09/2009 12/08/2010
Analyse Anses :	<i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	22/03/2011
CHUBILLEAU	Catherine	24/09/2009 08/09/2010 08/02/2011 06/10/2011
Analyse Anses :	<i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	19/01/2012
CORREC	Olivier	25/05/2009 26/09/2010
Analyse Anses :	<i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	03/05/2011
DAGOT	Christophe IP OIEAU : travaux sur le traitement et la gestion des eaux (Rémunération personnelle) (2008) et recyclage des eaux (Pas de rémunération)	15/10/2008 12/04/2011
Analyse Anses :	<i>Pas de risque de conflits d'intérêts par rapport à la thématique de la saisine</i>	
DUBROU	Sylvie	23/02/2009 09/09/2010
Analyse Anses :	<i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	20/04/2011
HÉDUIT	Alain	20/08/2010 09/02/2011 13/10/2011
Analyse Anses :	<i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	
HUMBERT	Jean-François	17/07/2010 03/05/2011 09/11/2011
Analyse Anses :	<i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	
JOYEUX	Michel	25/02/2009 05/08/2010 23/04/2011
Analyse Anses :	<i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	
LE BÂCLE	Colette	23/09/2010 03/05/2011
Analyse Anses :	<i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	
LE CANN	Pierre	28/02/2009 08/09/2010 15/03/2011

Analyse Anses :	<i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	
LÉVI	Yves	08/02/2009 04/09/2010 13/03/2011 02/09/2011 07/02/2012
Analyse Anses :	<i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	
MATHIEU	Laurence	26/08/2010 27/03/2011
Analyse Anses :	<i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	
MAZELLIER	Patrick	20/03/2009 25/08/2010 27/01/2011
Analyse Anses :	<i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	
MUDRY	Jacques	26/02/2009 15/09/2010 13/04/2011
Analyse Anses :	<i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	
PONTIÉ	Maxime	27/08/2010 23/02/2011
Analyse Anses :	<i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	
POURCHER	Anne-Marie	02/09/2010 09/02/2011
Analyse Anses :	<i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	
TARDIF	Robert	21/09/2010 08/02/2011
Analyse Anses :	<i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	
TREMBLAY	Michèle	02/09/2010 14/04/2011 03/05/2011
Analyse Anses :	<i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	
WELTÉ	Bénédicte	14/01/2009 23/08/2010 08/02/2011
Analyse Anses :	<i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	

SYNTHÈSE DES DÉCLARATIONS PUBLIQUES D'INTÉRÊTS DES MEMBRES DU GT PAR RAPPORT AU CHAMP DE LA SAISINE

NOM	Prénom <i>Rubriques de la DPI</i> Description de l'intérêt	Date de déclaration des intérêts
Analyse Anses :	<i>en cas de lien déclaré</i>	
ALBASI	Claire	01/10/2009 14/05/2011
Analyse Anses :	<i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	
CHUBILLEAU	Catherine	24/09/2009 08/09/2010 08/02/2011 06/10/2011 19/01/2012
Analyse Anses :	<i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	
CUDENNEC	Christophe	16/10/2008 26/08/2009 30/08/2010 15/03/2011
Analyse Anses :		
GARNAUD	Stéphane	06/10/2009 06/09/2010 28/04/2011
Analyse Anses :	<i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	
MARCHANDISE	Patrick IP Membre du conseil scientifique du Syndicat Intercommunal d'assainissement de l'agglomération parisienne.	03/09/2009 10/09/2010 05/05/2011
Analyse Anses :	<i>Pas de risque de conflits d'intérêts par rapport à la thématique de la saisine</i>	
MATHIEU	Laurence	14/09/2009 26/08/2010 08/02/2011 27/03/2011
Analyse Anses :	<i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	
MOLLE	Bruno IP Essais et recherche et développement pour des constructeurs de matériels d'irrigation Expertise pour la Fédération française des golfs relative au consommation en eau	02/09/2009
Analyse Anses :	<i>Pas de risque de conflits d'intérêts par rapport à la</i>	

	<i>thématique de la saisine</i>	
ROSSO DARMET	Agnès	17/10/2009 23/03/2011
Analyse Anses :	<i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	19/05/2011
SEBILO	Sébastien Démission le 27/04/2011	19/10/2009
Analyse Anses :	<i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	
TOURNAIRE	Michel	09/12/2008 18/03/2011
Analyse Anses :	<i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	
WALLET	France	28/08/2009 07/12/2009 23/07/2010 07/03/2011
Analyse Anses :	<i>Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine</i>	
WERY	Nathalie SR Partenaire sur un projet de recherche avec VEOLIA sur la valorisation des boues d'épuration (financement ADEME) Partenaire sur un projet de recherche avec VEOLIA sur les bioaérosols de compostage (financement ADEME) Partenaire sur un projet de recherche avec SUEZ sur les bioaérosols de compostage (financement ADEME) Partenaire sur un appel à projets de recherche de l'Anses avec VEOLIA sur les bioaérosols de compostage	21/03/2011
Analyse Anses :	<i>Pas de risque de conflits d'intérêts par rapport à la thématique de la saisine</i>	



Agence nationale de sécurité sanitaire
de l'alimentation, de l'environnement et du travail
27-31 avenue du général Leclerc
94701 Maisons-Alfort Cedex
www.anses.fr