

LES SYNTHÈSES TECHNIQUES DE L'OFFICE INTERNATIONAL DE L'EAU

**Vers une économie circulaire
dans le domaine de l'eau**

Samia BOUFOUS

avril 2015



*Office
International
de l'Eau*

En partenariat avec des organismes d'enseignement supérieur, l'OIEau propose des états de l'art synthétiques sur différents sujets liés à l'eau. Ces synthèses sont rédigées par des élèves dans le cadre de leur cursus de formation.

Cette synthèse documentaire « **Vers une économie circulaire dans le domaine de l'eau** » a été effectuée par **Samia Boufous**, élève post-master (bac+6/7) d'AgroParisTech-ENGREF en voie d'approfondissement et mastère spécialisé « Gestion de l'eau » à Montpellier.

Le contenu de ce document n'engage la responsabilité que de son auteur, il ne reflète pas nécessairement les opinions ou la politique de l'OIEau.

Toute utilisation, diffusion, citation ou reproduction, en totalité ou en partie, de ce document ne peut se faire sans la mention expresse du rédacteur, de l'Etablissement d'origine et de l'OIEau.

SYNTHESE TECHNIQUE

Vers une économie circulaire dans le domaine de l'eau

Samia BOUFOUS

avril 2015

Résumé

Cette synthèse a pour but d'établir l'état de l'art de la réutilisation des eaux usées traitées en France. Certes, la France a la chance de disposer d'abondantes ressources en eau qui sont globalement bien supérieures à la demande mais ces ressources sont réparties d'une manière hétérogène dans le temps et l'espace. Par ailleurs, les changements climatiques risquent d'accentuer de plus en plus les pénuries d'eau. La REUT présente l'avantage majeur d'assurer une ressource alternative à moindre coût permettant de limiter les pénuries d'eau, de mieux préserver les ressources naturelles et de contribuer à la gestion intégrée de l'eau. La REUT s'avère donc une pratique très intéressante pour des motivations économiques et écologiques.

En effet, après leur passage en station d'épuration, les eaux usées peuvent faire l'objet d'une épuration supplémentaire et être réutilisés notamment pour l'irrigation des cultures et l'arrosage des espaces verts. Cette réutilisation permet d'une part de mobiliser une ressource en eau supplémentaire et d'autre part de mieux protéger les milieux récepteurs accueillant les eaux usées traitées. Cette réutilisation doit néanmoins respecter des conditions imposées par l'arrêté du 25 juin 2014 qui tient compte des recommandations mises par l'ANSES, l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail, émises en 2013.

Ainsi, cette synthèse a pour objectif de rappeler les différents enjeux liés à la REUT et de mettre en avant le contexte réglementaire en s'intéressant d'abord à une réutilisation en irrigation. Ensuite, nous mettrons l'accent sur les usages potentiels compte tenu des techniques de traitement adéquates. Par conséquent, nous montrerons comment la REUT est appliquée en France et quels sont les facteurs limitants ou encourageants cette pratique.

Mots clés : Réutilisation des eaux usées traitées, station d'épuration, ressource alternative à moindre coût, usages potentiels, pénuries d'eau.

Abstract

The main objective of the study is to present the extent of the reuse of treated waste water RTWW in France. France is fortunate to have abundant water resources which are generally much greater than demand. But these resources are heterogeneously distributed in both time and space. Moreover, climate change is likely to increase the frequency of water shortages. RTWW presents the major advantage of providing an alternative low-cost resource that can serve to limit water shortages, to better preserve natural resources and to contribute to integrated water management. RTWW is also proving to be an effective practice for economic and ecological reasons.

Having passed through waste water treatment plants (WWTP), waste water may be subject to additional treatments and reuse especially for irrigation and watering green spaces. This reuse enables the mobilization of additional water resources in addition to protecting receiving waters inviting treated waste water. Any reuse must comply with conditions imposed by the decree of June 25, 2014, which takes into account recommendations made by ANSES the national agency for food, environmental and work safety, in 2013.

This study sets out to advance various issues related to RTWW and highlight the regulatory context by paying more attention to irrigation reuse. It will also focus on the potential uses associated with appropriate processing techniques. The paper will thus demonstrate how RTWW is applied in France and what both the advantages and disadvantages relating to this practice.

Keywords: Reuse of Treated Waste Water (RTWW), Waste Water Treatment Plants (WWTP), irrigation reuse, alternative low-cost resource, potential uses, water shortages.

Table des matières

Introduction	5
I. Economie circulaire : définition et application dans le domaine de l'eau	5
1. L'économie circulaire : un enjeu global	5
2. L'économie circulaire dans le domaine de l'eau	5
II. Enjeux socio-économiques et environnementaux liés à la réutilisation des eaux usées traitées	6
1. Objectifs poursuivis	6
2. Risques et freins socio-économiques et environnementaux	7
a. Les freins socio-économiques	7
b. Les risques environnementaux	8
3. Solutions et perspectives	9
III. Réglementation en termes de REUT	10
1. A l'échelle internationale	10
2. En France	10
IV. Eaux usées traitées : usages potentiels et techniques de traitement associées	13
1. Revue des réutilisations actuelles	13
2. Techniques de traitement	13
a. Intérêt	13
b. Classification des différentes techniques selon les usages	14
c. Evaluation financière engendrée par la REUT	15
3. Stockage	16
V. Retour d'expériences	17
1. Diversité des projets de REUT	17
2. La REUT en France	18
a. Cas 1 : Réutilisation partielle des eaux de la station d'épuration de Clermont Ferrand en irrigation d'appoint	18
b. Cas 2 : Valorisation agricole des EUT en situation insulaire	19
3. Bilan des REX	19
Conclusion	20
Abréviations	21
Bibliographie	22
Annexes	24

Liste des figures

Figure 1: Attitudes à l'égard des options d'utilisation des eaux usées (Robinson, Robinson & Hawkins, 2005).....	7
Figure 2: Acceptabilité de la consommation de fruits et de légumes qui ont été arrosés avec des eaux usées traitées dans le but de participer aux efforts en faveur de la préservation des ressources en eau (Commissariat Général du Développement Durable, 2014b)	8
Figure 3: Recommandations liées à la REUT par aspersion pour l'irrigation des cultures, l'arrosage des espaces verts et des golfs (Anses, 2012)	12
Figure 4 : Scénario d'évolution privilégié par les répondants en cas de baisse de la quantité d'eau disponible en France (Commissariat Général du Développement Durable, 2014b)	16
Figure 5: Volume moyen journalier des eaux recyclées pour l'irrigation de cultures (en milliers de m ³ /j) (Jiménez et Asano, 2008).....	18

Liste des tableaux

Tableau 1: Les différents modes de désinfection, leurs avantages et inconvénients (Corsin et Le Strat, 2007).....	14
Tableau 2: Principales caractéristiques de divers projets de réutilisation des eaux usées (Agence Française du Développement, 2011)	17
Tableau 3: Les niveaux de qualité des eaux traitées en 2011 à la Salaisière (Service public 2000, 2011)	19

Introduction

La demande croissante en eau, notamment dans des régions du monde où le niveau de la ressource est faible, provoque des pénuries de plus en plus fréquentes. Dans ce contexte, la réutilisation des eaux usées apparaît être une solution d'avenir. Elle permet de réduire la quantité d'eau prélevée dans le milieu naturel et donc de conserver la ressource. Il est important de garder en mémoire que les eaux usées sont toujours réutilisées à plus ou moins long terme dans le cycle de l'eau. L'eau rejetée par les stations d'épuration, après un séjour d'une durée variable dans le milieu naturel, est à nouveau prélevée pour satisfaire nos différents besoins. Par réutilisation des eaux usées, on entend donc les filières où ce temps de séjour dans le milieu naturel n'existe pas ou est raccourci.

I. Economie circulaire : définition et application dans le domaine de l'eau

1. L'économie circulaire : un enjeu global

Né à une époque où les ressources étaient abondantes et quasi gratuites, le modèle économique actuel a toujours fait une utilisation intensive desdites ressources, ce qui a conduit à la dégradation de notre capital et a contribué au changement climatique.

L'économie circulaire tire son nom de son opposition au modèle économique actuel, dit linéaire, et caractérisé par une extraction massive de matières premières pour répondre aux besoins d'une production industrielle dont la destination finale reste principalement la mise en décharge (DUFOUR, 2014). L'économie circulaire vise à assurer le découplage de la croissance et de la consommation de ressources naturelles c'est-à-dire pouvoir créer davantage de richesses tout en allégeant la pression sur les ressources naturelles, en plaçant l'augmentation de la productivité des ressources et la gestion de leur raréfaction au cœur de l'activité économique.

Pour ce faire, elle repose sur un double processus : d'une part, réduire systématiquement l'input de matières premières et de flux énergétiques et hydriques au stade de la production ; d'autre part, assurer le rallongement de la durée d'existence des produits par le développement de leur réparation, de leur réutilisation, et en dernier ressort de leur recyclage.

2. L'économie circulaire dans le domaine de l'eau

L'économie circulaire appliquée au domaine de l'eau vise à changer de paradigme par rapport à l'économie dite linéaire, en limitant le gaspillage des ressources et l'impact environnemental. Dans ce cadre, les eaux usées, après leur passage en station d'épuration peuvent faire l'objet d'une épuration supplémentaire et être réutilisées notamment pour des usages agricoles.

Face à la demande d'une population mondiale et d'une agriculture irriguée croissantes, les ressources en eau sont aujourd'hui plus que jamais menacées et leur partage toujours plus complexe. Le dernier rapport du GIEC 2014 alerte, entre autres, sur la pression accrue prévue sur les ressources disponibles dans le sud de l'Europe pour les prochaines décennies.

La France n'est pas épargnée par cette crise de l'eau et se doit d'opérer une mutation de son secteur de l'eau. Parvenir à associer efficacement usages et ressources, voici le challenge pour les multiples acteurs de la filière eau. *La valorisation des eaux usées apparaît alors comme un levier majeur pour créer de la valeur en élaborant des solutions durables et profitables.*

II. Enjeux socio-économiques et environnementaux liés à la réutilisation des eaux usées traitées

1. Objectifs poursuivis

Réutiliser les eaux usées présente des intérêts du point de vue des activités humaines, en particulier dans des régions où celles-ci sont contraintes par le milieu. Parallèlement, elle apparaît aussi bénéfique pour l'environnement en diminuant la pression sur la ressource en eau.

Bénéfices socio-économiques :

- Rendre possible une activité économique agricole

Le premier levier pour l'utilisation des eaux usées traitées (EUT) en irrigation reste économique. Les EUT présentent des avantages en termes de disponibilité. Une disponibilité spatiale et temporelle qui rend les EUT comme une source d'eau fiable et disponible toute l'année.

- Développement de la production agricole dans les zones soumises à la sécheresse ;
- Assurer une ressource en eau à faible coût pour des usages autres que la consommation humaine (agriculture, industrie, zones de loisirs...) :

La REUT permet d'éviter les coûts du développement, du transfert et du pompage de nouvelles ressources en eau fraîche. Dans certains, elle permet d'éviter les coûts de l'élimination des nutriments des eaux usées.

- Réduction de la charge des agriculteurs

Les eaux usées, même lorsqu'elles sont traitées, permettent de recycler les matières organiques et offrent une plus grande diversité d'éléments nutritifs que les engrais commerciaux. L'utilisation d'eaux usées traitées peut donc réduire la demande en engrais chimiques, spécialement lorsque les eaux usées ne sont pas diluées, et ainsi rendre les nutriments culturels plus accessibles aux agriculteurs pauvres. A la lumière de la crise mondiale du phosphore, les eaux usées peuvent constituer des sources essentielles de cet élément.

- Economiser l'eau potable pour la réserver aux usages domestiques
- Favoriser le tourisme dans les régions arides
- Augmenter la valeur foncière des terrains irrigués
- Maintenir ou développer une activité économique (agriculture, golfs,...), avec la création d'emplois directs et indirects
- Atténuer des conflits d'usage et accroître l'autonomie hydrique. Dans certains cas, le choix de satisfaire des besoins en eau d'irrigation en recourant à des eaux usées traitées (plutôt qu'à des transferts interbassins, par exemple) relève d'une rationalité au moins autant politique qu'économique.

Bénéfices environnementaux qualitatifs et quantitatifs:

- Diminution des rejets en eau de surface : la suppression, ou du moins, la diminution des rejets en eau de surface par le biais de la réutilisation prévient l'éventualité de conditions d'anaérobies dans les cours d'eau et l'eutrophisation des lacs et réservoirs.
- Epandage des eaux usées : l'épandage des eaux usées permet de tirer bénéfice des propriétés dépolluantes naturelles du sol. Les MES contribuent à la fertilisation des sols car elles sont riches en matière organique. Cela permet d'augmenter la productivité des cultures agricoles et la qualité des espaces verts.
- Recharge des nappes et limitation de la surexploitation des ressources naturelles.
- Amélioration et maintien des plans d'eau en cas de sécheresse.

- Amélioration du cadre de vie et de l'environnement (arrosage des espaces verts, terrains de loisirs...).
- Réduire les coûts énergétiques et environnementaux par rapport à ceux de l'exploitation des aquifères profonds, du transport d'eau à longues distances, du dessalement, etc.
- Éviter la dérivation des eaux des écosystèmes sensibles.
- Créer ou étendre des zones humides : Les zones humides fournissent de nombreux services (régulation des débits, épuration de l'eau, etc.).

2. Risques et freins socio-économiques et environnementaux

a. Les freins socio-économiques

L'acceptabilité sociale

La perception par le public de l'utilisation des eaux usées en agriculture varie notablement d'une communauté à l'autre. Lorsque les eaux usées sont vues comme une nuisance en raison de leur odeur, de leurs effets perçus sur la santé et l'environnement et de leur faible valeur marchande, leur emploi peut être plus difficile à faire accepter.

Pour parvenir à l'acceptation générale d'un schéma d'utilisation des eaux usées, l'expérience montre qu'une implication active de la population, de la phase de planification à la mise en œuvre complète des procédés, est essentielle. L'implication de la population débute avec l'identification des utilisateurs potentiels et avec une prise de contact précoce avec ces utilisateurs, étapes qui conduisent à la formation d'un comité consultatif et à la tenue d'auditions publiques sur le schéma d'utilisation en projet. L'échange d'informations entre les autorités et les représentants de la population garantit l'adoption d'un programme de réutilisation de l'eau spécifique, répondant aux besoins réels des utilisateurs et aux objectifs généralement reconnus de la communauté dans les domaines de la santé, de la sécurité, de l'écologie et des coûts programmatiques, etc. (Crook et al., 1992 ; Helmer & Hespanhol, 1997).

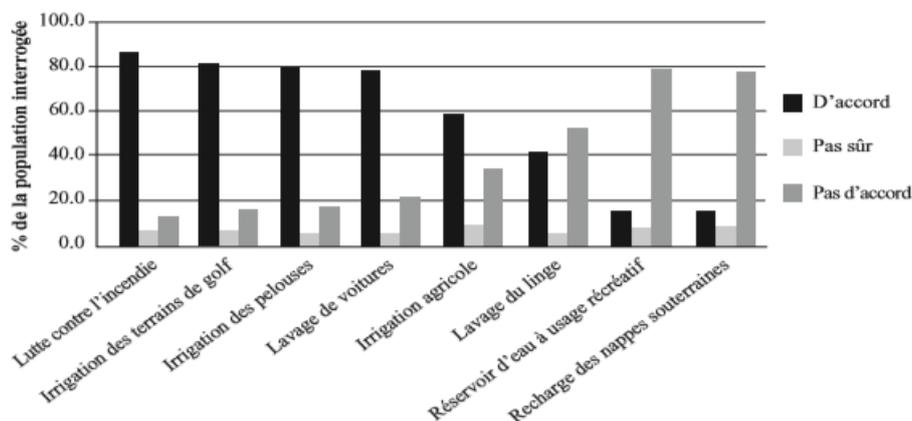


Figure 1: Attitudes à l'égard des options d'utilisation des eaux usées (Robinson, Robinson & Hawkins, 2005)

Comme le démontre la Figure 1, la probabilité que l'utilisation des eaux usées soit acceptée par la population sera plus élevée si cette population est convaincue que le contact avec les eaux usées sera limité.

Les Français consomment déjà des fruits et légumes importés de pays où la réutilisation des eaux usées pour l'irrigation est fréquente (Espagne notamment). Pourtant, selon une enquête récemment réalisée, un tiers des Français dit ne pas être prêt à consommer des fruits et des légumes irrigués avec des eaux usées traitées (cf. figure 2) (CGDD, 2014). Cela laisse supposer que les consommateurs connaissent peu l'existence de ces pratiques à l'étranger.

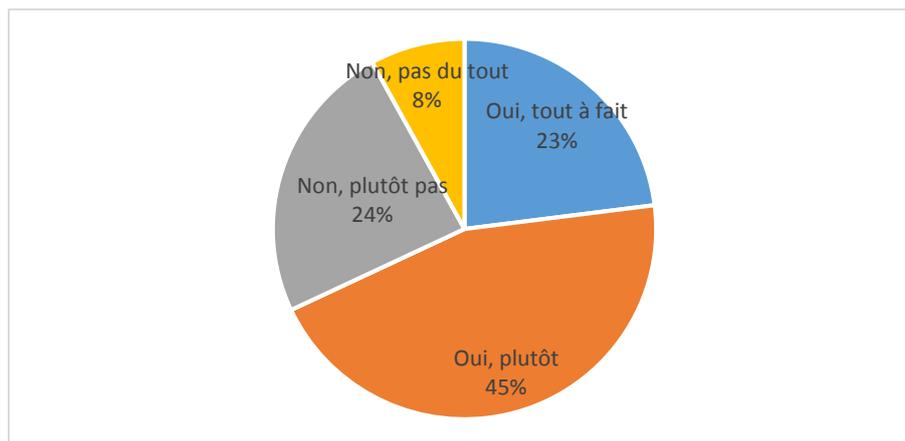


Figure 2: Acceptabilité de la consommation de fruits et de légumes qui ont été arrosés avec des eaux usées traitées dans le but de participer aux efforts en faveur de la préservation des ressources en eau (Commissariat Général du Développement Durable, 2014b)

Frein économique : le coût de la réutilisation

La réutilisation des eaux usées a un coût élevé (financement des infrastructures dédiées au traitement tertiaire et réseau de distribution ainsi que des coûts d'exploitation) qui est bien souvent supérieur à celui de la simple captation des eaux là où elles sont abondantes. Dans ces conditions, ce sont principalement les zones en très fort stress hydrique, là où la demande est forte, qui pourront développer cette technique dans un premier temps dans l'attente de l'acquisition d'une expérience française plus large qui permettra mécaniquement une baisse des coûts de traitement.

Il existe d'autres éléments socio-économiques qui freinent le développement de la REUT comme l'existence d'une réglementation spécifique, la viabilité économique, l'existence de financements, la volonté politique. Dans certains pays dont la France fait partie, le cadre normatif est un élément essentiel au développement et à l'acceptation sociale de la réutilisation de l'eau. Les décideurs ont besoin d'une réglementation claire et fiable pour approuver des projets de réutilisation.

b. Les risques environnementaux

Risques sanitaires et de pollution des sols

Les eaux usées brutes renferment divers agents pathogènes pour l'homme. Le risque majeur à la réutilisation des eaux usées est la présence de germes pathogènes ou de certains produits chimiques qui n'ont pas été complètement dégradés au cours de l'épuration et qui présentent ainsi des risques de transmission de maladies.

L'annexe 1 présente les dangers associés à l'utilisation des eaux usées en agriculture, dont les principaux résultent de la présence d'agents pathogènes ou de certains produits chimiques.

De nombreux agents pathogènes sont capables de survivre (et parfois de se multiplier) dans l'environnement (dans l'eau, les plantes ou le sol, par exemple) sur des durées suffisamment longues pour permettre leur transmission aux êtres humains. Plusieurs facteurs influent sur leur dépérissement, dont la température, le degré d'humidité, l'exposition au rayonnement ultraviolet, le temps écoulé, la présence ou l'absence d'hôtes intermédiaires appropriés, le type de végétaux, etc.

Risques de pollution des sources d'eaux conventionnelles

L'impact sur la qualité des eaux souterraines dépend de plusieurs facteurs, tels que le taux d'irrigation, la qualité de l'eau d'irrigation, le traitement appliqué aux eaux usées par les sols, la vulnérabilité de l'aquifère, la forme sous laquelle l'irrigation est pratiquée, le rapport entre le taux de recharge artificiel et le taux de recharge naturelle, la qualité de départ des eaux souterraines et leurs usages potentiels, la durée de l'irrigation et le type de culture (Foster et al., 2004).

Les aquifères situés au-dessous des champs agricoles présentent souvent de fortes concentrations de nitrates car l'utilisation d'eaux usées et d'engrais artificiels introduit de l'azote dans le sol plus vite que les plantes ne peuvent l'absorber et cet azote est ensuite éliminé par l'eau comme tout autre élément d'un sel. Les nitrates sont également stables dans les eaux souterraines, dans lesquelles leur concentration peut donc s'accroître avec le temps. La concentration de matières organiques des eaux usées traitées atteignant l'aquifère par percolation varie entre 1 et 5 mg de carbone organique total (COT) par litre.

3. Solutions et perspectives

Solutions par rapport aux risques sanitaires

Vis-à-vis des risques sanitaires, première préoccupation des autorités, l'OMS¹ préconise de mettre en œuvre des mesures permettant de respecter un seuil de risque de 10^{-6} DALY par personne et par an², pour la réutilisation des eaux usées traitées en irrigation directe. Cela conduit à prévoir pour les agents pathogènes une concentration des œufs d'helminthes, inférieur à 1 œuf par litre en moyenne annuelle et à un abattement de $6 \log^3$, pour les virus, bactéries et protozoaires.

Ces abattements sont obtenus par une combinaison de mesures de protection sanitaire incluant :

- ✓ Le traitement des eaux usées proprement dit ;
- ✓ La restriction du type de cultures et le choix de techniques d'irrigation ;
- ✓ Le respect d'un délai entre l'irrigation et la consommation des produits,
- ✓ Le contrôle de l'exposition humaine à l'eau recyclée traitée, pour les agriculteurs d'une part et les consommateurs (lavage des produits, cuisson) d'autre part ;

Solutions par rapport aux risques de pollution des sols et eaux souterraines

Pour éviter les effets négatifs sur l'environnement de l'utilisation d'eaux usées en agriculture résultant de l'infiltration de ces eaux, il est recommandé (Foster et al., 2004) :

- d'améliorer les pratiques d'irrigation agricole ;
- de définir des critères d'exploitation pour les puits servant à l'approvisionnement en eau destinée à la consommation humaine dans les environs (spécifier des distances de sécurité par rapport au site d'irrigation, la profondeur d'extraction et le type de construction approprié) ;
- de promouvoir l'utilisation d'eaux usées en agriculture, mais de préférence dans des zones où les aquifères sont moins vulnérables ;
- de surveiller de manière systématique la composition des eaux souterraines.

L'annexe 2 présente, par polluant, des recommandations pour limiter certains des impacts environnementaux précédemment décrits.

¹ Guideline for the safe use of wastewater, excreta and grey water OMS 2006.

² DALY (Disability-Adjusted Life Years) : Années de vie ajustées sur l'incapacité: le somme des années de vie potentielle perdues en raison d'une mortalité prématurée et des années de vie productives perdues en raison d'incapacités.

³ Soit une division de la concentration de pathogènes par un million (10^{-6}).

III. Réglementation en termes de REUT

1. A l'échelle internationale

Les recommandations de l'OMS sont les seules existantes à l'échelle internationale. Elles sont sources d'inspiration pour de nombreux pays à travers le monde. Leur première apparition remonte à l'année 1989 avec l'ouvrage « L'utilisation des eaux usées en agriculture et aquaculture : recommandations à visées sanitaires ». Dès 2000, des demandes de révision apparaissent, basées sur des études épidémiologiques dont on suggère d'intégrer les résultats (Blumenthal et al., 2000). Cette révision a affiné les normes de l'OMS. Les modifications ont essentiellement porté sur la norme " œufs d'helminthes " qui pour certaines catégories est passée de 1 à 0,1 œuf/l. La révision par l'OMS, basée sur une approche d'analyse quantitative des risques date de 2006.

Il est intéressant de noter que les recommandations de 2006 de l'OMS⁴ abordent non seulement les considérations sanitaires directes mais élargissent la réflexion à d'autres aspects complémentaires (socio culturels, environnementaux, économiques, financiers et politique) avec un lien sanitaire.

Les préconisations de l'OMS 2006 consistent à :

- Rappeler le concept d'évaluation / management du risque,
- Décrire les méthodes d'évaluation de ce risque,
- Fixer les moyens pour abattre (pour tout ou partie) les concentrations en germes microbiens
- Énoncer des mesures de protection sanitaire propres aux usages liés à la REUT.

On trouvera en annexe 3 des tableaux issus des documents de l'OMS, résumant les niveaux d'abatement des germes pathogènes en fonction des types de culture et d'irrigation et des mesures de protection prises.

2. En France

En 2008, l'Agence française de sécurité sanitaire de l'alimentation (Afssa) a rendu un premier avis⁵ relatif aux risques sanitaires pour l'Homme et les animaux, liés à une exposition par voie orale aux eaux usées traitées utilisées à des fins d'arrosage ou d'irrigation agricole. En 2010, l'Afssa a complété son analyse par une évaluation des risques liés à la réutilisation d'un type d'eaux usées spécifiques, les effluents issus des établissements de transformation de sous-produits animaux, à des fins d'irrigation des cultures destinées à la consommation humaine ou animale⁶.

- Arrêté interministériel du 2 août 2010

Il fut ainsi élaboré en 2010 un nouveau texte encadrant les projets de réutilisation. Il s'agit 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 ou d'espaces verts ».

Les normes retenues par l'arrêté du 2 août 2010 sont plus sévères que celles préconisées par l'OMS pour les pays en voies de développement. Cependant, elles sont du même ordre de grandeur que celles

⁴ « Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater ; volume 1 : Policy and regulatory aspects; volume 2 : waste water use in agriculture; volume 3: wastewater and excreta use in aquaculture; volume 4: excreta and greywater use in agriculture" WHO 2006

⁵ Afssa (2008). Réutilisation des eaux usées traitées pour l'arrosage ou l'irrigation. 69 p.

⁶ 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.

des pays qui ont choisi la même protection sanitaire des populations que la France, comme la Californie (USA), l'Australie, l'Espagne ou l'Italie (Jiménez et Asano, 2008).

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

L'arrêté du 2 août 2010 définit 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. La catégorie dont les normes associées sont les plus exigeantes (catégorie A) vise l'irrigation de cultures maraîchères non transformées et l'arrosage d'espaces verts ouverts au grand public (tels que les golfs). La catégorie dont les normes associées sont les moins exigeantes (catégorie D) vise l'irrigation de forêts d'exploitation avec un accès contrôlé du public (Service public de la diffusion du droit, 2010, s. d.).

➤ Niveaux de qualité sanitaire des eaux usées traitées, contraintes d'usage et de distance

L'annexe 4 présente les niveaux de qualité sanitaire des eaux usées traitées associées aux contraintes d'usages et de distance pour les catégories A, B, C et D (Savary, 2014).

➤ Contraintes de terrain

Concernant les contraintes topographiques, 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.

- Recommandations de l'Anses⁷

En 2012, l'Anses visent à compléter la réglementation du 2 août 2010 en matière de réutilisation d'eaux usées traitées et à préciser l'encadrement réglementaire de l'irrigation des cultures, l'arrosage des golfs et espaces verts par aspersion⁸. Elle estime nécessaire de limiter au maximum l'exposition de l'Homme aux eaux usées traitées lors des opérations d'aspersion.

Les grands objectifs de cet avis sont :

- 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 ;
- Confirmer ou infirmer les critères et valeurs retenues par l'Afssa dans le cadre de l'aspersion ;
- Proposer des recommandations visant à compléter et préciser l'encadrement réglementaire de l'irrigation des espaces verts par aspersion mentionné dans 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 ;
- Évaluer les risques sanitaires liés à la REUT pour le lavage des voiries.

⁷ L'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail (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 1er juillet 2010.

⁸ Anses (2012). Avis et rapport d'expertise relatifs à la « Réutilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation des cultures, l'arrosage des espaces verts par aspersion et le lavage des voiries ». 150 p.

En conséquence, l'Anses propose un ensemble de recommandations en matière de :

- Qualité d'eaux usées traitées,
- Encadrement des pratiques de réutilisation d'eaux usées traitées par aspersion
- Limitation de l'exposition humaine des populations concernées : résidents, passants et professionnels (arrosage des golfs, des espaces verts et irrigation des cultures).

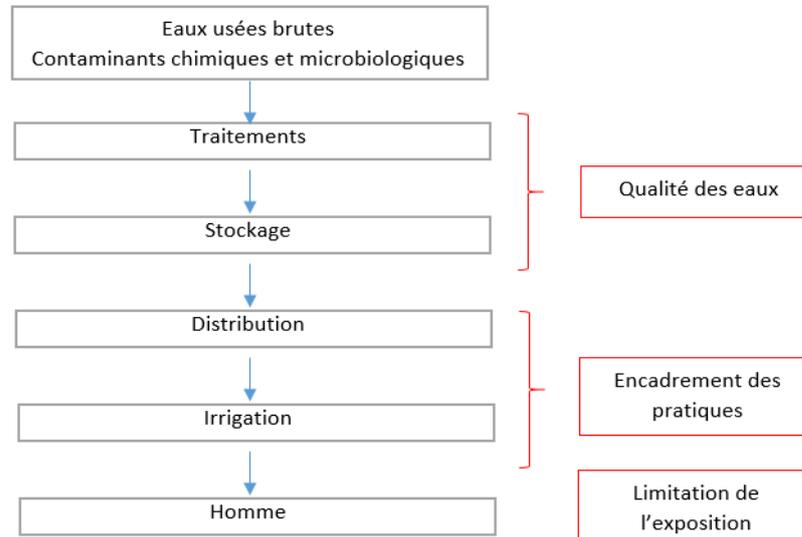


Figure 3: Recommandations liées à la REUT par aspersion pour l'irrigation des cultures, l'arrosage des espaces verts et des golfs (Anses, 2012)

- Arrêté du 25 juin 2014 modifiant 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

Sur la base de l'expertise de l'Anses, l'arrêté du 25 juin 2014 fixe les prescriptions techniques, s'appliquant aux maîtres d'ouvrage et aux exploitants des stations de traitement des eaux usées et des systèmes d'irrigation, pour l'utilisation d'eaux, issues du traitement d'épuration des eaux résiduaires urbaines, à des fins d'irrigation ou d'arrosage de cultures ou d'espaces verts.

Cet arrêté apporte de nouvelles dispositions, notamment :

- pour les systèmes d'irrigation ou d'arrosage par aspersion : il supprime le dossier de demande d'expérimentation, fixe des prescriptions techniques particulières et complète les informations à renseigner dans le programme d'irrigation ;
- il précise des prescriptions techniques relatives à la conception et à la gestion du réseau de distribution, au stockage des eaux usées traitées ainsi qu'à l'entretien du matériel d'irrigation ou d'arrosage ;
- il modifie, dans le cadre du programme de surveillance de la qualité des eaux usées traitées, la fréquence de suivi périodique de vérification du niveau de qualité sanitaire des eaux usées traitées ;
- il mentionne une règle spécifique, relative aux niveaux de qualité sanitaires des eaux usées traitées, pour les stations de traitement des eaux usées montrant un faible niveau de charge des eaux brutes ;
- il précise la procédure à suivre en cas de modification des éléments constitutifs du dossier d'autorisation.

La révision de l'arrêté du 2 août 2010 a levé une partie des contraintes liées à la REUT par aspersion, principal type d'irrigation en France qui était soumis à de fortes et coûteuses contraintes préalables à la mise en place de chaque projet. De nombreux projets bloqués jusqu'alors devraient alors voir le jour dans les prochaines années.

A l'instar des autres pays comme l'Espagne, l'Italie ou Israël, la REUT en irrigation doit ouvrir la voie à un encadrement d'autres usages comme le lavage des voiries ou la recharge de nappe (Cahier du Plan Bleu 11, 2012). La Tunisie réutilise déjà ses eaux usées pour la recharge de nappes souterraines, profitant ainsi au passage des pouvoirs épurateur des sols. Le premier maillon réglementaire est enfin en place en France, *souhaitons que la suite s'enclenche très rapidement afin de permettre des filières multi-usages répondant aux besoins des territoires* (Actu-Environnement, 2014).

IV. Eaux usées traitées : usages potentiels et techniques de traitement associées

1. Revue des réutilisations actuelles

Au niveau mondial, la production d'eau réutilisable atteint aujourd'hui environ 20 millions de m³/ jour. En Europe plusieurs pays ont développé de très importants projets de réutilisation des eaux usées traitées. Ainsi l'Espagne produisait près de 350 millions de m³/an et l'Italie près de 240 millions de m³/an en 2006 (MED EU Water Initiative, 2007). En France seulement 7,7 millions de m³ étaient produits cette même année (MED EU Water Initiative, 2007).

On peut distinguer cinq catégories de réutilisation :

- réutilisation pour l'irrigation : cultures fourragères ou maraîchères, céréales, prairies, etc. ;
- réutilisation industrielle : circuit de refroidissement, construction, papeteries, industries textiles, etc. ;
- réutilisation en zone urbaine : lutte contre l'incendie, lavage de voirie, recyclage des eaux usées d'un immeuble, arrosage de parcs, golfs, cimetières, etc. ;
- la production d'eau potable ;
- la recharge de nappe phréatique : recharge des aquifères et construction de barrières hydrauliques souterraines pour empêcher en zones côtières, l'intrusion d'eau salée dans des aquifères surexploitées. Elle est éventuellement utilisée ensuite pour l'irrigation, le soutien d'étiage des rivières ou des zones humides⁹.

Cependant la recharge de nappe souterraine revient, le plus souvent, à réutiliser indirectement des eaux usées pour produire de l'eau potable. On connaît un unique exemple de production directe d'eau potable à partir d'eaux usées à grande échelle. Il s'agit de Windhoek, capitale de la Namibie.

2. Techniques de traitement

a. Intérêt

La qualité des EUT requise pour la réutilisation 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. La réutilisation directe des eaux épurées biologiquement ne peut donc être envisagée sans leur faire subir un ou plusieurs traitements complémentaires afin de limiter au maximum les risques sanitaires au niveau:

- des produits cultivés;

⁹ Par ailleurs, le recyclage des eaux usées traitées en addition à de l'eau claire en vue d'augmenter le volume d'eau potable est aujourd'hui expérimenté, par exemple en Australie.

- de la qualité de l'air aspiré, car les eaux d'irrigation ou d'arrosage peuvent être utilisées en aspersion, ce qui provoque la formation d'aérosols porteurs de germes.

Ces traitements ont aussi pour objectif de protéger les stockages et les réseaux de distribution contre le développement d'une biomasse et le colmatage.

b. Classification des différentes techniques selon les usages

Il existe deux modes d'épuration des eaux usées urbaines :

- filières "eau" classiques : prétraitement + décanteur primaire (précédé ou pas d'une coagulation/floculation) + traitement biologique + clarificateur secondaire
- bioréacteurs à membranes : prétraitement + bioréacteur (couplage d'un traitement secondaire par boues activées avec la filtration par membranes MF ou UF)

Le choix des méthodes de traitement tertiaires dépend de plusieurs facteurs dont les plus importants sont la qualité de l'effluent, le type de réutilisation, les exigences de qualité et la taille des installations. En fonction des conditions locales et des critères technico-économiques, différentes technologies extensives ou intensives peuvent être envisagées.

Ainsi des eaux épurées issues d'un bioréacteur à membranes, ne nécessiteront qu'une désinfection complémentaire de sécurité. Tandis que les eaux épurées issues d'une filière « eau » classique fera appel essentiellement à des procédés de filtration et de désinfection, complétés ou non par des processus biologiques.

Tableau 1: Les différents modes de désinfection, leurs avantages et inconvénients (Corsin et Le Strat, 2007).

Procédés de filtration	Abattement (%)		
	MES	DBO ₅	DCO
Filtration biologique (+ processus biologique)	50 à 80	40 à 60	30 à 40
Filtration simple (sans processus biologique)	50 à 60	30 à 40	20 à 30

Procédés de désinfection		Avantages	Inconvénients
Désinfection chimique	Injection de chlore gazeux ou d'un produit chloré (hypochlorites de sodium ou de calcium)	-Efficace après une filtration -Abattement de 3 log des coliformes fécaux -Le dioxyde de chlore ne forme pas de chloramines -Effet de rémanence	-Chlore dont le résiduel et les sous-produits d'oxydation (THM notamment) sont présents à la sortie du bassin -Formation de sous-produits toxiques
	L'ozonation	- Capacité d'inactivation des virus très importante - Plus efficace que la chloration et les UV pour l'inactivation des protozoaires - 7-10 mgO ₃ /L permet d'éliminer 3 à 4 log de coliformes totaux, fécaux ou streptocoques après un temps de contact de 2 minutes.	

	Injection de produits à base d'acide peracétique	- Le seul résidu est l'acide acétique qui est non toxique et facilement biodégradable - Taux d'abattement des coliformes fécaux est de l'ordre de 2 log	
	Désinfection physique (par rayonnement ultraviolet)	-Pas d'utilisation de produits chimiques -Temps de contact très court	-Pas d'action rémanente -La destruction totale des micro-organismes exige des doses plus importantes, de l'ordre de 140 mJ/cm ² .
	Lagunes de finition	-Abattement de 50 % -Pouvoir de nitrification, -Taux d'abattement des coliformes fécaux est de l'ordre de 3 à 4 log	
	Infiltration - percolation	-Intéressante dans des zones côtières ou alluvionnaires	

Les combinaisons existantes pour le traitement complémentaire des EUT issues d'une filière classique sont décrites ci-après allant de la moins à la plus exigeante en matière d'élimination de MES, c'est à dire d'une simple désinfection jusqu'à un traitement tertiaire assez complet par coagulation, clarification, filtration et désinfection.

Schémas conventionnels retenus :

- Désinfection par lagunage, par ozonation ou par ultra-violet
- Filtration (filtration rapide sur sable, filtres multicouches, filtres à sable à lavage continu) + désinfection UV/O₃
- Traitement physico-chimique par coagulation, floculation avec ou sans clarification + Filtration + désinfection UV/O₃

Schémas à membranes retenus :

- Membranes de microfiltration (MF) ou d'ultrafiltration (UF) immergées + désinfection UV/O₃
- Filtration sur sable + membranes de MF ou UF à circulation externe + désinfection UV/O₃

Dans certains cas (usages industriels, production indirecte d'eau potable où l'irrigation des cultures sensibles aux sels), une étape supplémentaire de dessalement d'une partie de l'effluent s'avère nécessaire par osmose inverse ou électrodialyse (Lazarova et Brissaud, 2007).

L'annexe 5 résume plusieurs modes de traitements recommandés pour les différents types de réutilisation des eaux usées ainsi qu'une comparaison entre les techniques extensives et intensives.

c. Evaluation financière engendrée par la REUT

Dans un projet de REUT, se pose la question des coûts engendrés. Les expériences existantes indiquent que les postes de dépenses les plus importants sont ceux de l'aménagement de la station d'épuration et de la mise en place du réseau et des réservoirs de stockage. Comparés au coût global du traitement des eaux résiduaires urbaines, les investissements supplémentaires pour le traitement tertiaire dépassent rarement de plus de 30% le coût du traitement secondaire (Lazarova et Brissaud, 2007). Les investissements les plus importants sont relatifs aux procédés à membranes.

L'annexe 6 présente des valeurs indicatives minimales et maximales en termes de coût de divers types de traitement des eaux usées.

En termes de financement, le tarif de l'assainissement perçu auprès de populations urbaines productrices d'eaux usées, peut inclure l'amortissement de l'investissement et le fonctionnement du traitement tertiaire nécessaires à la réutilisation. Au minimum, il est souhaitable que la facture permette de couvrir les coûts d'exploitation et de maintenance, les remboursements des prêts résiduels et les provisions pour renouvellement.

Cependant, les Français sont réticents à payer la totalité du surcoût lié à cette pratique (Commissariat Général du Développement Durable, 2014a). Dans le cas où la rarefaction des ressources en eau s'accroîtrait, la réutilisation des eaux usées pour l'irrigation peut permettre aux ménages de maintenir leur niveau de consommation. Le consentement à payer des Français pour ne pas avoir à réduire leur consommation d'eau en situation de rareté accrue de la ressource reste néanmoins modeste. En effet, seul un quart des Français déclare préférer conserver leur niveau actuel de consommation, contre une augmentation du prix de l'eau.

De plus, ce quart de Français accepterait dans ce cas-là une augmentation de leur facture d'eau de l'ordre de 14,5 €/an (Commissariat Général du Développement Durable, 2014b). Ceci correspondrait à une augmentation du prix de l'eau de 0,26 €/m³. Cependant, la faiblesse du consentement à payer provient probablement du fait que les ménages ont du mal à se projeter dans une véritable situation de tension sur les ressources en eau, y compris dans les zones critiques.

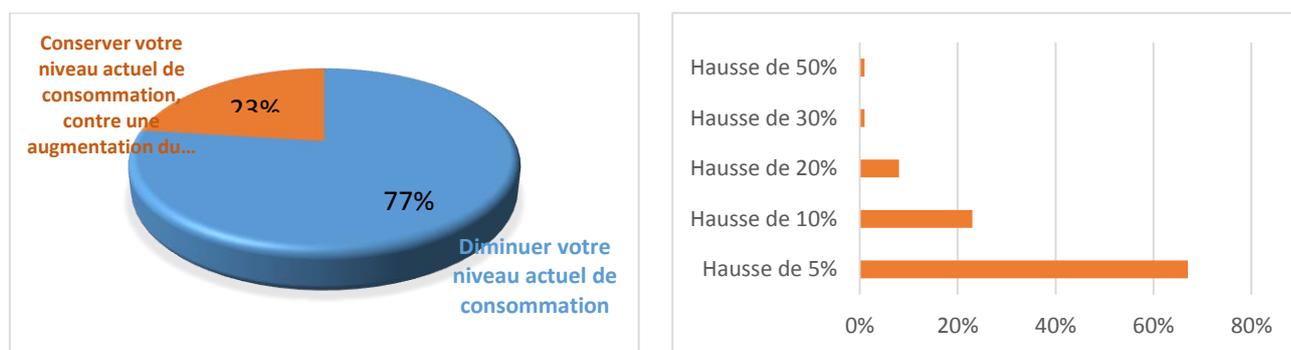


Figure 4 : Scénario d'évolution privilégié par les répondants en cas de baisse de la quantité d'eau disponible en France (Commissariat Général du Développement Durable, 2014b)

Le coût de la réutilisation des eaux usées est un déterminant important de son développement. Plus les normes de qualité des eaux usées sont exigeantes, plus les traitements associés sont complexes et plus le coût de production d'une eau réutilisable est élevé. Or, le développement d'une telle pratique dépend fortement de son coût par rapport aux autres sources d'approvisionnement en eau (notamment le prélèvement dans le milieu).

Afin de réduire les coûts relatifs entre une eau prélevée dans le milieu et des eaux usées traitées, certains pays, comme Israël ou l'Espagne, accompagnent le développement de projets de réutilisation des eaux usées par des politiques de transfert des coûts et de subventions croisées. Ces politiques « mutualisent » les surcoûts liés au traitement des eaux usées avec l'ensemble des usagers de l'eau de la zone géographique concernée. Cette « mutualisation » qui répartit les surcoûts permet de prévenir les conflits d'usages, par le recours à des ressources alternatives économiquement rentables pour les usagers (agriculteurs) puisque subventionnées (Commissariat Général du Développement Durable, 2014a).

3. Stockage

Toute installation de réutilisation nécessite un stockage plus ou moins important. Pour régulariser les variations journalières du flux de sortie de la station d'épuration, le volume de la réserve sera l'équivalent de 24 à 72 heures de consommation ou plus si elle doit faire face aux risques d'interruption de l'approvisionnement en eau épurée ou aux pannes des systèmes de traitement (Aviron-Violet, 2002).

Dans les régions véritablement déficitaires en ressources en eau, le stockage est intersaisonnier : il emmagasine l'eau inutilisée en période hivernale, qui sera utilisée durant l'été. Le volume du stockage est alors l'équivalent de plusieurs mois de consommation (Aviron-Violet, 2002).

On distingue deux types de stockage intersaisonnier :

- La recharge de nappe : ce type de stockage exige une nappe phréatique suffisamment perméable, qui ne soit pas déjà exploitée pour la production d'eau potable, et des sites propices à l'infiltration.
- Les réservoirs de stabilisation : l'installation est moins contraignante, elle demande essentiellement qu'un terrain soit disponible. Cependant, la solution peut s'avérer coûteuse.

V. Retour d'expériences

1. Diversité des projets de REUT

La réutilisation des eaux usées est une pratique très répandue dans les régions du monde affectées par des pénuries de ressources en eau. Le bassin méditerranéen est l'une des régions du Monde où la réutilisation agricole des eaux usées urbaines est la plus pratiquée. Elle est largement utilisée en Israël. L'Espagne et l'Italie sont les deux pays européens dans lesquels la réutilisation se développe le plus rapidement, soit sous la forme de nouvelles infrastructures soit par la mise en conformité de pratiques anciennes répandues qui consistaient à irriguer avec des eaux usées non traitées, sans encadrement réglementaire.

Tableau 2: Principales caractéristiques de divers projets de réutilisation des eaux usées (Agence Française du Développement, 2011)

		Amman Samra	Hammamet Golfs	Tel-Aviv Shafdan	Milan San Rocco	Clermont-Ferrand	Ouagadougou Kossodo
Type de traitement	STEP	Boues activées	Boues activées	Boues activées	Boues activées	Boues activées	Lagunage
	EUT	+ Chloration	+ lagunes aérées + lagunes finition	Bassins infiltration nappe	+ UV	+ lagunes finition	-
Volumes sortie station	Mm ³ / an	80,3	1,3	128	103	18,2	0,9
Volume REUT	Mm ³ / an	80,3 +14,6 non contrôlés	1,1	128	11	0,8	0,15 +0,75 non contrôlés
% REUT	%	100%	85%	100%	11%	4%	17%
Description REUT	Type	eau de mélange	irrigation	irrigation eau repompée	irrigation	irrigation	irrigation manuelle
	objectif	maraichage + vergers	espace vert	agriculture intensive exportation	maïs céréales	cultures spéciales (maïs graine)	maraichage
Bénéficiaire REUT	nb	2 390	2 entreprises	4 300	35	51 agriculteurs	330
Total emplois directs maintenus et créés	nb	23 500	170	100 000	35	60	330

Le pourcentage d'eau épurée réutilisée peut considérablement varier selon les projets (de 4 % à Clermont-Ferrand à 100 % à Amman). L'utilisation d'eau traitée semble toujours liée au maintien ou au développement d'une activité économique (agriculture, golfs,...), avec la création d'emplois directs et indirects.

2. La REUT en France

La réutilisation des eaux usées est encore très peu développée sur le territoire français (19 200 m³/jour) : les volumes concernés correspondent à environ 2 % des volumes réutilisés dans d'autres pays européens, tels que l'Espagne et l'Italie (cf. figure 1).

La France ne connaît que des épisodes locaux et saisonniers de déficit de la ressource en eau. De ce fait, la réutilisation des eaux usées est restreinte à des régions particulières (notamment insulaires). Les autres exemples de réutilisation des eaux usées concernent des usages pour lesquels la demande en eau est importante et en conflit potentiel avec l'eau potable. C'est le cas de golfs à l'instar de celui de Sainte-Maxime (Var).

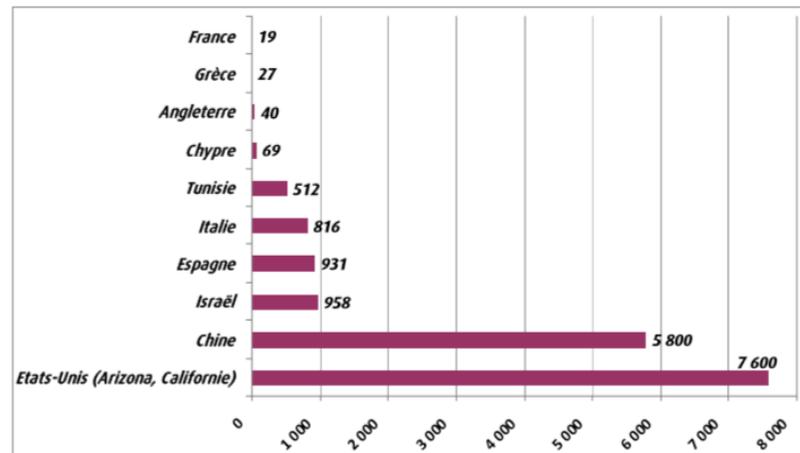


Figure 5: Volume moyen journalier des eaux recyclées pour l'irrigation de cultures (en milliers de m³/j) (Jiménez et Asano, 2008)

- a. Cas 1 : Réutilisation partielle des eaux de la station d'épuration de Clermont Ferrand en irrigation d'appoint (Agence Française de Développement, 2011)

Le projet consiste en l'irrigation de terres agricoles en Limagne noire sur environ 700 ha pour 800 000 m³ par an réutilisé à l'aval de la station d'épuration boues activées de Clermont Ferrand (France). L'eau utilisée subit en sortie de la station d'épuration municipale un lagunage final dans les bassins de décantation inutilisés d'une sucrerie située aux abords de la station d'épuration avant pompage vers les zones d'irrigation. La justification de cette mobilisation des EUT réside dans l'absence d'eau souterraine d'une part et du coût important pour solliciter un pompage de surface dans l'Allier à plus de vingt km du site. L'objectif étant aussi de mettre en place une irrigation d'appoint, afin de livrer de l'eau à bonne date à des cultures de maïs semence.

Le projet a été rendu possible par un taux de subventions publiques d'investissement de 65 %, y compris européennes. Le dossier est également intéressant par la mise en place d'un suivi épidémiologique qui a été mené par l'observatoire régional de la santé, pendant la phase pilote de 50 ha. Aucun événement particulier n'a été observé durant les trois années de l'étude. Techniquement, le projet reste très spécifique par la mise en commun d'ouvrages épuratoires entre la sucrerie et le traitement tertiaire.

Le projet permet de maintenir 60 emplois agricoles et dégage une valeur ajoutée agricole de 1,66 euros par m³ utilisés. Les effets induits sont liés à l'activité agricole et à la protection des ressources en eau.

Ce projet a réclamé une grande énergie de concertation entre toutes les parties prenantes, et reste le reflet d'une bonne analyse technique des opportunités existantes. L'adaptation du process et de la réutilisation

est une réussite, même si les investissements particuliers de la REUT n'ont été possibles que par l'apport d'une importante subvention publique.

b. Cas 2 : Valorisation agricole des EUT en situation insulaire

Dans les îles, petits bassins versants, ou encore dans des nappes de capacités limitées, les ressources en eau peuvent être insuffisantes. Ces localités recourent à des ressources de plus en plus lointaines pour satisfaire leurs besoins, les obligeant donc à payer de plus en plus cher pour faire face à la croissance de leurs besoins. Ce type de situation a donné lieu à un nombre significatif d'opérations de réutilisation, dans les îles de *Ré*, *Noirmoutier*, *Oléron*, *Porquerolles*, mais aussi, plus récemment, à *Pornic* en Loire Atlantique, *Chanceaux sur Choisille* en Indre et Loire, *Le Revest du Bion* dans les Alpes de Haute Provence, *Noisilly* dans l'Indre et Loire. La réutilisation des eaux usées a permis de maintenir ou de développer une activité agricole ou, comme à *Pornic*, de diminuer très sensiblement le coût de l'arrosage d'un terrain de golf.

Prenons comme exemple l'île de Noirmoutier (Actu-Environnement, 2014) qui irrigue depuis plus de 30 ans ses terres agricoles à partir d'eaux usées traitées, créant ainsi une situation de bénéfices réciproques : les agriculteurs ont accès à une ressource bon marché et ont contribué à diminuer la pression sur la ressource en eau potable, alors que les rejets en eau dans le milieu naturel marin ont diminué. Selon une étude d'évaluation des scénarios de gestion des ressources en eau à Noirmoutier, il a été révélé que la REUT pour l'irrigation des cultures est plus avantageuse que les autres pratiques. Le coût de l'eau recyclée pour l'irrigation agricole varie de 0.46 à 0.70 €/m³ contre 0.96 €/m³ pour l'irrigation des espaces verts et 1.29 €/m³ pour les usages domestiques non-potables (Xu, 2002).

Les eaux usées traitées par les stations de la Salaisière et de la Casie sont ainsi pompées en sortie de lagunage pour irriguer les cultures.

Tableau 3: Les niveaux de qualité des eaux traitées en 2011 à la Salaisière (Service public 2000, 2011)

La Salaisière	Conditions à respecter du 1 / 1 au 31 / 12 sur le milieu récepteur n°2 (rejet lagunage dans fossés de marais)	2011	Conformité
Escherichia Coli	80% des échantillons présentent une teneur inférieure à 1000 E.Coli/100ml	100%	OUI
Streptocoques fécaux	80% des échantillons présentent une teneur inférieure ou égale à 1000 Strep. fécaux/100ml	100%	OUI
Oeufs d'Helminthes	80% des échantillons présentent une teneur inférieure à 1 oeuf d'helminthe / litre	100%	OUI
NH4+	80% des échantillons présentent une teneur inférieure ou égale à 5 mg/l de NH4+	100%	OUI

En 2011, les seuils ont été dans l'ensemble respectés. Les non conformités observées en période estivale sont dues aux fientes des nombreux canards présents sur les lagunages. Le niveau bas de la lagune a renforcé leur impact sur la concentration d'Escherichia Coli.

3. Bilan des REX

On peut récapituler dès lors les principaux facteurs qui encouragent et ceux qui freinent un projet de REUT dans le tableau suivant (Condom et al., 2012):

Tableau 4: Freins principaux et facteurs de réussite d'un projet de REUT

Freins principaux	Facteurs de réussite
- la difficulté pour les acteurs de comprendre cette problématique complexe ; - des réglementations inadaptées au contexte local ;	- une approche intégrée, multidisciplinaire et multisectorielle, concertée entre les acteurs et coordonnée au niveau des institutions ;

<ul style="list-style-type: none"> - la compétition avec d'autres ressources en eau (notamment conventionnelles) ; - la difficulté de combiner l'offre (ressource) et la demande (usages) dans l'espace et le temps ; - des filières d'assainissement inadaptées ou incomplètes ; - les risques de salinisation des sols et de pollution des eaux ; - l'absence de procédures de contrôle ou de capacité analytiques ; - une politique tarifaire inadaptée (avec fort subventionnement des ressources en eau conventionnelles) et des capacités financières limitées ; - un déficit de connaissances et compétences techniques et ; - une perception par les populations qui, selon les contextes, peut être fortement négative et conduire à un rejet. 	<ul style="list-style-type: none"> - une prise en compte, dès les étapes initiales de la conception du projet, des usages potentiels au regard des aspects quantitatifs et qualitatifs de la ressource en eaux usées ; - une intégration de la REUT dans le cadre plus global d'une politique de gestion intégrée des ressources en eau.
---	--

L'aboutissement d'un projet de REUT engage ainsi l'existence des éléments suivants (Agence Française de Développement, 2011):

- Vérification d'une volonté politique
- Confirmer l'existence effective d'une demande en eau réutilisée : L'analyse du marché de la réutilisation considérée ne doit pas se limiter à constater un besoin, mais doit aboutir à confirmer l'existence d'une demande pérenne et solvable pour cette ressource non conventionnelle
- Mettre en place des normes sanitaires adaptées à l'usage des eaux réutilisées,
- Mettre en place un dispositif de suivi sanitaire : un dispositif de surveillance épidémiologique de la population exposée
- Déterminer la technique de réutilisation en fonction de la qualité sanitaire nécessaire à l'usage final.
- Vérifier la fiabilité de la chaîne de production d'eau usée traitée et prévoir un dispositif de réaction rapide aux incidents de traitement
- Trouver les conditions de l'équilibre économique et financier de la réutilisation.

Conclusion

Les progrès techniques récents, tant dans le domaine des solutions rustiques, comme le lagunage, qu'en ce qui concerne les plus élaborées comme les filtrations sur membranes rendent les traitements plus faciles et moins coûteux. Il est certain que cette nouvelle ressource va connaître un développement considérable dans un proche avenir dans toutes les régions où l'approvisionnement en eau "de première main" est insuffisant ou aléatoire. Les avantages environnementaux découlant de l'utilisation de cette nouvelle ressource sont considérables.

Jusqu'à présent, du fait de son climat, la France n'a que peu exploité cette possibilité, bien que les entreprises françaises spécialisées aient mis en place des installations remarquables à l'étranger. Les nouvelles possibilités techniques, l'augmentation régulière et générale des prix de l'eau potable et de l'assainissement, les inégalités de répartition de la ressource et les exigences environnementales, ainsi que les récentes clarifications administratives devraient accélérer l'usage des eaux traitées non seulement pour l'irrigation mais aussi pour les espaces d'agrément et les usages urbains.

Abréviations

AFSSA : Agence française de sécurité sanitaire de l'alimentation

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

DALY : Disability-Adjusted Life Years

MES : Matières en suspension

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

REUT : Réutilisation des eaux usées traitées

Bibliographie

- Actu-Environnement, 2014. *Réutilisation des eaux usées traitées : l'économie circulaire appliquée au domaine de l'eau*. Disponible sur Internet: <http://www.actu-environnement.com/ae/news/nicolas-condom-reutilisation-eaux-usees-traitees-22338.php4> [Consulté le 06/10/2014].
- Agence Française de Développement, 2011. *La réutilisation des eaux usées traitées (REUT) Eléments de méthodologie pour l'instruction de projets*. Paris, Agence Française de Développement, 29 p.
- Agence Française de Développement, BRL Ingénierie, 2011. *Réutilisation des eaux usées traitées – perspectives opérationnelles et recommandations pour l'action*. Paris, Agence Française de Développement, 91 p.
- Anses, 2012. *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*. Maisons-Alfort, Anses Éditions, 150 p.
- Aviron-Violet J., 2002. *La réutilisation des eaux usées après traitement*. Paris, Conseil général du génie rural des eaux et des forêts, 38 p. Note d'information n°22.
- Baumont S., 2004. *Réutilisation des eaux usées épurées: risques sanitaires et faisabilité en Ile-de-France*. Ile-de-France, Observatoire régional de santé d'Ile-de-France, 222 p.
- Blin E., Brissaud F., Huyard A., Jordi J., 2009. Réutilisation des eaux usées pour l'arrosage des espaces verts: maîtrise de la qualité sanitaire de l'eau aspersée. *L'eau, l'industrie, les nuisances*, 323, pp. 39-43.
- Bouchet C., 2008. Recyclage et réutilisation des eaux usées: où en sommes-nous? *L'eau, l'industrie, les nuisances*, 308, pp. 33-42.
- Boutin C., Héduit A., Helmer J.-M., 2009. *Technologies d'épuration en vue d'une réutilisation des eaux usées traitées (REUT)*. ONEMA – Direction de l'Action Scientifique et Technique, 100 p. Domaine : Ecotechnologies et pollutions.
- Commissariat Général du Développement Durable, 2014a. La réutilisation des eaux usées pour l'irrigation : une solution locale pour des situations critiques à l'avenir. *Le point sur-Économie et Évaluation*, 191, pp. 1-4.
- Commissariat Général du Développement Durable, 2014b. Ressources en eau : perception et consommation des Français - Résultats d'enquête. *Études & documents - Économie et Évaluation*, 106, pp. 7-56.
- Condom N., Lefebvre M., Vandome L., 2012. *La réutilisation des eaux usées traitées en méditerranée : retour d'expériences et aide à l'élaboration de projets*. Valbonne, Plan Bleu, 67 p. Les Cahiers du Plan Bleu 11.
- Corsin P., Le Strat P., 2007. Les effluents des stations d'épuration: comment les rendre aptes à une seconde vie. *L'eau, l'industrie, les nuisances*, 299, pp. 35-40.
- Dufour A., 2014. *L'économie circulaire peut-elle répondre à l'épuisement des ressources naturelles ?* Paris, Institut de Relations Internationales et Stratégiques, 15 p. Observatoire Géopolitique de la Durabilité.

- Ecosse D., 2001. *La réutilisation des eaux usées*. Disponible sur Internet: <http://www.u-picardie.fr/beauchamp/duce/ecosse/ecosse.htm> [Consulté le 06/10/2014].
- MED EU Water Initiative, 2007. *Mediterranean Wastewater Reuse Report*. MED WWR WG, 50 p.
- Jiménez B., Asano T., 2008. *Water Reuse: An International Survey of Current Practice, Issues and Needs*. London, IWA Publishing, 649 p. Scientific and Technical Report.
- Lazarova V., Brissaud F., 2007. Intérêt, bénéfices et contraintes de la réutilisation des eaux usées en France. *L'eau, l'industrie, les nuisances*, 299, pp. 43-53.
- Lenica A., 2013. *Utilisation des eaux non conventionnelles dans l'agriculture méditerranéenne: enjeux socio-économiques et environnementaux*. Montpellier, AgroParisTech - Engref, 29 p.
- BIPE, MEDDE, 2012. *Prospective socio-économique et démographique : Pressions anthropiques*. Ministère de l'écologie, du développement durable, de l'énergie, 199 p. Explore 2070 : Eau et changement climatique.
- Organisation de coopération et de développement économiques, 2011. *Revue des performances environnementales d'Israël*. Paris, OECD Publishing, 219 p.
- Organisation mondiale de la Santé, 2006. *Utilisation des eaux usées en agriculture*. Genève, Organisation mondiale de la Santé, 254 p. Directives OMS pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excreta et des eaux ménagères, vol.2.
- Savary P., 2014. *Les cours d'épuration des eaux usées*. Montpellier, AgroParisTech - Engref, 59 p.
- Service public de la diffusion du droit, 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*. [Consulté le 09/10/2014].
- Service public de la diffusion du droit, 2014, *Arrêté du 25 juin 2014 modifiant 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*. [Consulté le 09/10/2014].
- Service public 2000, 2011. *Rapport annuel 2011 sur le prix et la qualité du service public de l'assainissement*. Ile de Noirmoutier, Communauté de Communes, 33 p.
- Xu P., 2002. *Modélisation technico-économique de la gestion des ressources en eau intégrant la réutilisation des eaux usées*. Thèse pour l'obtention du doctorat en Sciences de l'Eau, Montpellier, AgroParisTech - Engref, 155 p.

Annexes :

Annexe 1 : Exemples de dangers associés à l'utilisation des eaux usées en agriculture

Danger	Voie d'exposition	Importance relative	Observations
Agents pathogènes associés aux excreta			
Bactéries (<i>E. coli</i> , <i>Vibrio cholerae</i> , <i>Salmonella</i> spp., <i>Shigella</i> spp.)	Contact Consommation	Faible à élevée	Peuvent survivre dans l'environnement suffisamment longtemps pour représenter des risques sanitaires. La contamination des cultures a provoqué des flambées épidémiques. Le lavage ou la désinfection des produits ainsi que leur cuisson permettent de réduire le risque. En cas de contact avec des eaux usées, une hygiène personnelle insuffisante accroît le risque d'infection ou de maladie.
Helminthes			
– Transmis par le sol (<i>Ascaris</i> , ankylostomes, <i>Taenia</i> spp.)	Contact Consommation	Faible à élevée	Présents dans des zones où l'assainissement et les normes d'hygiène sont insuffisants. Le risque dépend du degré de traitement des eaux usées, du port ou non de chaussures, du degré de cuisson des aliments avant consommation, etc. Les œufs peuvent survivre très longtemps dans l'environnement.
– Schistosomes (trématodes, schistosomes)	Contact	Nulle à élevée	Les schistosomes ne sont présents que dans certaines régions géographiques et ont besoin d'hôtes intermédiaires appropriés. La schistosomiase se transmet par contact avec de l'eau contaminée dans les zones d'endémie.
Protozoaires (<i>Giardia intestinalis</i> , <i>Cryptosporidium</i> , <i>Entamoeba</i> spp.)	Contact Consommation	Faible à moyenne	Peuvent survivre dans l'environnement suffisamment longtemps pour représenter des risques sanitaires. Preuves limitées d'éventuelles flambées épidémiques. Le lavage ou la désinfection des produits ainsi que leur cuisson permettent de réduire le risque. Une hygiène personnelle insuffisante en cas de contact avec des eaux usées accroît le risque d'infection ou de maladie.
Virus (virus de l'hépatite A ou de l'hépatite E, adénovirus, rotavirus, norovirus)	Contact Consommation	Faible à élevée	Peuvent survivre dans l'environnement suffisamment longtemps pour présenter des risques sanitaires. La contamination des cultures a provoqué des flambées épidémiques.

Danger	Voie d'exposition	Importance relative	Observations
			Le lavage ou la désinfection des produits, ainsi que leur cuisson, permettent de réduire le risque. Une hygiène personnelle insuffisante en cas de contact avec des eaux usées accroît le risque d'infection ou de maladie. Dans les zones où l'assainissement et les normes d'hygiène sont médiocres, la plupart des habitants sont infectés au cours de l'enfance et acquièrent une immunité. Ces organismes peuvent comporter un risque sanitaire plus important pour les habitants non exposés pendant l'enfance ou pour les touristes non immunisés contre les maladies locales.
Irritants cutanés	Contact	Moyenne à élevée	Des maladies de peau telles que des dermatites de contact (eczémas) ont été signalées après un contact prolongé avec des eaux usées non traitées. La cause de ces maladies n'a pas encore été déterminée, mais il s'agit probablement d'un mélange d'agents microbiens et chimiques. Dans certaines situations, des toxines cyanobactériennes peuvent être aussi en cause.
Agents pathogènes responsables des maladies à transmission vectorielle (<i>Plasmodium</i> spp., virus de la dengue, <i>Wuchereria bancrofti</i> , virus de l'encéphalite japonaise)	Contact avec des vecteurs	Nulle à moyenne	Le risque est limité aux zones géographiques où l'agent pathogène est endémique et où l'on trouve des vecteurs appropriés. Il est principalement lié au développement des ressources en eau (c'est-à-dire au développement des réservoirs et des réseaux d'irrigation) et habituellement n'est pas spécifiquement associé à l'utilisation d'eaux usées en agriculture. La filariose lymphatique constitue une exception car ses vecteurs se reproduisent dans de l'eau renfermant une pollution organique.
Produits chimiques			
Métaux lourds (arsenic, cadmium, plomb, mercure)	Consommation	Faible	Les métaux lourds peuvent s'accumuler dans certains végétaux, mais rarement à des concentrations considérées comme dangereuses.
Hydrocarbures halogénés (dioxines, furanes, PCB)	Consommation	Faible	Ces substances sont généralement présentes à des concentrations faibles dans les eaux usées (concentrations pouvant être plus élevées dans les boues). Elles sont habituellement adsorbées par les particules de sol et ne sont pas absorbées par les plantes.
Pesticides (aldrine, DDT)	Contact Consommation	Faible	Le risque est lié aux pratiques agricoles. Les eaux usées ne contiennent généralement pas de fortes concentrations de ces substances.
Sources : Blumenthal et al. (2000a, 2000b); OMS (2004q); van der Hoek et al. (2005).			

Annexe 2 : Stratégie de gestion pour réduire les impacts environnementaux

Composé	Mesure
Azote en excès	Dans la mesure du possible, diluer les eaux usées avec de l'eau douce Limiter la quantité d'eaux usées épanchée Éliminer l'excès d'azote dans les eaux usées
Matières organiques	Ne pas épancher les eaux usées en continu, laisser le sol les dégrader biologiquement Améliorer l'élimination des matières organiques dans les eaux usées
Salinité	Éviter d'employer de l'eau contenant 500–2000 mg/l de MDT présentant une conductivité électrique de 0,8–2,3 dS/m, en fonction du type de sol et du drainage du terrain Réduire l'utilisation de sels en amont et leurs rejets dans les eaux usées
Chlorures	Avec des buses d'aspersion, n'employer que de l'eau contenant moins de 100 mg/l de chlorures En cas d'irrigation par submersion, utiliser de l'eau contenant moins de 350 mg/l de chlorures Irriguer la nuit pour éviter que les feuilles ne brûlent

Composé	Mesure
Composés organiques toxiques dans les sols et les cultures	Prétraiter les rejets industriels ou les traiter séparément des eaux usées Promouvoir une production plus propre évitant l'utilisation de composés toxiques auprès des industriels Éduquer la société pour qu'elle emploie moins de composés toxiques et pour que, si elle en utilise, elle les élimine de manière sûre
Métaux	Prétraiter les rejets industriels ou les traiter séparément des eaux usées N'utiliser d'eaux usées que sur des sols dont le pH >6,5
Matières solides en suspension	Ne pas utiliser d'eau contenant des matières solides >2–5 mm Éliminer les matières solides en suspension par un prétraitement des eaux usées Labourer les sols lorsqu'ils sont bouchés

MDT: matières solides dissoutes totales.

Sources: Seabrook (1975); Bole & Bell (1978); Reed, Thomas & Kowal (1980); USEPA (1981); Ayers & Wescot (1985); Phene & Ruskin (1989); Bouwer (1991); Oron et al. (1991, 1992); Pescod (1992); Farid et al. (1993); Chang et al. (1995); National Research Council (1996); Jiménez & Chávez (1997); Strauss (2000); Cornish & Lawrence (2001); AATSE (2004); Ensink, Simmons & van der Hoek (2004); Ensink et al. (2004); Foster et al. (2004).

Annexe 3 : Niveaux de qualité sanitaire des eaux usées traitées, contraintes d'usage et de distance (Savary, 2014)

France - Arrêté du 2 août 2010 relatif à la réutilisation des EU épurées pour l'irrigation de cultures ou d'espaces verts				
Niveau de qualité sanitaire des eaux usées traitées				
	A	B	C	D
	Cultures maraîchères, fruitières, légumières, NON transformées par un traitement thermique industriel adapté, Espaces verts et forêts ouverts au public (notamment golfs) ⁽²⁾	Cultures maraîchères, fruitières, légumières, transformées par un traitement thermique industriel adapté, Fleurs vendues coupées, Pâturages ⁽¹⁾ , Fourrage frais ⁽¹⁾	Arboriculture fruitière, Pépinières et arbustes, Autres cultures florales, Autres cultures céréalières et fourragères	Forêts d'exploitation avec accès contrôlé du public
	⁽²⁾ : Irrigation en dehors des heures d'ouverture au public	⁽¹⁾ : Sous réserve du respect d'un délai après irrigation de 10 jours en l'absence d'abattoir relié à la station d'épuration, et de 21 jours dans le cas contraire	Uniquement irrigation localisée	Uniquement irrigation localisée
MES (mg/l)	≤ 15	Conforme à réglementation des rejets d'EU traitées pour l'exutoire de la STEP hors périodes d'irrigation		
DCO (mgO ₂ /l)	≤ 60	Conforme à réglementation des rejets d'EU traitées pour l'exutoire de la STEP hors périodes d'irrigation		
Entérocoques fécaux	Abattement > 4 log	Abattement > 3 log	Abattement > 2 log	
Phages ARN - F spécifiques				
Spores de bactéries anaérobies sulfito-réductrices				
Eschérichia coli (UFC/100ml)	≤ 250	≤ 10 000	≤ 100 000	-
Coliformes thermo-tolérants (U/100ml)				
Œufs d'helminthes (U/l)				
Distances à respecter vis-à-vis des prises d'eau et bassins aquacoles	20 m	50 m	100 m	
Distances à respecter vis-à-vis des sites de conchyliculture et pêche à pied	50 m	200 m	300 m	
Distances à respecter vis-à-vis des baignades, activités nautiques et sites d'abreuvement du bétail	50 m	100 m	200 m	

Annexe 4 : Recommandations OMS (source : OMS in étude BRL ingénierie)

Les modalités de réduction de la concentration des germes microbiens sont tributaires du type d'irrigation envisagée, à savoir restrictive ou non.

L'irrigation sans restriction de culture

situation A : adaptée aux légumes racine. Abattement des pathogènes de 7 log obtenu par la combinaison traitement (4 log) + délai avant récolte + lavage à l'eau propre.
Situation B : adapté aux légumes feuille. Abattement des pathogènes de 6 log obtenu par la combinaison traitement (3 log) + délai avant récolte + lavage à l'eau propre.
Situation C : adapté aux cultures hautes et production aérienne, sans ramassage à terre de produits : abattement de 6 log, obtenu par la combinaison traitement (2 log) + irrigation goutte à goutte.
Situation D : adapté aux cultures basses et production aérienne, sans ramassage à terre de produits : abattement de 6 log, obtenu par la combinaison traitement (4 log) + irrigation goutte à goutte.
Situation E : adapté à toutes cultures. Abattement de 7 log obtenu uniquement par traitement

L'irrigation avec restriction de culture

Situation F : agriculture intensive en travail manuel : abattement de 4 log par traitement, 3 log étant assurés par la restriction des cultures.
Situation G : agriculture hautement mécanisée : abattement de 3 log par traitement, 4 log étant assurés par la restriction des cultures.
Situation H : Assainissement autonome ou situation similaire : traitement par fosse sceptique (1 log) suivi d'un épandage souterrain (6 log).

Pour le suivi de la qualité des eaux usées traitées, voici les valeurs seuils de vérification de la concentration en E. Coli en fonction des niveaux de traitement requis :

Type d'irrigation	Option	Réduction des pathogènes par traitement Unité log	Valeur-seuil E. Coli /100ml	Notes
Sans restriction	A	4	$\leq 10^3$	Légumes racine
	B	3	$\leq 10^4$	Légumes feuille
	C	2	$\leq 10^5$	Goutte à goutte cultures hautes
	D	4	$\leq 10^3$	Goutte à goutte cultures basses
	E	6 – 7	$\leq 1 \text{ à } 10$	Traitement
Avec restriction	F	4	$\leq 10^4$	Agriculture manuelle
	G	3	$\leq 10^5$	Agriculture mécanisée
	H	0,5	$\leq 10^6$	Fosse sceptique

Pour le suivi des autres paramètres, voici deux tableaux présentant la réduction des pathogènes atteignable par diverses mesures de protection

Pathogènes (bactéries, virus, protozoaires)

Mesure	Réduction des pathogènes Unité log	Notes
Traitement des EU	1 – 6	A ajuster en fonction de la combinaison des autres mesures de protection sanitaire.
Irrigation localisée (goutte à goutte)	2	Légumes racine et légumes feuille en contact partiel avec le sol (laitues...).
	4	Légumes tels que la tomate, tels que les parties récoltées ne sont pas en contact avec le sol.
Aspersion avec maîtrise de la dérive des aérosols	1	Micro-sprinklers, sprinklers à secteur dirigés vers l'intérieur des parcelles ou pilotés par anémomètres...
Aspersion avec zone tampon	1	La largeur de la zone tampon doit être de 50 à 100 m.
Décroissance spontanée du nombre de pathogènes	0,5 à 2 /j	Décroissance du nombre de pathogènes observée à la surface des cultures entre la dernière irrigation et la consommation. L'efficacité dépend du climat (température, ensoleillement, humidité), de la durée, du type de culture etc...
Lavage à l'eau	1	Lavage des salades, fruits et légumes à l'eau propre.
Lavage avec une solution désinfectante	2	Lavage des salades, fruits et légumes avec une solution désinfectante faiblement dosée, et rinçage à l'eau propre.
Pelage	2	Pelage des fruits, légumes racine
Cuisson	6 - 7	L'immersion des produits dans une eau bouillante ou proche de l'ébullition, jusqu'à cuisson, assure la destruction des pathogènes.

Œufs d'helminthes

Mesure	Concentration initiale nb/l	Réduction requise Unité log	Valeur seuil nb/l	Notes
Traitement	1000	3	<=1	Traitement à dimensionner en fonction de la concentration dans l'effluent brut
	100	2	<=1	
	10	1	<=1	
	<=1	0	Sans objet	
Traitement + lavage des produits	1000	2	<=1	Traitement + lavage (solution désinfectante + eau claire)
	100	1	<=1	
	10	0	Sans objet	Le lavage suffit
	<=1	0	Sans objet	

Annexe 5 :

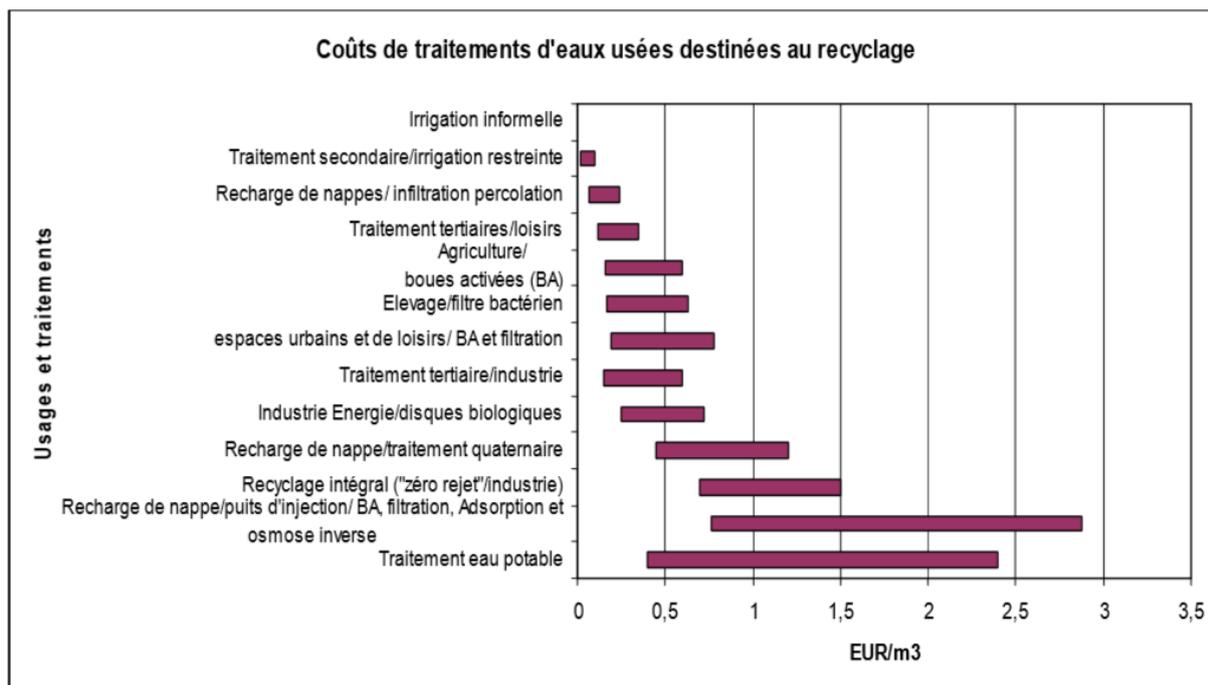
Récapitulatif des modes de réutilisation des EUT et leurs traitements adaptés (ECOSSE, 2001):

Mode de réutilisation	Traitement extensif	Traitement intensif
1. Irrigation des cultures bien définies (arbres fruitiers, forêts, prairies)	E.1. Bassins de stabilisation en série ou lagunes aérées ; marais ; infiltration-percolation	I.1. Traitement secondaire par boues activées ou filtre biologique, avec ou sans désinfection
2. Irrigation de cultures sans restrictions, légumes consommés crus	E.2. Même chose que E.1 avec étapes de désinfection finale réservoirs de stockage	I.2. Même chose que I.1. avec filtration et désinfection
3. Utilisation urbaine pour l'irrigation de parcs, de terrains de sport, de terrains de golf	E.3. Même chose que E.2	I.3. Même chose que I.2. l'étape de filtration est recommandée en cas d'accès libre pour le public
4. Restauration des nappes phréatiques	E.4. Même chose que E.2 et filtration dans le sol vers l'aquifère	I.4. Même chose que I.2. avec élimination des nutriments (si nécessaire)
5. Réseaux doubles pour recyclage des eaux grises en immeubles	E.5. Non applicable	I.5. Même chose que I.3. avec filtration sur membrane et désinfection
6. Utilisation directe ou indirecte dans le réseau d'eau potable	E.6. Non applicable	I.6. Traitement secondaire, tertiaire et quaternaire, avec charbon actif, filtration sur membrane et désinfection poussée

Avantages et inconvénients des techniques extensives/intensives (ECOSSE, 2001):

	Avantages	Inconvénients
<u>Les techniques extensives</u> (lagunage, l'infiltration-percolation, l'infiltration dans les sols et les aquifères, les zones humides)	-adaptées aux conditions climatiques des régions tropicales et subtropicales -faible coût et l'exploitation relativement facile	
<u>Les technologies intensives</u> (filtration, traitement physico-chimiques, membranes) et, en particulier, les procédés avancés de désinfection (chloration, irradiation UV, ozonation)	-compactes -meilleure qualité de l'eau produite -une meilleure protection de l'environnement et de nouvelles applications dans les zones urbaines	-coûteuses

Annexe 6 : Valeurs indicatives minimales et maximales en termes de coût de divers types de traitement des eaux usées.





648 rue Jean-François Breton – BP 44494
34093 MONPELLIER CEDEX 5

Tél. : (33) 4 67 04 71 00

Fax. : (33) 4 67 04 71 01

www.agroparistech.fr



*Office
International
de l'Eau*

15 rue Edouard Chamberland
87065 Limoges Cedex

Tél. (33) 5 55 11 47 80

Fax. (33) 5 55 11 47 48

www.oieau.org