

Guide d'aide à la décision pour la mise en œuvre d'un projet



REUT*

*Réutilisation d'Eaux Usées Traitées

BRL
Ingénierie

©Dronestudio



Installation REUT de Roquefort-de-Corbières (Aude), exploitée par BRL Exploitation

Le présent guide a été élaboré par BRL Ingénierie, dans la continuité de ses activités de recherche et développement dans le domaine de la réutilisation des eaux usées traitées (projet NOWMMA).

Le projet NOWMMA a consisté en un projet collaboratif de recherche et développement consacré à la conception d'une filière modulable adaptée à la réutilisation maîtrisée des eaux usées épurées pour différents usages en France et dans le bassin méditerranéen. Il s'est appuyé sur une première application expérimentale sur le territoire du Pays de l'Or Agglomération, à Mauguio, en Languedoc Roussillon.

Un premier indice du guide (indice A) a été publié en 2017. Le présent guide constitue l'indice B, en ligne directe de l'indice A. Il bénéficie de nombreux retours d'expérience complémentaires, enrichis par quatre années d'expériences d'ingénierie conseil en France et à l'Étranger, ainsi que d'une recherche bibliographique complémentaire permettant d'étoffer les fiches pays.

L'attention des lecteurs est attirée sur le fait que la dernière édition de ce guide date de 2022.

Certaines réglementations ont évolué depuis la date de parution. C'est le cas en France, avec notamment le décret n°2023-085 du 29 août 2023 qui est le prélude à la parution de nouveaux arrêtés pour la REUT en irrigation agricole et arrosage d'espaces verts.

Informations

Projet	New Process for Optimizing Wastewater Reuse from Mauguio to the Mediterranean Area in support of the French Reuse Directive	
Acronyme	NOWMMA	
Durée de réalisation	01/10/2011-30/09/2014	Prolongation 30/09/2015
Lot de tâches	2.	Technologie de distribution et d'irrigation
Livrable	L2.8	Guide d'aide à la décision pour la mise en œuvre d'un projet de Réutilisation d'Eaux Usées Traitées (REUT) – Indice B

Auteurs référents indice A			
Prénom NOM Fonction	Pierre SAVEY <i>Directeur de Projet</i>	Delphine MARTY <i>Chef de Projet</i>	Geoffrey FROMENT <i>Ingénieur spécialisé en REUT</i>
	Sophie MERAT <i>Élève-ingénieur</i>		
Organisme	BRL Ingénierie, France		
Téléphone	+33 466 87 50 00		
Email	Pierre.savey@brl.fr	Delphine.marty@brl.fr	
Date de diffusion indice A	Novembre 2017	Nature du livrable R/P/D	Confidentialité P/Re/Co

Auteurs référents indice B			
Prénom NOM Fonction	Pierre SAVEY <i>Directeur de Projet</i>	Delphine MARTY <i>Chef de Projet</i>	Dominique BAKOUR <i>Ingénieur traitement des eaux</i>
Avec les contributions de : Anthony BLACHE, Sébastien CHAZOT, Prunelle COUTON, Maïlis CROISER, Raphaëlle PECCOUX, Rose DELISEE, Raphaëlle PECCOUX			
Organisme	BRL Ingénierie, France		
Téléphone	+33 466 87 50 00		
Email	Pierre.savey@brl.fr	Delphine.marty@brl.fr	Dominique.bakour@brl.fr
Date de diffusion indice B	Juin 2022	Nature du livrable R/P/D	Confidentialité P/Re/Co

Conception graphique	
Maquette	Stéphanie FISCHER / BRL Ingénierie, France
Illustrations	Ressources graphiques Freepik

Version au 27/07/2022

Table des matières

Informations	4
Table des matières	6
Liste des abréviations	7
Introduction	9
1- La réutilisation des eaux usées traitées (REUT)	10
1.1 Qu'est-ce que la REUT ?	10
1.2 Dans quel contexte hydrique et territorial peut-il être intéressant de faire de la REUT ? Avec quels objectifs ? Avec quels outils pour fonder la décision ?	10
1.3 Quelles utilisations ?	13
1.4 Irrigation agricole : spécificités de la REUT	13
2- Connaissances préalables	15
2.1 Paramètres d'évaluation des risques sanitaires	15
2.1.1 Paramètres physico-chimiques	15
2.1.2 Paramètres bactériologiques	16
2.2 Réglementation	17
2.2.1 Une réglementation variable selon les pays lorsqu'elle existe	17
2.2.2 Des exemples de réglementation	17
3- Traitement	42
3.1 PRE-TRAITEMENT	42
3.2 TRAITEMENT PRIMAIRE	42
3.3 TRAITEMENT SECONDAIRE	42
3.4 TRAITEMENT TERTIAIRE	40
3.4.1 Élimination supplémentaire des MES	42
3.4.2 Élimination spécifique des pathogènes	43
3.4.2.1 Traitement par chloration	43
3.4.2.2 Traitement par ozonation	43
3.4.2.3 Traitement par ultraviolets	44
3.4.2.4 Traitement par infiltration	44
3.4.3 Adapter le traitement et l'utilisation aux eaux usées brutes	45
3.5 Le traitement des eaux usées pas forcément le rempart unique de sécurité	46
4- Viabiliser un projet de REUT	49
4.1 S'informer sur la politique du pays	49
4.2 Définir le but du projet de REUT	50
4.3 Définir le lieu d'implantation du système de REUT et les usages concernés	51
4.4 Identifier les acteurs impliqués dans le projet de REUT	52
4.5 S'informer sur l'acceptabilité sociale	54
4.6 Avertissements pour la conception d'un projet de REUT	54
4.7 Avertissements pour l'exploitation d'un projet de REUT	55
4.8 Aspect financier et économique	55
4.9 Synthèse	56

Table des matières (suite et fin)

5- Freins à la mise en œuvre des projets de REUT	57
5.1 Freins liés à l'encadrement de la REUT	57
5.2 Freins liés à l'organisation	57
5.3 Freins liés à la connaissance sur la REUT	58
5.4 Freins financiers et économiques	58
5.5 Problèmes de qualité d'eau	59
5.6 Problèmes de dimensionnement	59
5.7 Schéma décisionnel	59
6- Exemple d'installation de REUT	61
6.1 Retour d'expérience du projet NOWMMA	61
6.1.1 Filières proposées	61
6.1.2 MODES D'IRRIGATION	68
6.2 UTILISATION DE LA REUT DANS LE MONDE	73
6.2.1 Utilisation d'eaux usées brutes au Ghana	73
6.2.2 Des EUT rendues potables en Namibie	73
6.2.3 REUT pour l'usage industriel en Afrique du Sud	74
6.2.4 REUT pour l'agriculture : Exemple de la Tunisie	74
6.2.5 REUT à visée environnementale : L'exemple de la recharge de nappe naturelle au Mexique et en Italie	75
6.2.6 REUT pour les espaces verts et lieux de divertissement : exemple d'un golf en Australie	75
6.2.7 REUT pour la production et l'économie d'énergie : exemple du Japon	75
6.2.8 REUT et revalorisation des déchets	76
6.2.9 Synthèse des expériences de REUT dans le monde	77
6.2.10 Et la REUT en France ?	78
7- Conclusion	79
8- Données bibliographiques	80
8.1 RÉFÉRENCES GÉNÉRALES	80
8.2 RÉFÉRENCES DES NORMES DES DIFFÉRENTS PAYS ET ORGANISMES	80
8.3 RÉFÉRENCES LIÉS AUX TÂCHES À ACCOMPLIR	81
8.4 RÉFÉRENCES FREINS LIÉS À LA REUT	81
Remerciements	81

Liste des abréviations

- ANSES** : Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
- AOX** : Composés organo-halogénés adsorbables
- Asp** : Aspersion
- COT** : Carbone Organique Total
- Cu** : Coefficient d'uniformité
- DALY** : Année de vie corrigée de l'incapacité
- DBO** : Demande Biologique en Oxygène
- DBO5** : Demande Biologique en Oxygène à 5 jours
- DCO** : Demande Chimique en Oxygène
- DGCIS** : Direction générale de la compétitivité de l'industrie et des services
- ECO** : Economique (englobe toutes les activités humaines d'un projet)
- EPA** : U.S. Environmental Protection Agency
- ETP** : Evapotranspiration potentielle
- EUT** : Eaux Usées Traitées
- FAO** : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
- FaS** : Filtre à sable
- FIN** : Finance (représente les ressources nécessaires à la réalisation d'un projet économique)
- GaG** : Goutte à goutte
- HAA** : Acides haloacétiques
- HAN** : Haloacetonitriles
- Kc** : Coefficient cultural
- MF** : Microfiltration
- MES** : Matières en suspension
- NF** : Nanofiltration
- NFU** : Nephelometric Formazin Unit
- NOWMMA** : New process for Optimizing Wastewater Reuse from Mauguio to the Mediterranean area
- NPP** : Nombre le Plus Probable
- NTU** : Nephelometric Turbidity Unit
- OI** : Osmose Inverse
- OMS** : Organisation Mondiale de la Santé (ou en anglais World Health Organisation (WHO))
- QMRA** : Evaluation quantitative des risques microbiens (en anglais Quantitative Microbial Risk Assessment)
- REUT** : Réutilisation des Eaux Usées Traitées (ou en anglais REUSE)
- RFU** : Réserve Facilement Utilisable
- RU** : Réserve Utile
- SPD** : Sous-Produits de Désinfection
- STEU** : Station de Traitement des Eaux Usées (ou station d'épuration (STEP))

Liste des abréviations (suite et fin)

THM : Trihalométhanes

TOX : Composés organo-halogénés totaux

UF : Ultrafiltration

UFC : Unité Formant Colonie

UV : Ultraviolet



Installation REUT de Roquefort-de-Corbières (Aude), exploitée par BRL Exploitation

Introduction

La réutilisation des eaux usées traitées (REUT) est un sujet d'actualité qui suscite de nombreux appels à projet dans le monde depuis des décennies. Cependant, l'utilisation pour des usages spécifiques ou multiples des eaux usées traitées (EUT), ressources non conventionnelles, reste mineure en France (hormis quelques projets emblématiques comme à Clermont-Ferrand, à Noirmoutier, etc.), contrairement à d'autres pays.

Depuis 2010, la mise en place et l'évolution de la réglementation française, ou encore la formation de comités de travail d'envergure nationale témoignent pourtant du dynamisme autour de cette thématique qui mobilise les énergies d'acteurs multiples, tels que les industriels, bureaux d'études ou chercheurs. Cette dynamique pourrait permettre à la REUT de percer en France. Sans attendre cette confirmation, les travaux de recherche effectués dans le cadre du projet NOWMMA ont permis l'élaboration de ce guide, qui s'adresse avant tout à un public œuvrant dans le périmètre géographique de l'arc méditerranéen.

Au regard des avancées en matière de REUT, ce rapport présente une mise à jour du guide NOWMMA en intégrant :

- Des compléments d'informations sur la réglementation à l'échelle européenne et au niveau de certains pays,
- La présentation de projets emblématiques de REUT.

La mise en place d'un projet de REUT est une démarche particulière qui associe un nombre important d'acteurs pluridisciplinaires, qui sont confrontés aux spécificités liées à l'utilisation des EUT et à des mécanismes complexes dans le montage de projet.

Ce guide, issu essentiellement des études des tâches 2 et 1 du projet NOWMMA, et dans une moindre mesure les autres tâches, a pour objectif :

- D'être un guide d'aide à la décision pour la mise en œuvre d'un projet REUT ;
- De proposer au lecteur des connaissances préalables et générales sur la réutilisation des eaux usées (REUT).

La bonne compréhension du cadre et de la portée de ce document est un facteur essentiel à sa lecture. Tout d'abord, celui-ci n'a pas vocation à être un manuel technique de conception et de dimensionnement d'installations de REUT. Ce document a été élaboré avec la volonté de proposer un guide à visée informative à destination du maître d'ouvrage d'un futur projet de REUT ou de toute personne ayant la volonté de s'impliquer ou d'impulser la mise en œuvre d'un projet de REUT. La portée de ce document ne dépasse donc pas l'information et l'aide à la prise de décision.

Ce guide a pour but de permettre à son lecteur d'assimiler les enjeux, freins et limites de la REUT dans leur ensemble. Il permettra aussi à celui-ci d'être au fait des différentes spécificités liées à la REUT, du montage du projet à l'exploitation des futures installations, afin de rendre la mise en œuvre du projet la plus efficace possible. Les diverses informations recueillies dans ce guide permettront au lecteur de développer son regard critique sur les différentes options qui pourront lui être proposées en lui fournissant une base de connaissances.

La REUT étant un sujet en perpétuelle évolution, les éléments cités dans ce document ne forment pas une liste exhaustive des connaissances sur la REUT, mais un point d'état de la REUT au moment de la rédaction du document. En ce sens, cette nouvelle version du guide aura la possibilité d'être enrichie ou amendée par ses auteurs, suivant les avancées sur la thématique de la REUT.

1- La réutilisation des eaux usées traitées (REUT)

1.1 Qu'est-ce que la REUT ?

L'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES) définit la REUT comme l'étape finale d'un processus qui commence à partir de la collecte des eaux usées, se poursuit par une opération de traitement en vue de l'épuration de ces eaux jusqu'à leur stockage avant réutilisation. Cette dernière étape peut cependant être complétée par des traitements tertiaires divers en fonction des usages aval permettant une amélioration de la qualité de l'eau.

La réutilisation des eaux usées traitées (REUT) est une pratique qui vise à donner une seconde vie aux EUT rejetées par les stations de traitement. La REUT consiste donc en l'utilisation d'une ressource en eau non conventionnelle qui se trouve être les eaux en sortie de station de traitement des eaux usées (STEU).

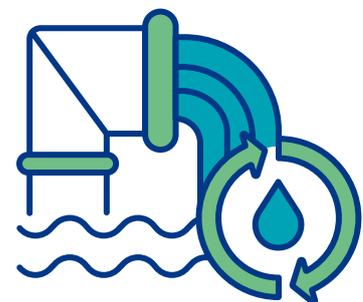
Cette ressource dont la qualité est variable en fonction du type de de traitement de la STEU est améliorée par la mise en place de traitements tertiaires plus ou moins performants en fonction des exigences sanitaires de réutilisation, elles-mêmes dépendantes de la nature du besoin à satisfaire. Il s'agit donc souvent d'une opération finale de filtration et de désinfection plus ou moins stricte selon les usages.

1.2 Dans quel contexte hydrique et territorial peut-il être intéressant de faire de la REUT ? Avec quels objectifs ? Avec quels outils pour fonder la décision ?

L'irrigation agricole exerce une pression importante sur les réserves en eau douce de la planète. Dans les pays en situation de stress hydrique, il peut être désormais vital de se tourner localement vers des ressources non conventionnelles comme les eaux usées traitées (EUT).

La croissance démographique générale, les modifications à grande échelle des régimes alimentaires, le développement industriel... entraînent une utilisation de plus en plus massive de la ressource en eau, que ce soit pour la production d'eau potable, pour l'irrigation des cultures ou pour des procédés de production de matière ou d'énergie. L'exode des populations rurales vers les villes a pour effet d'augmenter les volumes d'eau à traiter et rejetés vers le milieu naturel, la plupart du temps sous une forme plus polluée. Cette augmentation quantitative de la demande en eau intervient alors que l'accès à la ressource se raréfie, et que la problématique de protection de l'environnement se généralise.

Ainsi, la première motivation pour la REUT sera le plus souvent le besoin de trouver une alternative à la ressource en eau douce naturelle qui subit de plus en plus de pression jusqu'à engendrer des pénuries. De façon chiffrée, on note une diminution mondiale de la moyenne annuelle en eau renouvelable par habitant, qui devrait passer de 6 600 m³ en 2000 à 4 800 m³ en 2025¹. Les premiers pays touchés seront les pays actuellement en stress hydrique, ce qui est le cas pour la majorité des pays du bassin méditerranéen, cible du projet NOWMMA. Parallèlement, la croissance démographique nécessite une augmentation de la production agricole mais engendre également une production plus importante d'eaux usées. Il est estimé que l'agriculture représente 70% à 80% des prélèvements en eau douce dans le monde². L'association de tous ces facteurs constitue un faisceau convergent d'arguments qui militent globalement pour l'utilisation de la REUT.



- 1 C. BOUTIN, A. HEDUIT, J.M HELMER. Technologie d'épuration en vue d'une réutilisation des eaux usées traitées (REUT) Rapport final de l'action 28 : Réutilisation des eaux traitées dans le cadre de la convention de partenariat ONEMA-CEMAGREF 2008. Novembre 2009. 100p.
- 2 ORGANISME MONDIAL DE LA SANTE Directives OMS pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères (Volume II Utilisation des eaux usées en agriculture). OMS. 225p. ISBN 978-92-4-254683-5

Sur le plan économique, la REUT peut offrir l'opportunité pour un pays ou un territoire de développer sa production agricole avec des conséquences moindres sur ses ressources naturelles. Sur le plan financier, la REUT est généralement peu compétitive par rapport aux eaux dites conventionnelles. Toutefois, dans les régions où les ressources en eau douce sont rares et coûteuses à exploiter, et où les autres technologies d'apport de ressources comme le dessalement ont un coût important, la REUT peut être compétitive au niveau du prix de revient de production de l'eau.

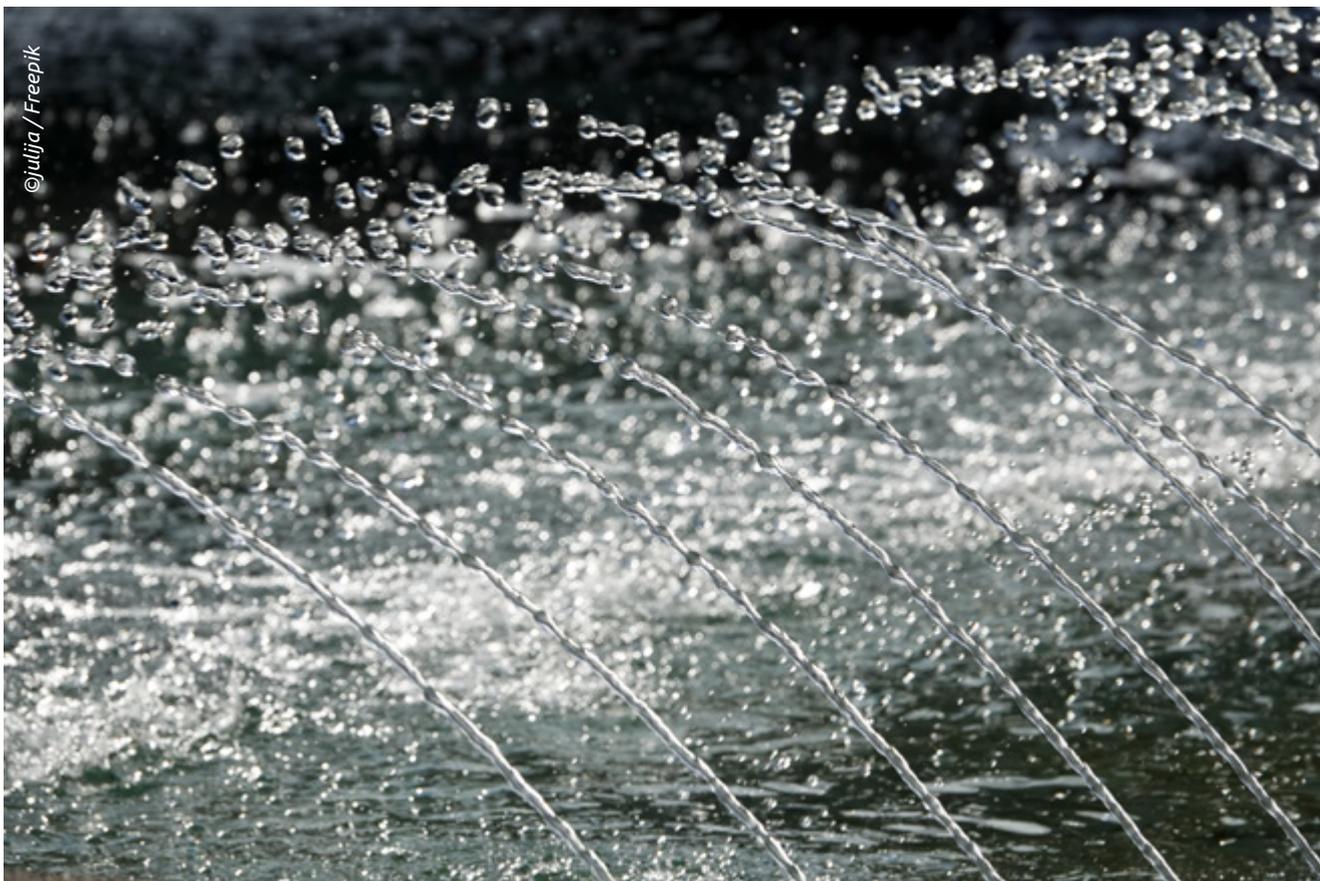
Ceci posé, la pertinence du recours à la REUT pour un territoire donné doit être estimée plus précisément en analysant finement son contexte hydrique. Par exemple, le rejet d'une STEU dans un cours d'eau situé en amont d'un bassin versant constitue une réutilisation indirecte en apportant un soutien d'étiage qui pourra s'avérer non négligeable pour le cours d'eau lui-même et/ou des usages situés plus en aval. Dans ce cas, une réutilisation directe des EUT ne sera pas toujours pertinente. Cette situation se retrouve par exemple pour de nombreux cours d'eau du littoral méditerranéen qui souffrent d'un déficit en eau et où les EUT qui y sont rejetées ne sont pas considérées comme une ressource « perdue ». Dans d'autres cas, en particulier quand les EUT sont rejetées en mer ou dans un milieu récepteur continental avec peu d'enjeux d'écoulement de surface permanents, la REUT directe peut être pertinente par rapport à d'autres scénarios d'allocation de ressources en eau.

Dans ce cas, la REUT pourra permettre le développement d'usages de l'eau, via l'apport d'une nouvelle ressource. Mais elle pourra aussi permettre une nouvelle répartition des types de ressources en eau en fonction du niveau d'exigence des usages en termes de qualité. Par exemple, le choix pourra être fait d'utiliser les EUT pour la production agricole dans des périmètres irrigués déjà existants afin de préserver, pour des usages tels que l'alimentation en eau potable, les eaux douces anciennement utilisées dans ces périmètres. Ce report d'usage pourra éviter de prélever plus de ressources en eau douce tout en répondant à une demande en eau croissante. Cette approche montre l'intérêt de situer les EUT au regard du mix global des ressources en eau d'un territoire.

Pour cela, il sera utile d'élaborer des outils intégrateurs tels que des bilans hydriques incluant l'ensemble des ressources et des usages, des approches territoriales (compréhension du contexte socio-économique et de son évolution) et des approches économiques telle que des **Analyses Coûts Bénéfices** afin de prendre en compte les externalités négatives et positives de la REUT et de comparer entre eux différents scénarios d'allocation de ressources en eau. Une telle approche globale a par exemple été adoptée par BRLi à l'échelle de l'ensemble des territoires de la Tunisie. Elle a permis de montrer, entre autres, l'intérêt qu'il pourrait y avoir à substituer des eaux douces provenant des barrages du Nord du pays et utilisées dans des périmètres irrigués existants par les EUT de l'agglomération de Tunis, actuellement rejetées en mer et sources de pollution. La dimension du territoire sur laquelle une approche systémique peut être conduite, en approche multidisciplinaire intégrant les aspects techniques et socio-environnementaux, est à adapter en fonction de la taille du projet et de son poids hydrique relatif par rapport aux autres ressources en eau présentes sur le territoire.

Parallèlement aux démarches intégrées qui s'inscrivent dans la durée, mentionnons que des projets relevant plus d'opportunités locales, mettant directement en relation un besoin exprimé avec un gisement d'EUT disponible dans un temps réduit, pourront se contenter d'études moins approfondies que sur des projets d'envergure, mais toujours sans compromis sur le respect réglementaire et sanitaire.

Un autre type de démarche, assez fréquent, se situe dans le cadre de régularisation de situations de réutilisation indirecte. Dans ce type de cas de figure, il convient de mesurer les impacts positifs et négatifs du maintien de la réutilisation indirecte (en prenant bien en compte le « coût de l'inaction »), quand bien même elle ne serait pas en ligne avec un cadre réglementaire qui aurait évolué pour les projets neufs, et de mesurer de façon symétrique les impacts en projetant une mise en conformité avec la réglementation. Dans une telle démarche, on a pu montrer sur le projet de REUT de La Paz, en Bolivie (cas de réutilisation indirecte en situation actuelle sans traitement, mais par dilution), la prépondérance des facteurs sociaux (difficiles à monétariser, ce qui rend l'approche ACB délicate) pour orienter la décision, entre le maintien d'une réutilisation indirecte mais avec traitement, et l'évolution vers une réutilisation directe avec traitement. Les outils de type « **analyse multicritères** » paraissent bien adaptés pour guider le donneur d'ordres dans la décision finale.



La REUT permettra de remplir des objectifs quantitatifs avec l'apport d'une nouvelle ressource en eau, mais aussi qualitatifs en limitant l'impact des rejets des STEU sur le milieu naturel. Mais au-delà d'offrir une ressource en eau régulière, la REUT permet aussi de restituer une ressource en eau de bonne qualité. En effet, le traitement tertiaire ou complémentaire adapté à l'usage en état de bon fonctionnement, permet de garantir une qualité d'eau apte aux usages, de bonne qualité, voire de meilleure qualité que celle du milieu naturel de la ressource originelle (l'objectif qualitatif étant paramétrable). A ce titre, notons l'apport que pourront apporter les approches de type **Analyse de Cycle de Vie** dans le fondement d'une décision d'utilisation d'une EUT en substitution, d'un point de vue environnemental.

On voit donc que le questionnement sur l'opportunité de mettre en œuvre un projet de REUT peut s'apprécier selon différents prismes, essentiellement liés à l'échelle de la réflexion conduite, et que différents outils, tels que les analyses multicritères classiques, mais aussi les ACB ou les ACV, peuvent être utilisés pour fonder la décision de mise en œuvre. Mais dans de très nombreux cas, eu égard à l'exposition de nombreuses parties prenantes couvrant toutes les states de la Société et du tissu économique, la décision de recourir à la mise en œuvre d'un projet de REUT sera prise à un niveau politique (même localement). Il convient donc de définir en amont avec les décideurs finaux la méthode qui sera employée et les outils qui seront utilisés.

1.3 Quelles utilisations ?

On remarquera que dans la plupart des projets, même si l'objectif quantitatif reste la priorité, l'objectif qualitatif est souvent associé et permet la sauvegarde d'espaces naturels, ou de nappes phréatiques. Dans certains cas, les projets de REUT sont motivés par la protection d'un environnement fortement soumis à la pression touristique.

D'autres intérêts permettent le développement de projets de REUT en particulier pour l'irrigation agricole. En effet, la nature de l'eau issue d'une filière de REUT offre une possibilité d'apport de nutriments à la culture, qui vient en déduction de fertilisants. Cet intérêt doit cependant être nuancé car d'autres éléments nocifs pour les cultures et les sols peuvent être apportés si la REUT n'est pas maîtrisée.

Certaines utilisations de l'eau, telles que l'irrigation de certaines cultures ou d'espaces verts, le lavage de voiries, ne nécessitent pas obligatoirement l'utilisation d'une eau de très bonne qualité. La réutilisation des eaux usées traitées vient alors se positionner comme une solution technique alternative permettant de réduire la pression exercée sur la ressource naturelle en eau douce.

La liste non exhaustive des usages les plus fréquents est présentée ci-dessous :

- Irrigation agricole
- Arrosage d'espaces verts (publics, golf, etc.)
- Lavage de voiries
- Rechargement de nappes
- Refroidissement ou eau de process dans l'industrie
- Etc.

L'irrigation agricole constitue la principale et la plus ancienne finalité pour la réutilisation des eaux usées.

1.4 Irrigation agricole : spécificités de la REUT

L'irrigation agricole est l'usage le plus ancien de réutilisation des eaux usées. En effet, les eaux usées domestiques ont été utilisées soit directement soit plus ou moins diluées, depuis des siècles, à des fins d'irrigation dans différentes zones pauvres en ressources en eau, Maghreb, Proche et Moyen Orient, Asie du Sud (en particulier Inde). Ce type d'usage est encore très répandu et entraîne des problèmes parfois aigus de santé publique. En France, l'exemple emblématique a été celui des épandages dits «d'Achères». Il s'agit d'arrosages par des effluents urbains peu ou pas traités qui ont commencé, il y a plus de 150 ans, à l'époque du baron Haussmann³.

À l'origine n'étant qu'un épandage des eaux usées brutes et une technique alternative d'assainissement, la réutilisation des eaux usées est aujourd'hui plus élaborée, notamment lorsqu'elle intègre un traitement tertiaire (on parle alors d'eaux usées traitées, ou EUT, qui fait l'objet de ce livrable). Cependant l'évolution et l'utilisation des matériels d'irrigation pose certaines questions vis-à-vis de l'utilisation d'EUT.

Deux types de questionnement se posent pour chaque type d'irrigation : l'un concernant les modalités d'exploitation vis-à-vis du risque sanitaire et l'autre concernant les contraintes de maintenance du matériel.

D'une façon générale, il existe plusieurs types d'irrigation :

- **Par submersion** : L'eau parcourt en surface la parcelle à irriguer, soit au moyen d'un tracé défini (à la raie) soit dans le but de recouvrir une bonne partie de la surface.
- **Par aspersion** : le principe de ce type d'irrigation est de reproduire la pluie de manière artificielle par distribution aérienne de l'eau.
- **Par irrigation localisée** : l'eau est distribuée à la culture de manière localisée sur une portion du sol au moyen de gaines de faible diamètre.

3 J. Dunglas - La réutilisation des eaux usées - Groupe Eau - note de travail n°5 - 2014 - Académie d'agriculture de France

Les EUT ont une composition différente des eaux habituellement utilisées en agriculture par la présence plus importante d'éléments nutritifs pour les plantes, mais aussi, théoriquement, par rapport aux risques vis-à-vis de la contamination de celles-ci (risque phytopathogène⁴). Ainsi, il convient d'effectuer des mesures régulières sur la qualité d'eau utilisée.

Les différents seuils de risques évoluent en fonction des réglementations de chaque pays, présentées dans la partie suivante. Il est intéressant de noter que l'évaluation des risques sanitaires encourus par les irrigants, les riverains et les consommateurs des productions agricoles en terme de contact avec les EUT est fonction du type d'irrigation.

L'irrigation par submersion implique le recouvrement d'une partie ou de la totalité du sol avec l'eau. Les irrigants sont donc en contact direct et fréquent avec l'eau. Il peut arriver qu'il y ait certaines zones d'eau stagnante ce qui représente un risque sanitaire élevé associé à ce type d'eau. Il n'y a pas de conséquences de l'EUT sur le matériel d'irrigation étant donné que l'eau est simplement apportée sur site et celle-ci ruisselle sur le sol. L'apport d'eau par cette technique est souvent mal maîtrisé et le surplus d'eau a tendance à percoler en dessous des zones racinaires, ou à retourner au milieu naturel superficiel via les fossés de colature. Dans le cas des EUT, l'utilisation de ce type d'irrigation peut avoir pour conséquence un apport trop important de certains éléments pour le sol (comme le sel ou des polluants) qui peuvent être néfastes à la fois pour la culture et pour le sol.

L'irrigation par aspersion est une technique d'irrigation très répandue. Dans le cas d'une utilisation de celle-ci avec des EUT, un problème se pose au niveau de la dérive des asperseurs. La dérive est le phénomène de modification de trajectoire des gouttes d'eau subissant l'effet du vent. Ainsi il y a un risque de contaminer des personnes en bordure des parcelles si le vent est suffisamment fort. Des recherches depuis de nombreuses années ont été réalisées sur le sujet (y compris dans le projet NOWMMA) pour caractériser la dérive en fonction des conditions climatiques et d'exploitation des asperseurs.

Le dernier type, l'irrigation localisée, est le seul type d'irrigation limitant au maximum le contact entre les usagers et l'eau. En contrepartie, pour distribuer la ressource de manière localisée, cette technologie d'irrigation, qui peut être enterrée, utilise des réseaux de tuyaux et des émetteurs (goutteurs, mini-diffuseurs, micro-jets...) de très faibles diamètres qui sont sensibles au colmatage. Les EUT contiennent la plupart du temps une concentration plus importante de matières en suspension que des eaux classiques, et nécessitent un niveau de traitement adéquat. Ce type d'irrigation présente la plus grande sécurité sanitaire vis-à-vis de l'utilisation des EUT, mais est la plus coûteuse sur le plan de l'acheminement et de la distribution.

A noter que le choix du type d'irrigation est influencé par de nombreux paramètres, tels que la topographie, la nature du sol, les conditions météorologiques, le coût maximal par hectare admissible de l'installation, le savoir-faire des agriculteurs, et la culture à irriguer.

⁴ Risque théorique à nuancer car l'étude bibliographique faite sur le sujet dans le cadre de NOWMMA a montré que ce risque n'a jamais été établi dans la littérature.

2- Connaissances préalables

2.1 Paramètres d'évaluation des risques sanitaires

Les risques sanitaires sont évalués par le contrôle et l'analyse de nombreux paramètres de qualité d'eau. Cette partie présente les principaux paramètres suivis permettant une maîtrise et un suivi des risques sanitaires. Les paramètres minimaux à suivre sont pour la plupart du temps déterminés par la réglementation en vigueur, cependant il peut être pertinent d'aller au-delà de cette réglementation afin de parfaire les connaissances sur la REUT (collecter un maximum de données, comprendre les phénomènes, etc.), et de prendre en compte les polluants émergents tels que les perturbateurs endocriniens...

2.1.1 Paramètres physico-chimiques

Température = une diminution de la température impacte l'efficacité des traitements biologiques et des vitesses de filtration (cas des membranes uniquement). A l'inverse, une augmentation de la température entraîne une croissance bactérienne et de la corrosion (production d'H₂S notamment).

pH = indique le degré d'acidité ou d'alcalinité de l'eau.

Turbidité = mesure globale de l'ensemble des particules en suspension dans l'eau capable de réfléchir un faisceau lumineux : algues, argiles, limons, particules organiques, etc.

→ *Références :*

Type	Valeur référence
Eaux souterraines	Peu de particules et turbidité < 1 NFU
Eaux de surface	2 NFU < T < 100 NFU
Bassins versants fortement érodés	Jusqu'à 10 000 NFU

Conductivité = mesure en $\mu\text{S}/\text{cm}$ ou mS/cm de la conductivité électrique de l'eau. Ce paramètre permet d'apprécier la concentration en sels dans l'eau. Plus l'eau présente une salinité forte, plus l'eau a une conductivité élevée.

→ *Référence :*

- eau potable (arrêté du 11/01/07) = 200 à 1 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (à 25°C)
- eau irrigation (FAO – bonnes pratiques d'irrigation) = 700 à 3 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (à 25°C)

Matières en suspension (MES) = fines particules qui donnent un aspect trouble comme le sable, l'argile, les micro-organismes, etc.

Demande chimique en oxygène (DCO) = quantité d'oxygène consommée par les matières oxydantes présentes dans l'eau, quelles que soient leurs origines organiques ou minérales. La DCO donne une mesure globale des matières organiques et de certains sels minéraux oxydables (pollution organique).

Carbone organique total (COT) = Quantité totale de matière organique incluant le carbone organique dissous et le carbone organique particulaire dans l'eau. Le COT donne des informations sur la charge organique d'une eau (organique naturelle ou entropique : industrielle ou agricole). Il est un indicateur permettant le suivi de la pollution organique.

2.1.2 Paramètres bactériologiques

Coliformes totaux = famille de bactéries dont un grand nombre est indicateur de contaminations fécales. Les coliformes totaux ne sont pas uniquement issus des matières fécales mais peuvent aussi se développer dans les milieux naturels.

Coliformes fécaux ou thermotolérants = Part fécale des coliformes totaux. La présence de ces coliformes est indicatrice d'une pollution d'origine fécale.

Escherichia coli = Bactérie issue de la famille des coliformes fécaux, indicatrice de contaminations fécales récentes.

Entérocoques fécaux = bactéries indicatrices de contaminations fécales. Elles peuvent survivre plus longtemps dans les milieux naturels que les coliformes totaux et les E. Coli. Elles témoignent de contaminations fécales anciennes. Très résistantes, elles ont une grande capacité de développement.

Flore totale = représente les microorganismes présents dans l'eau. Une forte flore totale est indicatrice d'une présence importante de biofilm dans les canalisations. Le développement de biofilm augmente le risque de colmatage et de développement bactérien.

Bactériophages ARN F-spécifiques = Les bactériophages ARN F-spécifiques sont des virus qui infectent Escherichia coli et possèdent une structure et une taille comparables à celles des principaux virus entériques pathogènes. Ils sont proposés comme indicateurs de pollution fécale du milieu hydrique, comme modèles du comportement des virus pathogènes dans l'environnement et comme outil de discrimination de l'origine de la pollution fécale.

Spores de bactéries anaérobies sulfite-réductrices = de forme en spore, indicatrices de l'efficacité de la désinfection d'une filière de traitement car plus résistantes que les coliformes totaux et les E. Coli. Pas seulement d'origine fécale.

Œufs d'helminthes = œufs de parasites conduisant à des maladies parasitaires animales et humaines qui peuvent être transmises à l'homme lors d'un contact direct avec les eaux usées ou indirectement par la consommation de produits contenant des œufs.



©vectorjuice/ Freepik

2.2 Réglementation

2.2.1 Une réglementation variable selon les pays lorsqu'elle existe

Il n'existe pas de réglementation unique internationale définissant, pour un usage donné, une technologie de traitement à mettre en œuvre.

Le cadre réglementaire, lorsqu'il existe, est propre au pays et peut même être différent à l'intérieur d'un même pays : exemple, les Etats-Unis qui ont des réglementations différentes par Etat. Il impose une qualité d'eau dépendante de l'usage final de celle-ci afin de protéger les exploitants et les usagers. La réglementation diffère selon les pays. Pour certains pays, il n'existe pas de cadre réglementaire et dans ce cas, ils s'appuient alors sur des réglementations déjà établies par d'autres pays ou encore celle de l'OMS.

Les tableaux ci-après ont pour but de mettre en évidence cette variabilité de la réglementation liée à la réutilisation eaux usées traitées, en regroupant de façon globale des zones géographiques :

- Paramètres de caractérisation de la qualité microbiologique différents en fonction des pays,
- Différences entre les usages réglementés.

Caractérisation de la qualité microbiologique en fonction des pays

Zone géographique, pays ou organisme	Qualité la plus exigeante en Coliformes fécaux ou E. coli	Commentaires
OMS (2012)	-	Pas de valeur de concentration en E. coli mais objectif de 10-6 DALY par personne et par an soit une réduction des agents pathogènes jusqu'à 7 logs
Europe	10 unités/100 mL en E. coli	
Chypre	De 15 à 100 unités/100 mL en coliformes fécaux selon usage	
Espagne	De 0 à 200 unités/100 mL en E.coli en fonction des usages	
USA	De 14 à 75 unités/100 mL en coliformes fécaux selon les états	Certains états n'ont pas de valeur sur ce paramètre coliformes fécaux ou E. coli mais ont des valeurs en coliformes totaux
Israël	-	A une valeur en coliformes totaux (12 unités/100 ml (80 %) 2.2 unités/100 ml (50 %))
Chine	20 000 unités/100 mL en coliformes fécaux	
Tunisie	-	Pas d'exigences sur ces paramètres dans la norme NT 106.03

2.2.2 Des exemples de réglementation

Ci-après sont recensées les principales réglementations.

Directives pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères (1/5)

Les directives de l'OMS pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères (édition 2006) recommandent la prise en compte des éléments suivants pour l'élaboration des réglementations nationales concernant la réutilisation des eaux usées traitées :

- **L'identification des dangers** liés à la réutilisation des eaux usées traitées ;
- La production d'éléments factuels concernant les **risques sanitaires et l'efficacité des mesures de protection sanitaire** pouvant permettre de les gérer ;
- La **fixation d'objectifs liés à la santé** pour gérer les risques sanitaires ;
- La **mise en œuvre de mesures de protection sanitaire** pour réaliser les objectifs liés à la santé ;
- L'évaluation et la surveillance du système.

Cette approche pragmatique propose la **définition d'objectifs liés à la santé et à l'évaluation des risques sanitaires consécutifs à la réutilisation des eaux usées**. Elle diffère d'une approche normative basée uniquement sur des seuils à respecter. Ainsi, les objectifs ne sont pas pris comme des valeurs absolues, mais plus exactement comme des objectifs à atteindre à court, moyen et long terme, selon les capacités techniques du pays et ses conditions institutionnelles et économiques. Selon cette approche, on peut noter les points suivants :

- L'évaluation quantitative des risques microbiens (QMRA) est réalisée en prenant en compte la transmission des infections résultant de diverses expositions pour les consommateurs des produits issus de la REUT, les travailleurs agricoles et leurs familles et la population proche des zones de réutilisation et ce pour différents dangers et différentes expositions.
- Les mesures de protection sanitaire applicables pour atteindre l'objectif lié à la santé d'un fardeau tolérable de maladie sont définies pour différentes combinaisons de pratiques culturelles et du niveau de traitement pour la réduction de la charge biologique.
- En ce qui concerne les dangers chimiques, des concentrations maximales tolérables dans le sol pour divers produits chimiques toxiques sont fixées sur la base de l'évaluation des risques sanitaires ayant pour objectif la protection de la santé humaine.

Directives pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères (2/5)

L'OMS a publié en 2012 des directives pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères. Dans ces directives OMS pour l'utilisation des eaux usées en agriculture (volume II des directives) :

- L'objectif lié à la santé adopté est que la charge de morbidité supplémentaire soit inférieure ou égale à la valeur tolérable de 10-6 DALY par personne et par an.
- Une méthodologie étape par étape est proposée (si on dispose de données épidémiologiques nombreuses et fiables telles que sur les agents pathogènes que sont rotavirus, Campylobacter et Cryptosporidium) :
 - ✓ Étape 1 : risque d'infection tolérable,
 - ✓ Étape 2 : QMRA,
 - ✓ Étape 3 : réduction nécessaire des agents pathogènes,
 - ✓ Étape 4 : mesures de protection sanitaire pour obtenir la réduction des agents pathogènes nécessaire,
 - ✓ Étape 5 : surveillance/vérification,
- Pour les œufs d'helminthes, les données épidémiologiques nombreuses et fiables n'étant pas suffisantes, il a été utilisé une méthodologie différente de celle-ci-avant mais basée quand même sur des études épidémiologiques et des études sur le terrain.

Dans le volume II Utilisations des eaux usées en agriculture, l'OMS montre les effets de l'utilisation d'eaux usées sur les sols, les cultures et le bétail en fonction de différents paramètres physico-chimiques. Entre autres, des eaux usées contenant :

- Une DBO5 de 110-400 mg/L sera bénéfique pour le sol sur plusieurs points et la productivité
- Une matière solide en suspension > 100 mg/L sera problématique pour l'efficacité de l'irrigation
- Une conductivité > 3 dS/m engendrera des problèmes de salinisation
- Un pH de 7- 7,4 n'aura pas d'effet (en dehors de la plage de 6,5 et 8,5 il peut y avoir risque de solubilisation de métaux selon l'alcalinité du sol)

Les directives différencient les types d'irrigation et les types de cultures.

Directives pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères (3/5)

Tableau des directives volume II :

Objectifs liés à la santé pour l'utilisation d'eaux usées traitées en agriculture

Scénario d'exposition	Objectif lié à la santé (DALY par personne et par an)	Log10 de la réduction des agents pathogènes nécessaire ^a	Nombre d'œufs d'helminthes par litre
Irrigation sans restriction	$\leq 10^{-6}$ ^a		
Laitues		6	$\leq 1^{bc}$
Oignons		7	$\leq 1^{bc}$
Irrigation restreinte	$\leq 10^{-6}$ ^a		
Agriculture fortement mécanisée		3	$\leq 1^{bc}$
Agriculture à forte intensité de main d'œuvre		4	$\leq 1^{bc}$
Irrigation localisée (par goutte-à-goutte)	$\leq 10^{-6}$ ^a		
Cultures de grande hauteur		2	Pas de recommandations ^{d,e}
Cultures de faible hauteur		4	$\leq 1^{bc}$

^a Réduction des rotavirus. Dans le cas d'une irrigation sans restriction ou localisée, il est possible de réaliser l'objectif lié à la santé par une réduction des agents pathogènes de 6-7 unités logarithmiques (obtenue par une combinaison de traitements des eaux usées et d'autres mesures de protection sanitaire, y compris une réduction estimée à 3-4 unités logarithmiques due au dépérissement naturel des agents pathogènes dans les conditions de terrain et de l'élimination de ces agents des cultures irriguées par les opérations de lavage et de rinçage domestiques habituelles ; voir partie 4.2.1 (des directives volume II) pour plus de détails ; dans le cas d'une irrigation restreinte, cet objectif est atteint par une réduction des agents pathogènes de 2-3 unités logarithmiques (partie 4.2.2 des (directives volume II)).

^b Dans le cas où des enfants de moins de 15 ans sont exposés, il convient d'appliquer des mesures de protection sanitaire supplémentaires (par exemple un traitement de l'eau jusqu'à obtenir $\leq 0,1$ œuf par litre, des équipements de protection tels que gants, chaussures ou bottes, ou encore une chimiothérapie ; voir parties 4.2.1 et 4.2.2 (des directive volume II) pour plus de détails).

^c Il convient de déterminer la moyenne arithmétique sur l'ensemble de la saison d'irrigation. Il faut obtenir une valeur moyenne ≤ 1 œuf par litre pour au moins 90 % des échantillons afin qu'occasionnellement certains échantillons puissent atteindre des valeurs élevées (c'est-à-dire > 10 œufs/litre). Avec certains procédés de traitement des eaux usées (bassins de stabilisation, par exemple), il est possible d'utiliser le temps de séjour hydraulique comme variable de remplacement pour s'assurer du respect de la condition ≤ 1 œuf/litre, comme expliqué dans la partie 5.6.1 (des directive volume II) et dans l'Encadré 5.2 (des directive volume II).

^d Voir partie 4.2.3 (des directive volume II).

^e Aucune culture ne doit être ramassée au sol.

En ce qui concernent les agents pathogènes, les directives précisent qu'il est possible d'obtenir une réduction des agents pathogènes de 6-7 unités logarithmiques en appliquant des mesures de protection sanitaire combinées appropriées, dont chacune est associée à une réduction ou à une plage de réduction en unités logarithmiques.

Directives pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères (4/5)

Tableau des directives volume II :

Réductions des agents pathogènes réalisables par diverses mesures de protection sanitaire

Mesure de lutte contre les agents pathogènes ^a	Réduction des agents pathogènes (unités logarithmiques)	Notes
Traitement des eaux usées	1-6	La réduction des agents pathogènes devant être obtenue par le traitement des eaux usées dépend de la combinaison de mesures de protection sanitaire choisie (comme l'indique la Figure 4.1 (des directives volume II) ; les réductions des agents pathogènes obtenues pour différentes options de traitement des eaux usées sont présentées au chapitre 5 (des directives volume II))
Irrigation localisée (par goutte-à-goutte) (cultures de faible hauteur)	2	Cultures racines et cultures qui, comme les laitues, poussent juste au-dessus du sol et partiellement en contact avec lui
Irrigation localisée (par goutte-à-goutte) (cultures de grande hauteur)	4	Cultures comme les tomates, dont la partie récoltée n'est pas en contact avec le sol
Limitation de la dérive de pulvérisation (irrigation par aspersion)	1	Emploi de microbuses, de buses orientables, commandées par anémomètre, de buses à jet dirigé vers le bas, etc.
Zone tampon exempte de pulvérisation (irrigation par aspersion)	1	Protection des personnes résidant à proximité de la zone d'irrigation par aspersion. La zone tampon doit s'étendre sur 50-100 m
Dépérissement des agents pathogènes	0,5 à 2 par jour	Dépérissement des agents pathogènes à la surface des cultures intervenant entre la dernière irrigation et la consommation. La réduction en unités logarithmiques obtenue dépend du climat (température, intensité de l'ensoleillement, humidité), du temps écoulé, du type de culture, etc.
Lavage à l'eau des produits	1	Lavage des salades, des légumes et des fruits avec de l'eau propre
Désinfection des produits	2	Lavage des salades, des légumes et des fruits avec une solution désinfectante peu puissante, puis rinçage à l'eau propre
Épluchage des produits	2	Fruits, légumes racines
Cuisson des produits	6-7	L'immersion des produits dans une eau bouillante ou proche de l'ébullition jusqu'à ce qu'ils soient cuits assure la destruction des agents pathogènes.

^a Ces mesures sont décrites en détail au chapitre 5 (des directives volume II).

Directives pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères (5/5)

Ces barrières multiples, afin d'être optimales en termes d'efficacité, doivent intervenir à tous les niveaux possibles de la chaîne : du lieu de production de l'EUT au consommateur ou utilisateur, en passant par l'agriculteur et/ou le producteur et/ou le commerçant.

Pour ce qui est de la réduction des œufs d'helminthes, les directives volume II fournissent des exemples d'options pour la réduction des œufs d'helminthes par deux mesures de protection sanitaire et les exigences associées en matière de vérification.

Tableau des directives volume II :
Options pour la réduction des œufs d'helminthes par des mesures de protection sanitaire pour divers nombres d'œufs d'helminthes dans les eaux usées non traitées et exigences en matière de vérification associées

Mesure de protection sanitaire	Nombre d'œufs d'helminthes par litre d'eaux usées non traitées	Réduction des œufs d'helminthes devant être réalisée par le traitement (unités logarithmiques)	Niveau de surveillance/ vérification (œufs d'helminthes par litre d'eaux usées traitées) ^a	Notes
Traitement	103	3	≤1	Il faut prouver que le traitement permet d'obtenir de manière fiable cette qualité de l'eau (voir aussi l'Encadré 5.2 (des directives volume II))
	102	2	≤1	
	10	1	≤1	
	≤ 1	0	S. O.	L'objectif de ≤ 1 œuf par litre est automatiquement atteint
Traitement et lavage des produits	103	3	≤10	La réduction réalisée par le traitement est suivie d'une réduction d'une unité logarithmique par lavage des produits avec une solution faiblement détergente et rinçage avec de l'eau propre
	102	2	≤10	Comme ci-dessus
	10	1	S. O.	La réduction requise d'une unité logarithmique est obtenue par lavage des produits avec une solution faiblement détergente et rinçage à l'eau propre
	≤ 1	0	S. O.	L'objectif de ≤ 1 œuf par litre est automatiquement atteint

S. O. : sans objet.

^a Dans le cas des bassins de stabilisation, le temps de séjour dans le bassin peut être utilisé comme moyen de vérification, comme expliqué dans l'Encadré 5.2. (des directives volume II) (Actuellement, il n'existe généralement pas de moyen de substitution valide pour contrôler d'autres procédés de traitement, bien qu'il soit possible de mettre au point au niveau local de tels moyens.)

^b Ceci n'est valide que si la pratique du lavage est courante ou si elle peut être promue efficacement et vérifiée (voir Tableau 4.3 (des directives volume II)).

Remarques :

- La plupart des pays qui lancent des projets de REUT sans cadre réglementaire propre utilisent les prescriptions sanitaires de l'OMS.
- Parmi ces pays, on peut notamment citer l'Allemagne, ainsi que d'autres pays européens sans réglementation propre à la REUT.

RÈGLEMENT (UE) 2020/741 DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 25 mai 2020 relatif aux exigences minimales applicables à la réutilisation de l'eau (1/4)

Le Parlement Européen et le Conseil ont publié le 5 juin 2020 le **règlement relatif aux exigences minimales applicables à la réutilisation de l'eau**, afin de pallier les pressions exercées sur les ressources en eaux et promouvoir la réutilisation des eaux usées traitées, notamment pour l'irrigation agricole. Ce règlement se veut souple, afin de permettre aux Etats membres d'inclure des mesures complémentaires. Jusqu'alors il n'y avait pas de normes environnementales et sanitaires communes à l'échelle de l'Union, ce règlement a pour but de promouvoir l'économie circulaire, s'adapter au changement climatique et **établir des exigences minimales de qualité**, de surveillance de l'eau et des dispositions en matière de gestion des risques. Il détermine la responsabilité des différents acteurs afin d'assurer la protection de l'environnement et de la santé humaine et animale.

Les exigences minimales applicables à l'eau de récupération destinée à l'irrigation agricole sont les suivantes :

Classe minimale de qualité de l'eau de récupération	Catégorie de cultures (*)	Méthode d'irrigation
A	Toutes les cultures vivrières consommées crues dont la partie comestible est en contact direct avec l'eau de récupération et les plantes sarclées consommées crues	Toutes les méthodes d'irrigation
B	Cultures vivrières consommées crues dont la partie comestible est cultivée en surface et n'est pas en contact direct avec l'eau de récupération, cultures vivrières transformées et cultures non vivrières, y compris cultures servant à l'alimentation des animaux producteurs de lait ou de viande	Toutes les méthodes d'irrigation
C	Cultures vivrières consommées crues dont la partie comestible est cultivée en surface et n'est pas en contact direct avec l'eau de récupération, cultures vivrières transformées et cultures non vivrières, y compris cultures servant à l'alimentation des animaux producteurs de lait ou de viande	Irrigation goutte-à-goutte (**) ou autre méthode d'irrigation permettant d'éviter un contact direct avec la partie comestible des cultures
D	Cultures industrielles, cultures énergétiques et cultures semencières	Toutes les méthodes d'irrigation (***)

(*) Si le même type de cultures irriguées relève de plusieurs catégories du tableau 1, les exigences de la catégorie la plus stricte s'appliquent.

(**) L'irrigation goutte-à-goutte est un système de micro-irrigation permettant d'apporter des gouttes d'eau ou de petits filets d'eau aux plantes et consistant à laisser goutter l'eau sur le sol ou directement sous sa surface à un débit très faible (2-20 litres/heure) à partir d'un système de tuyaux en plastique de petit diamètre équipés de sorties appelées émetteurs ou goutteurs.

(***) Dans le cas des méthodes d'irrigation par aspersion, il convient de veiller tout particulièrement à protéger la santé des travailleurs et des autres personnes présentes. Des mesures préventives appropriées sont appliquées à cet effet.

RÈGLEMENT (UE) 2020/741 DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 25 mai 2020 relatif aux exigences minimales applicables à la réutilisation de l'eau (2/4)

Exigences de qualité						
Classe de qualité de l'eau de récupération	Objectif technologique indicatif	E. coli (nombre/100 ml)	DBO5 (mg/l)	MES (mg/l)	Turbidité (NUT)	Autres
A	Traitement secondaire, filtration et désinfection	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 5	Legionella spp.: < 1 000 ufc/l lorsqu'il existe un risque de formation d'aérosols Nématodes intestinaux (œufs d'helminthes): ≤ 1 œuf/l pour l'irrigation des pâturages ou des fourrages
B	Traitement secondaire et désinfection	≤ 100	25	35 (plus de 10 000 EH) 60 (de 2000 à 10000 EH)	-	
C	Traitement secondaire et désinfection	≤ 1000			-	
D	Traitement secondaire et désinfection	≤ 10000			-	

L'eau de récupération est considérée comme conforme lorsque :

- ✔ les valeurs indiquées pour E. coli, Legionella spp. et les nématodes intestinaux sont respectées dans au moins 90 % des échantillons; aucune des valeurs mesurées sur les échantillons ne dépasse l'écart maximal de 1 unité de log par rapport à la valeur indiquée pour E. coli et Legionella spp. et de 100 % de la valeur indiquée pour les nématodes intestinaux;
- ✔ les valeurs indiquées pour la DBO5, les MES et la turbidité de la catégorie A sont respectées dans au moins 90 % des échantillons; aucune des valeurs mesurées sur les échantillons ne dépasse l'écart maximal de 100 % de la valeur indiquée.

RÈGLEMENT (UE) 2020/741 DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 25 mai 2020 relatif aux exigences minimales applicables à la réutilisation de l'eau (3/4)

Il faut prévoir une surveillance de routine dont les fréquences sont :

Fréquences minimales de surveillance						
Classe de qualité de l'eau de récupération	E. coli	DBO5	MES	Turbidité	Legionella spp. (le cas échéant)	Nématodes intestinaux (le cas échéant)
A	1x/semaine	1x/semaine	1x/semaine	En continu	2x /semaine	2x /mois ou tel que déterminé par l'exploitant d'installation de récupération en fonction du nombre d'œufs présents dans les eaux usées entrant dans l'installation de récupération
B	1x/semaine	Conformément à la directive 91/271/CEE (annexe I, section D)	Conformément à la directive 91/271/CEE (annexe I, section D)	-		
C	2x/ semaine			-		
D	2x/ semaine			-		

Ainsi qu'une surveillance de validation avant la mise en service des installations de récupération pour la classe A :

Classe de qualité de l'eau de récupération	Micro-organismes indicateurs (*)	Objectifs de performance de la chaîne de traitement (réduction log10)
A	E. coli	≥ 5,0
	Coliphages totaux/coliphages F-spécifiques/coliphages somatiques/coliphages (**)	≥ 6,0
	Spores de Clostridium perfringens/bactéries anaérobies sulfito-réductrices et leurs spores (***)	≥ 4,0 (dans le cas de spores de Clostridium perfringens) ≥ 5,0 (dans le cas de bactéries anaérobies sulfito- réductrices et leurs spores)

(*) Les pathogènes de référence Campylobacter, rotavirus et Cryptosporidium peuvent aussi être utilisés pour la surveillance de validation, à la place des microorganismes indicateurs proposés. Les objectifs de performance suivants, exprimés en réduction log10, doivent dans ce cas s'appliquer: Campylobacter (≥ 5,0), rotavirus (≥ 6,0) et Cryptosporidium (≥ 5,0).

(**) Les coliphages totaux sont choisis comme étant l'indicateur viral le plus approprié. Cependant, si l'analyse des coliphages totaux est impossible, au moins l'un d'entre eux (les coliphages F-spécifiques ou les coliphages somatiques) doit être analysé.

(***) Les spores de Clostridium perfringens sont choisies comme étant l'indicateur de protozoaires le plus approprié. Cependant, les bactéries anaérobies sulfito-réductrices et leurs spores offrent une solution de remplacement si la concentration de spores de Clostridium perfringens ne permet pas de valider la réduction log10 requise.

RÈGLEMENT (UE) 2020/741 DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 25 mai 2020 relatif aux exigences minimales applicables à la réutilisation de l'eau (4/4)

A noter que ces objectifs de performance doivent être atteints au point de conformité (le point où un exploitant d'installation de récupération fournit l'eau de récupération à l'acteur suivant de la chaîne) et que 90 % des échantillons prélevés pour validation doivent atteindre ou dépasser les objectifs de performance.

Si un indicateur biologique n'est pas présent en quantité suffisante dans les eaux usées brutes pour parvenir à une réduction log10, l'absence de cet indicateur biologique dans l'eau de récupération signifie que les exigences de validation sont satisfaites.

Enfin, le règlement procure des éléments afin d'établir le plan de gestion des risques, des exigences supplémentaires à prendre en compte dans des cas particuliers et des mesures préventives pour limiter les risques liés à la réutilisation des eaux.

Remarques :

- *Ne décrit que les pratiques agricoles, il faudrait compléter avec des exigences pour les autres types d'usage.*
- *Le règlement de l'UE est plus contraignant que celui de la plupart des pays. En effet, si l'on regarde la qualité la plus restrictive (A), les quantités des indicateurs sont plus nombreux qu'en France, Espagne ou Israël.*
- *Les fréquences de surveillance de routine s'alignent à peu près sur celle de l'Espagne.*
- *Les seuils de validation sont comparables à ceux français. Une seule vérification de ces paramètres à la mise en service.*

Arrêtés du 26/04/16 et du 25/06/14 modifiant l'arrêté du 02/08/10 relatif à l'utilisation d'eaux issues du traitement d'épuration des eaux résiduaires urbaines pour l'irrigation de cultures ou d'espaces verts (1/4)

Le 2 Août 2010 la France s'est dotée d'un arrêté relatif à l'utilisation d'eaux issues du traitement d'épuration des eaux résiduaires urbaines pour l'irrigation de cultures ou d'espaces verts. Cet arrêté détermine les modalités d'autorisation d'un projet de REUT, donne des prescriptions techniques sur le matériel, sur l'exploitation des installations, des obligations de sécurité et des exigences de qualité d'eau en fonction de l'usage final.

Cet arrêté a été modifié le 25 juin 2014 et le 26 avril 2016 et constitue la dernière version en vigueur de la réglementation française sur la REUT.

Cet arrêté fixe :

- ✔ **des limites de qualité sur certains paramètres en fonction de 4 classes de qualité d'eau définies par l'usage final souhaité :**

PARAMÈTRES	Niveau de qualité sanitaire des eaux usées traitées			
	A	B	C	D
Matières en suspension (mg/ L)	< 15	Conforme à la réglementation française des rejets d'eaux usées traitées pour l'exutoire de la station hors période d'irrigation		
Demande chimique en oxygène (mg/ L)	< 60			
Escherichia coli (UFC/ 100mL)	≤ 250	≤ 10 000	≤ 100 000	-
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

- ✔ **ainsi que les contraintes de distance pour l'irrigation par aspersion afin de se prémunir contre le phénomène de dispersion (déplacement de gouttes d'eau par le vent), de terrain et les fréquences de surveillance.**

CARACTÉRISTIQUES DE L'ASPERSEUR	DISTANCE ASPERSEUR À ZONE SENSIBLE ⁽¹⁾	
Portée	Avec écran 2 et basse pression ⁽²⁾	Dans les autres cas
Faible portée : < 10 m	5 m ⁽³⁾	Deux fois la portée
Moyenne portée : 10 à 20 m	10 m ⁽³⁾	
Grande portée : > 20 m	10 m ⁽³⁾	

⁽¹⁾ Habitations, cours et jardins attenants aux habitations, voies de circulation, lieux publics de passage et de loisir, bâtiments publics et bâtiments d'entreprise, quels que soient le sens et la vitesse du vent dominant.

⁽²⁾ Dispositif végétalisé arbustif ou écrans fixes ou mobiles tels que murs, brise-vents, canisses, panneaux d'occultation, etc., dont la hauteur doit être au moins égale à celle de l'apogée de l'asperseur.

⁽³⁾ Cette valeur est augmentée de la portée pour le secteur couvert par l'arrosage.

Arrêtés du 26/04/16 et du 25/06/14 modifiant l'arrêté du 02/08/10 relatif à l'utilisation d'eaux issues du traitement d'épuration des eaux résiduaires urbaines pour l'irrigation de cultures ou d'espaces verts (2/4)

A noter que l'entrée en vigueur du règlement 2020/741 du 25 mai 2020 devrait amener la réglementation française à évoluer.

Remarques :

- Les limites de qualité sont présentées dans le tableau ci-dessous (on remarque que les seuils de E Coli en qualité B et C semblent particulièrement hauts, peut-être d'un facteur 10).
- L'objectif d'abattre 4 log sur certains paramètres (entérocoques, phages et spores) se heurte parfois à l'impossibilité physique d'y parvenir, lorsque l'effluent d'entrée est peu concentré sur le paramètre en question. Il aurait été plus judicieux de retenir des valeurs seuil. Les analyses sont réalisées tous les 2 ans.

Les différentes qualités d'eau sont définies dans le tableau ci-dessous :

TYPE D'USAGE	Niveau de qualité sanitaire des eaux usées traitées			
	A	B	C	D
Cultures maraichères, fruitières et légumières non transformées par un traitement thermique industriel adapté (excepté cressiculture (1))	+	-	-	-
Cultures maraichères, fruitières, légumières transformées par un traitement thermique industriel adapté	+	+	-	-
Pâturage (2)	+	+(3)	-	-
Espaces verts ouverts au public (4)	+(5)	-	-	-
Fleurs vendues coupées	+	+(6)	-	-
Pépinières et arbustes et autres cultures florales	+	+	+(6)	-
Fourrage frais	+	+(3)	-	-
Autres cultures céréalières et fourragères	+	+	+(6)	-
Arboriculture fruitière	+	+(7)	+(8)	-
Taillis à courte rotation ou à très courte rotation, avec accès contrôlé du public	+	+	+(6)	+(6)
Forêt, hors taillis à courte rotation avec accès contrôlé du public	-	-	-	-

+ autorisée, - : interdite

1. La réutilisation d'eaux usées traitées est interdite pour la cressiculture.
2. En cas d'aspersion, les animaux ne doivent pas être au champ au moment de l'opération et les abreuvoirs, au cas où ils seraient arrosés, doivent être rincés avant utilisation.
3. Sous réserve du respect d'un délai après irrigation de 10 jours en l'absence d'abattoir relié à la station de traitement des eaux usées et de 21 jours dans le cas contraire.
4. On entend par espace vert, notamment : les aires d'autoroutes, cimetières, golfs, hippodromes, parcs, jardins publics, parties communes de lotissements, ronds-points et autres terre-pleins, squares, stades, etc.

5. Irrigation en dehors des heures d'ouverture au public, ou fermeture aux usagers pendant l'irrigation et deux heures suivant l'irrigation dans le cas d'espaces verts fermés ; irrigation pendant les heures de plus faible fréquentation et interdiction d'accès aux passants pendant l'irrigation et deux heures suivant l'irrigation dans le cas d'espaces verts ouverts de façon permanente.
6. Uniquement par irrigation localisée
7. Interdite pendant la période allant de la floraison à la cueillette pour les fruits non transformés, sauf en cas d'irrigation au goutte à goutte.
8. Uniquement par goutte à goutte.

Arrêtés du 26/04/16 et du 25/06/14 modifiant l'arrêté du 02/08/10 relatif à l'utilisation d'eaux issues du traitement d'épuration des eaux résiduaires urbaines pour l'irrigation de cultures ou d'espaces verts (3/4)

On note les contraintes suivantes :

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	50m	100m
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
Cressiculture	50 m	200 m	300 m

(1) A l'exception du plan d'eau servant d'exutoire au rejet de la station de traitement des eaux usées 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.

- Dans le cas d'un terrain sans couvert végétal 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 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 (un mètre minimum) avec un couvert végétal. En outre, si la pente de ces terrains excède 3 %, l'irrigation doit être localisée.

Paramètres	FRÉQUENCE D'ANALYSES POUR UN USAGE REQUÉRANT A MINIMA UNE EAU DE QUALITÉ SANITAIRE			
	A	B	C	D
Matières en suspension (mg/l)	1 par semaine	1 tous les 15 jours	1 par mois	
Demande chimique en oxygène (mg/l)				
Escherichia coli (UFC/100ml)				

Remarques :

- La fixation d'objectifs est régie par une analyse de risques en fonction des usages.
- L'autorisation de l'utilisation d'EUT est délivrée à l'échelle du département, l'approche est décentralisée.
- La transmission de l'information est systématique :
 - o De manière régulière entre les exploitants des STEU, les autorités locales et les usagers.
 - o En cas de dépassement de valeurs limites, pour un arrêt de la REUT si nécessaire.

Arrêtés du 26/04/16 et du 25/06/14 modifiant l'arrêté du 02/08/10 relatif à l'utilisation d'eaux issues du traitement d'épuration des eaux résiduaires urbaines pour l'irrigation de cultures ou d'espaces verts (4/4)

AVIS de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES) du 10/07/2017 sur le projet d'arrêté dérogatoire à l'arrêté du 02/08/2010 modifié :

L'ANSES et le CES « Eaux » adoptent les mêmes conclusions concernant le projet porté par « France Expérimentation » : dangers chimiques et microbiologiques persistants dans les EUT, absence de démonstration du caractère innovant, nulle description du projet, aucune preuve scientifique de l'absence de risques ni bénéfices potentiels. Ainsi, ils émettent un avis défavorable au projet d'arrêté dérogatoire.

L'Agence préconise de limiter au maximum l'exposition de l'Homme aux EUT lors des opérations d'aspersion et recommande en addition la mise en place de distances de sécurité modulées en fonction du type d'asperseur utilisé, correspondant a minima à 2 fois la portée de l'asperseur, à respecter quelle que soit la vitesse du vent.

Elle rappelle qu'aucune possibilité de dérogation aux dispositions relatives aux niveaux de qualité sanitaire des EUT, contrainte d'usages, de distance, de terrain et de vitesse de vent n'a été prévue dans l'arrêté du 2 août 2010 modifié.

Décret Royal 1620/2007 du 7 Décembre 2007 (1/2)

La réglementation espagnole fixe des limites de qualité et des fréquences d'analyses par type d'usage regroupés par secteur d'utilisation (urbain, agricole, ...).

URBAIN	Matières en suspension	Nématodes	Escherichia coli	Turbidité	Légionnelles
Unité	mg/L	Œuf/10L	UFC /100mL	NTU	UFC/L
Jardins privé, appareils sanitaires	≤ 10	≤ 1	0	≤ 2	≤ 100
Parcs, lavage des voiries, eau des pompiers	≤ 20	≤ 1	≤ 200	≤ 10	≤ 100
Fréquences des analyses	1 fois par semaine	2 fois par mois	2 fois par semaine	2 fois par semaine	1 fois par mois

AGRICULTURE	Matières en suspension	Nématodes	Escherichia coli	Turbidité	Légionnelles
Unité	mg/L	Œuf/10L	UFC /100mL	NTU	UFC/L
Alimentation humaine, contact direct de l'eau avec l'aliment comestible frais	≤ 20	≤ 1	≤ 100	≤ 10	≤ 1000
Alimentation humaine, contact direct de l'eau avec l'aliment comestible qui est traité postérieurement (aliment non frais), alimentation bovine, aquaculture	≤ 35	≤ 1	≤ 1000	X	X
Arrosage localisé (pas de contact avec l'aliment), cultures de fleurs, cultures industrielles non alimentaires, de céréales et de graines oléagineuses	≤ 35	≤ 1	≤ 10 000	X	≤ 100
Fréquences des analyses	1 fois par semaine	2 fois par mois	1 fois par semaine	1 fois par semaine	1 à 2 fois par mois

Remarque : Les seuils retenus pour l'alimentation humaine et pour l'arrosage localisé ne semblent pas cohérents.

Remarque : A noter une valeur élevée en légionnelles pour « Alimentation humaine, contact direct de l'eau avec l'aliment comestible frais » (plus élevée que pour « Arrosage localisé »).

Décret Royal 1620/2007 du 7 Décembre 2007 (2/2)

INDUSTRIE	Matières en suspension	Nématodes	Escherichia coli	Turbidité	Légionnelles
Unité	mg/L	CEuf/10L	UFC/100mL	NTU	UFC/L
Eaux de processus de propreté, industrie non alimentaire	≤ 35	X	≤ 10 000	≤ 15	≤ 100
Eaux de processus de propreté, industrie alimentaire	≤ 35	≤ 1	≤ 1000	X	≤ 100
Réfrigération, condensateurs évaporatifs	≤ 5	≤ 1	0	≤ 1	0
Fréquences des analyses	1 fois par jour à 1 fois par semaine	1 fois par semaine	1 à 3 fois par semaine	1 fois par jour à 1 fois par semaine	3 fois par semaine

USAGES RECREATIFS	Matières en suspension	Nématodes	Escherichia coli	Turbidité	Légionnelles
Unité	mg/L	CEuf/10L	UFC/100mL	NTU	UFC/L
Golf	≤ 20	≤ 1	≤ 200	≤ 10	≤ 100
Plans d'eau ornementaux	≤ 35	X	≤ 10 000	X	X
Fréquences des analyses	1 fois par semaine	2 fois par mois	1 à 2 fois par semaine	1 fois par semaine	1 fois par semaine

ENVIRONNEMENT	Matières en suspension	Nématodes	Escherichia coli	Turbidité	Légionnelles
Unité	mg/L	CEuf/10L	UFC/100mL	NTU	UFC/L
Recharge d'aquifères par percolation	≤ 35	X	≤ 1000	X	X
Recharge d'aquifère par injection directe	≤ 10	≤ 1	0	≤ 2	X
Arrosage de bois, d'espaces vert, et autres non accessibles au public, sylviculture	≤ 35	X	X	X	X
Fréquences des analyses	1 fois par jour à 1 fois par semaine	1 fois par semaine	2 à 3 fois par semaine	1 fois par jour	1 fois par semaine

Remarques :

L'Espagne est le pays européen le plus actif dans le domaine de la REUT avec un recyclage de 10 % de ses eaux usées traitées. Plus de 150 projets de REUT y ont été implantés ces dernières années.

Measures, Limits and Procedure for Reuse of Treated Wastewater – No. 145116 (1/2)

La dernière modification de la législation grecque sur la réutilisation des eaux usées traitées date de 2011. Comme les autres pays, celle-ci définit des limites de qualité d'eau à respecter en fonction de l'usage des EUT souhaité. Elle définit également des fréquences d'analyse pour le contrôle du respect de ces limites.

Cette réglementation définit trois différentes qualités d'eau qui seront nommées ici qualité 1, 2 ou 3 :

- **QUALITÉ 1 :**

- ✔ Irrigation contrôlée : comprenant les zones non ouvertes au public, les parcelles agricoles et industrielles, les pâtures, les arbres (à l'exception des arbres fruitiers), à condition que la récolte soit réalisée hors contact du sol, les cultures de semences et produits qui sont traités avant consommation. **Irrigation par aspersion interdite**
- ✔ Usage industriel : Eaux de refroidissement à usage unique
- ✔ Recharge de nappe : La recharge des aquifères qui ne tombe pas dans les cas décrits par l'article 7, du décret 51 / 03.02.2007, par percolation à travers une couche de sol d'épaisseur suffisante possédant des propriétés appropriées

- **QUALITÉ 2 :**

- ✔ Irrigation non contrôlée : Toutes les cultures (arbres fruitiers, vignes, légumes ainsi que toutes les cultures produisant des produits comestibles). **Aucune restriction sur les modes d'irrigation.**
- ✔ Usage industriel : Tous les usages à l'exception de celui cité en qualité 1

- **QUALITÉ 3 :**

- ✔ Usages urbains : usages urbains divers (irrigation d'espaces vert, réserve incendie, lavage de voirie, etc). **Irrigation par aspersion interdite**
- ✔ Rechargement de nappe par puits
- ✔ Usages péri-urbains : irrigations de forêts et bosquets

Measures, Limits and Procedure for Reuse of Treated Wastewater – No. 145116 (2/2)

QUALITÉ	E. Coli (cfu/100ml)	DBO ₅ (mg/l)	MES (mg/l)	Turbidité (NTU)	Traitement requis	Fréquence de suivi
1	200 (médiane)	En respect du CMD 5673/400/1997	En respect du CMD 5673/400/1997		Traitement biologique secondaire et désinfection	DBO ₅ , MES, N, P comme décrit dans 5673/400/1997 E. Coli : 1 fois / semaine Chlore en continue si chloration utilisée
2	5 pour 80% des échantillons 50 pour 95% des échantillons	10 pour 80% des échantillons	10 pour 80% des échantillons	2 (médiane)	Traitement biologique secondaire suivi ou traitement plus avancé et désinfection	DBO ₅ , MES, N, P comme décrit dans 5673/400/1997 Turbidité et perméabilité de l'effluent : 4 fois / semaine pour les stations > 50 000 EH, 2 fois par semaine dans les autres cas. E. Coli : 4 fois/ semaine pour les stations > 50 000 EH, 2 fois par semaine dans les autres cas. Chlore en continu si chloration utilisée.m
3	2 pour 80% des échantillons 20 pour 95% des échantillons	10 pour 80% des échantillons	2 pour 80% des échantillons	2 (médiane)	Traitement biologique secondaire suivi d'un traitement tertiaire et désinfection	DBO ₅ , MES, N, P comme décrit dans 5673/400/1997 Turbidité et perméabilité de l'effluent : 4 fois / semaine pour les stations au-delà de 50 000 EH, 2 fois par semaine dans les autres cas. Chlore en continu si chloration utilisée.

Remarques :

- Cette législation fixe aussi des limites de concentrations pour 19 métaux lourds et des préconisations d'exploitation et d'utilisation des EUT à des fins agricoles vis-à-vis des nutriments et substances toxiques qu'elles contiennent.
- - 74 paramètres à suivre pour la réglementation grecque peut entraîner des coûts élevés.

US Environmental Protection Agency (1/2)

Ce pays ayant été dans les premiers utilisateurs de la REUT, il a pu acquérir une certaine expérience. Les États-Unis ont une réglementation à deux paliers : un palier au niveau fédéral qui donne un cadre général pour tous leurs États et un cadre réglementaire propre à chaque état qui peut être plus restrictif. Ce cadre général est donné par l'U.S. Environmental Protection Agency (USEPA). Ainsi les recommandations pour la réutilisation des eaux usées ont été mises en place en 1980 puis mises à jour régulièrement, en 1992, 2004 pour aboutir à la dernière version en vigueur en 2012.

Actuellement 43 États ont mis en place des réglementations pour la réutilisation des eaux usées au sens large. Cependant on note que si 43 États ont mis en place des réglementations concernant une utilisation des EUT pour l'irrigation agricole de cultures non destinées à la consommation seulement 16 États ont mis en place des préconisations pour l'utilisation des EUT pour le rechargement de nappe.

Les limites de qualités présentées ci-dessous sont classées par type d'usage pour quelques États. Est présentée une liste non exhaustive simplifiée des paramètres de qualité.

Usage urbains – non limités								
Paramètre	Arizona	California	Florida	Nevada	New Jersey	North Carolina	Texas	Washington
DBO ₅ (mg/l)	/	/	60	30	/	15	5	30
MES (mg/l)	/	/	5	30	5	10	/	30
Turbidité (NTU)	5	10 (media filter) 0,5 (membrane filter)	2-2,5	/	2	10	3	5
Coliformes totaux (cfu/100ml)	/	240	/	23	/	/	/	23
Coliformes fécaux (cfu/100ml)	23	/	25 (et 75% en dessous de la LQ)	/	14	25	75	/

Usage urbains –limités								
Paramètre	Arizona	California	Florida	Nevada	New Jersey	North Carolina	Texas	Washington
DBO ₅ (mg/l)	/	/	/	30 (moyenne sur 30j)	/	15	15-30	30
MES (mg/l)	/	/	/	30 (moyenne sur 30j)	30	10	/	30
Turbidité (NTU)	/	/	/	/	/	10	/	/
Coliformes totaux (cfu/100ml)	/	240 (une seule valeur au-dessus pendant 30j)	/	23	/	/	/	240
Coliformes fécaux (cfu/100ml)	800	/	/	/	400	25	800	/

US Environmental Protection Agency (2/2)

Usage agricole – cultures alimentaires								
Paramètre	Arizona	California	Florida	Nevada	New Jersey	North Carolina	Texas	Washington
DBO5 (mg/l)	/	/	60	/	/	15	5	30
MES (mg/l)	/	/	5	/	5	10	/	30
Turbidité (NTU)	5	10 (media filter) 0.5 (membrane filter)	2-2,5	/	2	3	3	5
Coliformes totaux (cfu/100ml)	/	240	/	/	/	/	/	23
Coliformes fécaux (cfu/100ml)	23	/	25 (et 75% en dessous de la LQ)	/	14	75	14	/

L'US.EPA définit de même des limites et recommandations d'utilisation des eaux usées traitées pour de nombreux secteurs :

- **Usages urbains :**
 - ☑ Non limités : usage en milieu urbain où l'accès au public n'est pas contrôlé
 - ☑ Limités : Usage en milieu urbain pour des applications dans des lieux où l'accès au public est limité, contrôlé et où les usagers sont informés de la présence d'EUT
- **Usages agricoles :**
 - ☑ Cultures alimentaires : Usage agricole pour la culture de produits destinés à la consommation alimentaire
 - ☑ Cultures non alimentaires : Usage agricole pour la culture de produits destinés à la consommation alimentaire après modification ou de produit non destinés à la production alimentaire
- **Retenues d'eau**
- **Usage dans un but environnemental**
- **Usage industriel**
- **Recharge de nappe**
- **Production d'eau potable**

De même, la réglementation définit des distances minimales pour l'irrigation par aspersion, des préconisations d'utilisation ainsi que des préconisations lors du montage de projet.

Remarques : De nombreux pays d'Amérique Latine se basent sur les recommandations de l'US.EPA pour la mise en œuvre de projet de REUT.

L'Australie possède son EPA et produit des recommandations sur le même modèle que l'EPA américaine.

De plus la réglementation en Israël se rapproche de celle énoncée ici, et en particulier du modèle californien.

Le modèle californien est souvent donné en exemple.

Ministry of health and Ministry of Environmental Protection (1/4)

Ce pays a été dans les premiers utilisateurs de la REUT. En 1952, il autorisait déjà la REUT pour l'irrigation agricole. A ce jour, environ 85 % des eaux usées traitées sont réutilisées en irrigation agricole. Ce pays a donc acquis une expérience notamment sur la durée.

En préambule, la réglementation définit 5 niveaux de qualité d'eaux usées traitées fonction des traitements mis en place sur les stations d'épuration et leurs performances :

- Très haute qualité d'eaux usées traitées : Eaux usées traitées issues d'un traitement tertiaire avec une concentration en E. Coli inférieure à 10 UFC/100 ml ;
- Haute qualité d'eaux usées traitées : Eaux usées traitées issues d'un traitement biologique (boues activées avec charge massique en cohérence avec la qualité souhaitée, couplée ou pas à une décantation primaire) avec une qualité « 20/30 » (concentration en DBO₅ et MES) ;
- Eaux usées traitées par bassin d'oxydation (lagunage, etc.) avec au moins 15 jours de temps séjour ;
- Qualité moyenne d'eaux usées traitées : Eaux usées traitées issues d'un traitement biologique (boues activées avec charge massique en cohérence avec la qualité souhaitée, couplée ou pas à une décantation primaire) avec une qualité « 60/60 » (concentration en DBO₅ et MES) ;
- Qualité faible d'eaux usées traitées.

La qualité des eaux usées traitées et les barrières présentent entre ces eaux et les cultures irriguées (fruit) déterminent les possibilités d'usage. Les barrières prises en compte sont notamment : La distance entre les fruits et les eaux usées traitées, la résistance au rayonnement solaire, le type d'arrosage (goutte à goutte), la présence d'une chloration.

Des exigences existent également en termes :

- De localisation de ce type d'irrigation pour éviter les contacts entre les eaux usées traitées et le public (bâtiments publiques, routes, etc.). Il en va de même pour les cultures sensibles aux contaminations et les installations d'eau potable (réseaux, etc.).
- De signalétique des réseaux des eaux usées traitées pour éviter de mauvais usages et de mauvaises connexions notamment avec les réseaux d'eau potable.

Ministry of health and Ministry of Environmental Protection (2/4)

In fine, la réglementation Israélienne définit 4 catégories (ordre alphabétique inverse Europe) fonction du type de culture irriguée avec des exigences de qualité des eaux usées traitées, de type de traitement et d'implantation :

	A Cotton, betteraves sucrières, céréales, semences pour fourrage sec, irrigation de forêts, etc.	B Fourrage vert, olives, arachides, agrumes, bananes, amandes, noix, etc.	C Arbres fruitiers, conserverie de légumes, légumes cuisinés et pelés, ceintures vertes, terrains de football, terrains de golf	D Cultures sans restriction incluant les légumes consommés crus, parcs et gazons
Qualité des effluents				
DBO5 totale (mg/l)	60	45	35	15
DBO5 dissoute (mg/l)	-	-	20	10
Matières en suspension (mg/l)	50	40	30	15
Oxygène dissous (mg/l)	-	0.5	0.5	0.5
Coliformes (u/100 ml)	-	-	250	12 (80 %) 2.2 (50 %)
Chlore résiduel libre (mg/l)	-		0.15	0.5
Traitement obligatoire				
Filtration sur sable ou équivalent	-		-	Exigé
Chloration (temps minimum de contact, min)	-		60	120
Distances				
Des zones résidentielles	300	250	-	-
Des routes goudronnées	30	25	-	-

Ministry of health and Ministry of Environmental Protection (3/4)

À noter qu'au regard de son expérience, l'Israël a fait évoluer sa réglementation en 2007 en intégrant des paramètres liés à la salinité, aux métaux lourds et aux nutriments :

Irrigation sans restriction			
Conductivité (ds/m)	1,4	As (mg/L)	0,1
DBO5 (mg/L)	10	B (mg/L)	0,4
MES totale (mg/L)	10	Be (mg/L)	0,1
DCO (mg/L)	100	Cd (mg/L)	0,01
NH4 (mg/L)	10	Co (mg/L)	0,05
N total (mg/L)	25	Cr (mg/L)	0,1
P total (mg/L)	5	Cu (mg/L)	0,2
Cl (mg/L)	250	Fe (mg/L)	2
F (mg/L)	2	Hg (mg/L)	0,002
Na (mg/L)	150	Li (mg/L)	2,5
Coliformes Fécaux (UFC/100 mL)	10	Mn (mg/L)	0,2
DO (mg/L)	<0.5	Mo (mg/L)	0,01
pH	6,5-8,5	Ni (mg/L)	0,2
Cl2 résiduel (mg/L)	1	Pb (mg/L)	0,1
Détergent anionique (mg/L)	2	Se (mg/L)	0,02
Sodium Adsorption Ratio (SAR) (mmol/L)	5	V (mg/L)	0,1
CN (mg/L)	0,1	Zn (mg/L)	2
Al (mg/L)	5		

Ministry of health and Ministry of Environmental Protection (4/4)

Pour finir, Israël a engagé sa politique de développement de l'utilisation d'eaux usées traitées pour l'irrigation, basée sur la mutualisation du coût de traitement de l'eau réutilisée avec les autres usagers de l'eau.

Ainsi, Israël a mis en place un ensemble de mesures afin d'inciter au développement de projets de réutilisation des eaux usées dans le domaine agricole :

- La mise en place pour les agriculteurs de quotas d'eaux prélevées et d'eaux usées traitées. L'allocation d'un bonus de 20 % du volume d'eaux usées pour les agriculteurs qui acceptent d'échanger une partie de leur quota annuel d'eau prélevée dans le milieu contre un volume d'eaux usées.
- L'instauration d'un tarif progressif sur la base des quotas alloués par exploitation agricole.
- Une hausse importante du prix de l'eau afin de refléter la rareté locale des ressources en eau. Ainsi, dans les années 1990 et 2000, les prix de l'eau à usage agricole ont fortement augmenté (68 %).
- Des subventions pour la réutilisation des eaux usées pour l'irrigation permettant de créer un différentiel de prix à l'avantage des eaux usées domestiques traitées et recyclées par rapport à l'eau prélevée (trois fois moins élevé). La différence entre le coût de production des eaux usées traitées et leur prix de vente aux agriculteurs est quant à lui à la charge des usagers domestiques.
- A noter enfin cette phrase clé qui figure dans la loi sur l'eau israélienne : "Israel's Water Law includes sewage water in its definition of "water resources".

Norme NT 106.03 relative à l'utilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles (1/1)

La qualité des eaux usées traitées ainsi que la fréquence des analyses physico-chimiques et microbiologiques doivent suivre les prescriptions inscrites dans la **norme NT 106.03** relative à l'utilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles. Cette norme a été élaborée en 1989 sur la base de recommandations formulées par l'OMS et reprenant partiellement les paramètres de la norme NT 106.02 relative aux rejets d'effluents dans le milieu hydrique.

Paramètre	Valeur NT 106.03
DBO5 (mg/L)	30
DCO (mg/L)	90
MES (mg/L)	30
pH	6.5-8.5
Conductivité (µS/cm)	7000
Salinité RS (g/L)	4.4
Chlorures Cl (mg/L)	2000
Fluorures F (mg/L)	3
Organochlorés (mg/L)	0.001
Arsenic As (mg/L)	0.1
Bore B (mg/L)	3
Cadmium Cd (mg/L)	0.01

Paramètre	Valeur NT 106.03
Cobalt Co (mg/L)	0.1
Chrome Cr (mg/L)	0.1
Cuivre Cu (mg/L)	0.5
Fer Fe (mg/L)	5
Manganèse Mn (mg/L)	0.5
Mercure Hg (mg/L)	0.001
Nickel Ni (mg/L)	0.2
Plomb Pb (mg/L)	1
Sélénium Se (mg/L)	0.005
Vanadium V (mg/L)	0.1
Zinc Zn (mg/L)	5
Œufs de Nématodes (n/100 mL)	0.1

Remarques :

- La norme NT 106.03 n'est exigeante que sur le paramètre « œufs de nématodes intestinaux ». Ce paramètre n'est pas inscrit dans la norme NT 106.02 (rejet des STEU), actuellement remplacé par l'**arrêté gouvernemental n°2018-315 du 26 mars 2018** en vue de protéger l'environnement, qui fixe des objectifs de qualité et notamment sur 4 paramètres microbiologiques : coliformes fécaux, streptocoques fécaux, salmonelles et vibrions cholériques.
- La réglementation tunisienne ne diffère pas selon les usages et le type de cultures pratiquées avec l'eau usées traitées. Elle ne considère que l'usage agricole.
- La révision du Code de l'Eau (en cours) se distingue de l'ancienne version par l'importance qu'elle accorde aux eaux non conventionnelles notamment les EUT ce qui devrait faciliter la révision du cadre réglementaire.

Les cultures autorisées à être irriguées par les eaux usées traitées sont : les cultures industrielles, les cultures céréalières, les cultures fourragères, les arbres fruitiers, les arbustes fourragers, les arbres forestiers, les plantes florales à sécher ou à usage industriel.

Un cahier des charges pour l'utilisation des EUT à des fins agricoles est approuvé et impose des conditions sur :

- ✔ Le niveau de la qualité des eaux ;
- ✔ Le niveau de stockage et de la distribution des eaux ;
- ✔ Le niveau de l'utilisation direct des EUT ;
- ✔ Le niveau de la protection des ressources en eau souterraines et de surface.

3- Traitement

3.1 PRE-TRAITEMENT

Le prétraitement permet d'éliminer les matières les plus grossières qui pourraient gêner le bon fonctionnement des ouvrages (blocage, abrasion d'équipements électromécaniques, etc.) ou diminuer l'efficacité des processus de traitement (transfert d'oxygène, etc.) qui vont suivre. Ils peuvent être mécaniques (dégrilleurs grossiers à fins généralement entre 60 mm et 3 mm voire tamis généralement entre 0,75 mm et 1,5 mm) ou utiliser des phénomènes physiques (comme la décantation pour les sables ou la flottation pour les graisses).

L'eau passe ensuite par un dégraisseur/dessableur qui permet l'élimination des particules denses ou abrasives et des particules flottantes. Cette étape de dégraissage/dessablage peut être facultative dans le cas de tamisage, il est fait état dans ce cas de pré-traitement compacte (adaptés essentiellement aux petites stations d'épuration).

3.2 TRAITEMENT PRIMAIRE

Une fois prétraitée, l'eau reste chargée de matières en suspension et de molécules organiques et minérales dissoutes. Le traitement primaire a pour but d'éliminer les matières en suspension. Généralement, le processus de décantation gravitaire pour les éliminer, utilise la propriété de densité des eaux usées légèrement supérieure à celle de l'eau. La décantation dure une ou deux heures. Il est également possible que ces MES soient légèrement plus légères que l'eau, dans quel cas on préfère une élimination des MES par flottation.

La décantation ou la flottation peuvent être couplées à une étape de coagulation et floculation afin de retenir la matière colloïdale (particules en suspension fine). Il est fait état alors de décantation ou de flottation physico-chimique. Le traitement primaire reste une étape de traitement facultative.

3.3 TRAITEMENT SECONDAIRE

Le traitement secondaire vise à l'élimination des molécules organiques et minérales dissoutes. Il consiste à des traitements biologiques, faisant intervenir des microorganismes vivants (principalement des bactéries) qui utilisent la pollution contenue dans les eaux comme substrat. Plusieurs procédés existent, le plus connu restant le procédé Boues activées.

Selon les procédés, il est possible, plus ou moins difficilement (avec parfois ajout de réactifs), d'éliminer la pollution carbonée, azotée et phosphorées des eaux.

3.4 TRAITEMENT TERTIAIRE

Le traitement tertiaire a pour but d'éliminer de manière plus poussée les paramètres classiques (DCO, DBO5, MES essentiellement) mais également les germes pathogènes.

3.4.1 Élimination supplémentaire des MES

Pour une meilleure élimination des matières en suspension et de la matière organique, il est nécessaire d'implémenter le procédé de traitement par une étape de filtration : filtration sur milieu granulaire (sables, etc.), tamisage mécanique ou filtration sur membranes (MF, UF, NF et OI). L'infiltration-percolation est également possible. Les performances de ces techniques sont données dans le tableau suivant.

	MF	UF	NF	OI	Filtration sur milieu granulaire	Infiltration-percolation
DBO	75 - 90	80 - 90	COT : 90 - 98	COT : 90 - 98		60 - 100
DCO	70 - 85	75 - 90				
MES	95 - 98	96 - 99,9	40 - 60	90 - 98	1 à 8 mg/L	65 - 95

(Source : Boutin & al., 2009)

Il existe principalement 4 grands procédés de désinfection :

3.4.2.1 Traitement par chloration

La chloration est le procédé le plus employé en désinfection des eaux usées. Cette technique est cependant de plus en plus remise en cause.

Le chlore a une activité bactéricide prouvée, mais son optimisation est complexe. De plus, la formation de sous-produits (SPD) toxiques (chloramine, THM, HAA, HAN, etc.) à action rémanente dans l'environnement ainsi que les risques liés au transport, au stockage et à la manipulation du produit remettent en cause l'utilisation de cette technique de désinfection.

Par ailleurs, l'efficacité du chlore vis-à-vis des virus n'est pas bien établie.

Pour finir, comme évoqué ci-avant, la chloration dispose d'une rémanence dans les eaux qui peut être bénéfique (éviter une recontamination dans les réseaux de transport/distribution des eaux usées traitées, etc.) mais aussi néfastes (pour les cultures irriguées, les milieux récepteurs tels que les rivières, etc.). Une déchloration des eaux peut donc s'avérer nécessaire ce qui complexifie les installations de réutilisation des eaux usées traitées.

Lors du traitement de chloration, le chlore peut être utilisé sous forme de chlore gazeux ou en solutions concentrées d'hypochlorite de sodium. La même filière de traitement est mise en œuvre pour les deux désinfectants : bassin de mélange équipé d'un dispositif d'injection et d'homogénéisation, puis dispositif de contact, accompagnée d'une régulation de la dose de désinfectant en fonction des besoins, et enfin le cas échéant déchloration (cette étape n'est parfois pas respectée).

L'efficacité du traitement est étroitement liée à l'action du mélange, et au dosage.

Deux phases d'inactivation des germes pathogènes se succèdent lors de ce traitement : une première phase brève pendant laquelle il subsiste du chlore libre qui assure l'essentiel de l'élimination des germes, et une seconde phase beaucoup plus longue et d'efficacité réduite au cours de laquelle interviennent les chloramines.

L'efficacité du système de désinfection par chloration dépend donc de trois paramètres principaux : la température, le temps de contact et la dose de chlore injectée. Pour une dose initiale donnée et pour un temps de contact fixé, la qualité de la désinfection est étroitement liée à la rapidité du mélange initial, qui dépend lui-même de la technologie utilisée.

Une dose minimale de 7 mg/l de chlore est nécessaire à 5°C avec un temps de contact de 40 min pour obtenir un abattement de 4 unités log en E. Coli et en streptocoques fécaux.

3.4.2.2 Traitement par ozonation

Les propriétés bactéricides et virucides de l'ozone bien connues ont conduit au développement du traitement des eaux potables par ce gaz en Europe et aux Etats-Unis. C'est pourquoi l'essentiel des sources bibliographiques sur la désinfection par l'ozone sont relatives au traitement des eaux potables. Très peu concernent la désinfection des eaux résiduaires.

L'ozone (O₃) est un gaz instable et odorant produit industriellement dans un effluveur en faisant passer de l'air ou de l'oxygène sec entre deux électrodes soumises à une différence de potentiel de 15 000 Volt.

Le traitement à l'ozone s'avère équivalent à celui par UV pour la désinfection des eaux résiduaires, l'ozonation présentant cependant un avantage par son action prononcée de désinfection des virus et des kystes de protozoaires.

Le traitement par ozonation, en plus d'être très performant, n'entraîne aucune toxicité et améliore la qualité chimique de l'effluent (couleur, nitrites, DCO, MES). Le traitement par ozonation, en plus d'être très performant, entraîne moins de formation de sous-produits de désinfection dans l'effluent que la chloration. Ceci étant, il forme quand même des sous-produits tels que les bromates. De plus, l'ozonation améliore la qualité chimique de l'effluent (couleur, nitrites, DCO, MES). De plus, ce type de procédé présente des coûts d'installation et de fonctionnement très élevés : 2 à 3 fois supérieurs à ceux d'un traitement par chloration et plus élevés que ceux d'un procédé de traitement UV.

Le gaz ozoné est mis en contact avec l'effluent à désinfecter dans des cuves compartimentées au moyen d'un injecteur, de tubes poreux ou d'une turbine spéciale de dispersion. La fourniture d'ozone est ajustée aux besoins au fur et à mesure du déroulement du traitement.

En général, 4 cuves sont utilisées : les deux premières assurent le mélange et le contact effluent-ozone, les deux suivantes optimisent le traitement.

L'ozone dissous va d'une part oxyder de nombreux cations métalliques et halogénures, et d'autre part réagir avec les matières organiques pour former des ozonides très instables dont l'activité désinfectante est totalement inconnue. L'ozone agit sur les protéines membranaires ainsi que sur le potentiel énergétique des microorganismes. Son oxydation puissante limite les risques de reviviscence des bactéries. Au même titre que la chloration, l'ozonation forme des SPD (bromates, etc.) dont certains sont potentiellement dangereux pour l'environnement et la santé.

3.4.2.3 Traitement par ultraviolets

Les rayons Ultra-Violet ont un pouvoir germicide reconnu depuis la fin du siècle dernier. La technologie par rayonnement UV est couramment employée en désinfection des eaux résiduaires épurées aux Etats-Unis et au Canada. Cette technique de désinfection est considérée par de nombreux auteurs comme l'une des meilleures alternatives à la chloration.

Le procédé de désinfection par rayonnement UV présente en effet plusieurs avantages :

- ✔ Ni stockage, ni dosage, ni manipulation de produits chimiques,
- ✔ Grande compacité, d'où une emprise au sol et un génie civil peu importants,
- ✔ Pas de modification des caractéristiques physico-chimiques de l'effluent et pas de création de sous-produits toxiques,
- ✔ Grande efficacité face aux virus (supérieure à celle du chlore),
- ✔ Aucune sensibilité du rendement aux variations de température.

Ce procédé s'avère plus avantageux d'un point de vue économique que le procédé d'ozonation pour le traitement des eaux résiduaires, car il présente des coûts plus faibles d'installation et de fonctionnement. Cependant, un inconvénient majeur souvent reproché à ce procédé est une possible photo-réactivation de certains micro-organismes ayant été soumis aux rayonnements UV.

Les rayonnements UV sont des ondes électromagnétiques de longueur d'onde comprise entre 100 nm et 400 nm. Ce sont les UVC, compris entre 200 nm et 280 nm qui sont les plus puissamment germicides, la longueur d'onde la plus couramment utilisée étant 254 nm.

Les rayonnements UV sont émis par des lampes à vapeur de mercure à haute ou basse pression. L'excitation des atomes de mercure produite par une décharge électrique conduit à l'émission de radiations de longueur d'onde 254 nm. L'effluent passe en fine lame dans une chambre de contact où il est soumis à ce rayonnement. Pour assurer une désinfection satisfaisante en permanence, l'appareil doit fournir une dose de rayonnement UV minimale de 16 mWs/cm² au point le plus éloigné de la chambre de contact quels que soient le débit entrant et la qualité de l'eau à désinfecter (Dupontreue, 1989). Le dimensionnement prévoit en général un débit de 100 mWs/cm² et un temps de contact de 10 à 20 secondes.

La méthode de traitement des eaux usées par les UV repose sur l'inactivation des micro-organismes : le matériel génétique, et plus précisément les molécules d'ADN et d'ARN absorbent l'énergie des radiations UV.

Le mécanisme d'inactivation le plus fréquent est la formation de dimères entre deux bases pyrimidiques (Thymine et Cytosine) adjacentes sur le même brin d'ADN, pouvant entraîner l'interruption de la transcription et de la répllication de l'ADN. Plus la quantité de ces dimères dans la molécule d'acide nucléique est élevée, plus la duplication cellulaire est rendue difficile. L'effet germicide des UV ne consiste donc pas en une destruction immédiate des micro-organismes, mais essentiellement en leur incapacité à se multiplier.

3.4.2.4 Traitement par infiltration

L'infiltration contrôlée dans le sol paraît être une technique appropriée pour la désinfection en zone littorale, notamment pour la protection des zones sensibles. En effet, cette technique est rustique et simple et permet une désinfection pendant toute l'année (contrairement au lagunage). Ce procédé est dérivé de techniques d'épuration très anciennes. Au XIX^e siècle, les effluents de plusieurs grandes villes d'Europe étaient traités dans des champs d'épandage. La version moderne de ce procédé a pour nom l'infiltration percolation.

Du fait de son efficacité sur la charge organique et bactérienne, l'infiltration contrôlée dans le sol est une bonne technique de substitution à une station d'épuration ou à un traitement tertiaire, notamment dans les zones sans exutoire direct, soit pour protéger les nappes phréatiques, dans les zones dunaires littorales, soit pour éviter un rejet concentré en mer ou dans les plaines alluviales, soit pour limiter la pollution bactériologique des rivières. D'autres avantages lui sont attribués : absence de production de boues, absence de consommation d'énergie et de réactifs, faible coût. Son inconvénient principal est l'étendue nécessaire au traitement : environ 1 m² par équivalent-habitant. Cette contrainte ne constitue cependant qu'un dixième de celle imposée par le lagunage. Du fait de la difficulté, voire l'impossibilité de mesure, peu de valeurs de suivi sont disponibles dans la littérature.

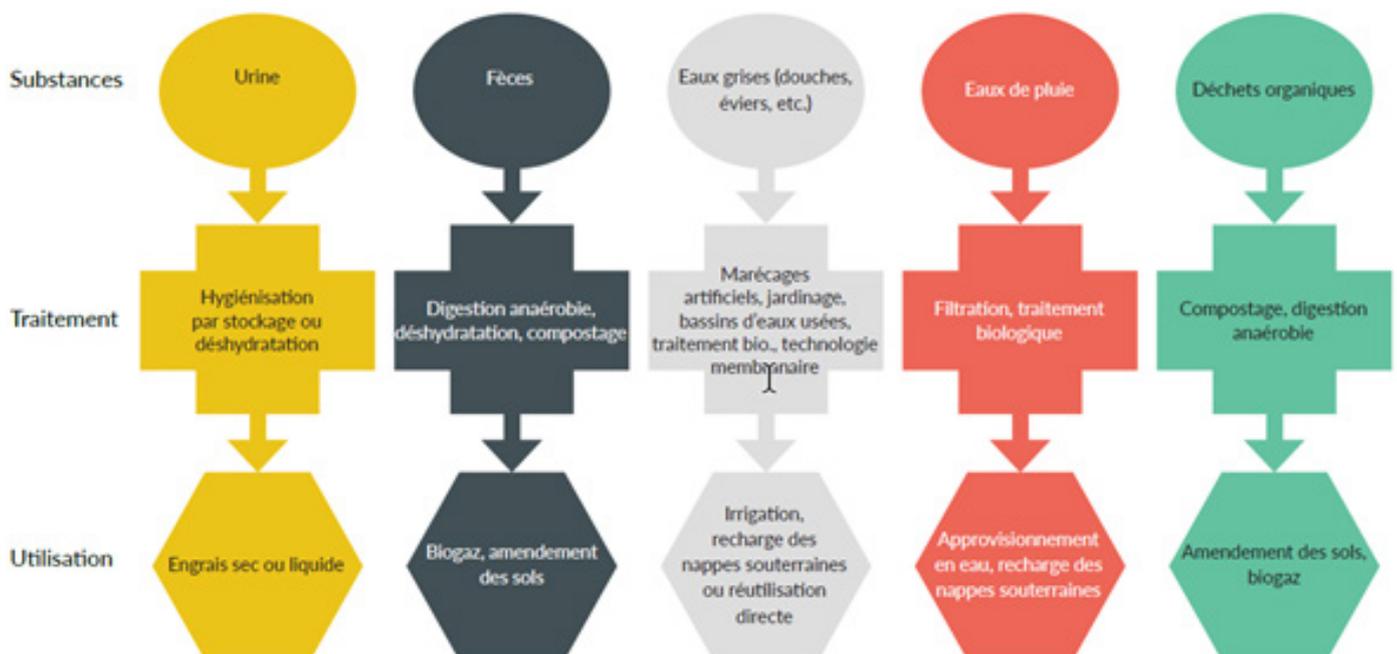
L'infiltration percolation est une technique d'épuration biologique aérobie d'un effluent sur milieu granulaire fin. Le principe est basé sur l'utilisation de différentes zones :

- Une première zone superficielle de filtration permettant la retenue des matières en suspension non éliminée pendant le traitement amont. Cette retenue a pour effet un colmatage de la zone, permettant ainsi une limite des vitesses et une répartition latérale des eaux dans les massifs filtrants. Un colmatage trop important serait nuisible car il priverait d'oxygène le massif filtrant. Il est donc primordial d'instaurer des phases de séchage et de décolmatage de cette zone.
- Puis vient la zone supérieure du massif filtrant, non saturée, à écoulement vertical, siège de l'épuration de l'eau. De par sa nature granulaire, cette zone permet la fixation de bactéries responsables de l'oxydation de la pollution dissoute. La décontamination opère si le temps de séjour de l'effluent dans le massif filtrant est suffisant. Pour cela, il faut soit augmenter l'épaisseur de cette zone, soit diminuer la charge polluante. Les cheminements préférentiels de l'effluent à travers le massif filtrant sont à éviter absolument.
- Et enfin la zone inférieure, saturée, à travers laquelle s'écoule horizontalement la nappe phréatique qui évacue les eaux traitées.

3.4.3 Adapter le traitement et l'utilisation aux eaux usées brutes

Les règles de réutilisation des eaux usées traitées diffèrent selon l'utilisation que l'on souhaite en faire. Ainsi, les eaux usées, selon leur nature et leur provenance, sont plus adaptées à certaines utilisations que d'autres.

De même, en fonction de la qualité initiale des eaux et de la qualité visée de l'eau en sortie, certains traitements sont à privilégier. Le tableau suivant résume les optimisations recommandées en fonction du type d'eaux brutes, de traitement et d'utilisation ultérieure envisagée.



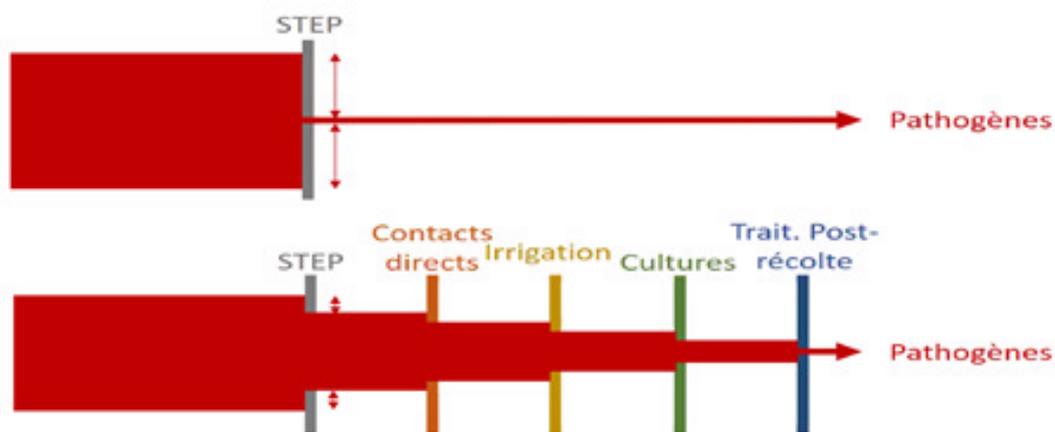
Source: UNESCO-PHI/GTZ (2006, fig. 4, p. 15).

3.5 Le traitement des eaux usées pas forcément le rempart unique de sécurité

Le traitement des eaux usées au niveau des stations d'épuration proprement dites ou en traitement complémentaire à ces dernières, augmente la sécurité de la chaîne globale de réutilisation des eaux usées traitées. Ceci étant, des barrières ou des mesures de protection complémentaires peuvent être prises en compte pour atteindre le niveau de sécurité imposé (ou souhaité).

L'approche multibarrière permet d'abaisser la pression sur le traitement, les objectifs de qualité d'eau au niveau de l'usage sont les résultats de plusieurs activités qui représentent chacune des barrières à des risques sanitaires.

Schéma de l'approche barrière pour l'usage agricole



Source : INRAE

Cette approche permet de considérer l'ensemble des processus et mesures pour réduire la probabilité de contact avec les micro-organismes qui sont potentiellement infectieux et atteindre le niveau de risque sanitaire admissible au regard de l'usage considéré.

Les barrières sont des activités très diverses qui permettent de sécuriser l'approvisionnement de l'EUT en terme de qualité, elles peuvent s'appliquer :

- aux contacts directs : épandage des EUT, pose de clôture, exigences en matière de la dérive de pulvérisation, protection physique et vaccinale des personnes en contact avec l'eau ;
- aux méthodes de recharge de nappe : infiltration dans des milieux de nature imperméable, comme les couches argileuses avant injection dans la nappe qui peuvent devenir des barrières très efficaces ;
- aux méthodes d'irrigation : nécessité d'utiliser des méthodes : goutte-à-goutte, aspersion, canal ouvert ;
- aux restrictions portant sur les cultures : types de produits autorisés, application de restrictions, éducation des agriculteurs et de la population
- au traitement post-récolte : port de vêtement de protection exigé pour les travailleurs, lavage des produits récoltés, etc.

Cela peut également concerner l'amont du système de traitement et l'accompagnement de la mise en œuvre de la REUT comme :

- ✔ La collecte des eaux usées : les droits d'accès, droits d'utilisation, par exemple bannir certaines activités à raccorder au réseau (équarissage par exemple),
- ✔ La surveillance : mettre en place un système de suivi des contrôles ;
- ✔ Des campagnes de sensibilisation sur le risque invisible des agents pathogènes qui doivent accompagner la promotion de ces pratiques.

Dans le tableau suivant, nous avons retranscrit des exemples de barrières et leurs efficacités.

Organismes et références	Liste des barrières ou de mesures de protection supplémentaires	Réduction d'exposition aux pathogènes en unité log	Nombre de barrières équivalentes
OMS Directives pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères de 2012	Confère la fiche relative à l'OMS figurant dans le paragraphe n°2.2	-	-
Union européenne Règlement européen sur relatif aux exigences minimales applicables à la réutilisation de l'eau de 2020	Contrôle des accès	-	-
	Mesures supplémentaires de désinfection ou d'élimination des polluants	-	-
	Techniques d'irrigation spécifiques atténuant le risque de formation d'aérosols (irrigation goutte-à-goutte, par exemple)	-	-
	Exigences spécifiques pour l'irrigation par aspersion (vitesse maximale du vent, distance entre les asperseurs et les zones sensibles, par exemple)	-	-
	Exigences spécifiques applicables aux terres agricoles (inclinaison de la pente, saturation en eau du sol et zones karstiques, par exemple)	-	-
	Aide à l'élimination des agents pathogènes avant la récolte	-	-
	Etablissement de distances minimales de sécurité (par rapport aux eaux de surface, y compris les sources destinées au bétail, ou aux activités telles que l'aquaculture, la pisciculture, la conchyliculture, la baignade et autres activités aquatiques, par exemple)	-	-
	Signalisation sur les sites d'irrigation indiquant que de l'eau de récupération est utilisée et qu'elle est impropre à la consommation	-	-
AFNOR Normes NF ISO 16075 de 2015 : Lignes directrices pour l'utilisation des eaux usées traitées dans les projets d'irrigation : - Partie 1 : les bases d'un projet de réutilisation pour l'irrigation (annulées le 03/03/2021) - Partie 2 : développement du projet (annulée le 10/03/2021)	Irrigation goutte-à-goutte à plus de 25cm	2	1
	Irrigation goutte-à-goutte à plus de 50cm	4	2
	Irrigation goutte-à-goutte souterraine sans remontée capillaire d'eau à la surface	6	3
	Irrigation de cultures basses par arroseurs et micro-arroseurs, à plus de 25cm du jet d'eau	2	1
	Irrigation d'arbres fruitiers par arroseurs et micro-arroseurs, à plus de 50cm du jet d'eau	4	2
	Légère désinfection	2	1
	désinfection poussée	4	2
	Séparation des légumes des eaux d'irrigation (goutte-à-goutte) par une bâche résistante aux UV	2 à 4	1
	Inactivation naturelle ou favorisée des agents pathogènes par l'arrêt ou l'interruption de l'irrigation avant la récolte	0,5 à 2 par jour	1 à 2
	Lavage des fruits et légumes à l'eau potable avant leur vente	1	1
	Désinfection puis rinçages à l'eau potable des fruits et légumes avant leur vente	2	1
	Pelage des fruits et légumes à racine	2	1
	Immersion dans l'eau bouillante ou cuisson à haute température des produits	6 à 7	3
	Restriction d'accès pendant 24 h après irrigation	0,5 à 2	1
	Restriction d'accès pendant 5 j après irrigation	2 à 4	4
	Cultures fourragères ou séchées au soleil et récoltées avant leur consommation	2 à 4	2
Irrigation de nuit, lorsque le public n'a pas accès aux parcs, terrains de sport et jardins irrigués	0,5 à 1	1	
Irrigation par aspersion contrôlée, distance minimale de 70m des habitations ou lieux accessibles au public	1	1	

Organismes et références	Liste des barrières ou de mesures de protection supplémentaires	Réduction d'exposition aux pathogènes en unité log	Nombre de barrières équivalentes
AUSTRALIAN GUIDELINES Australian Guidelines for Water Recycling: Managed Aquifer Recharge (NRMM, EPHC, et NHMRC – 2009) Australian Guidelines for Water Recycling: Stormwater Harvesting and Reuse (NRMMC, EPHC et NHMRC – 2009) Australian Guidelines for Water Recycling: Augmentation of Drinking Water Supplies (NRMMC, EPHC et NHMRC – 2008) Australian Guidelines for Water Recycling: Managing Health and Environmental Risks (NRMMC, EPHC et AHMC – 2006)	Cuisson ou transformation des produits	5 à 6	-
	Épluchage des aliments avant consommation	2	-
	Irrigation goutte-à-goutte	2	-
	Irrigation goutte-à-goutte avec contact sol-aliment limité (ex: tomates)	3	-
	Irrigation goutte-à goutte souterraine sans contact sol-aliment (ex: pommes)	5	-
	Irrigation souterraine de cultures hors sol	4	-
	Irrigation interrompue	0,5 log/jour	-
	Irrigation interrompue pour les parcs et les terrains de sport (1 à 4 h)	1	-
	Irrigation par aspersion contrôlée (micro-asperseurs, systèmes anémométriques, projection vers l'intérieur, etc.)	1	-
	Irrigation goutte-à-goutte de buissons et de plantes	4	-
	Irrigation souterraine de buissons, de plantes ou de pelouses	5,6	-
	Pas d'accès au public pendant l'irrigation	2	-
	Pas d'accès au public pendant l'irrigation et contact restreint le reste du temps (ex: irrigation de cultures vivrières)	3	-
	Zones tampons (25-30 m)	1	-

4- Viabiliser un projet de REUT

La REUT est un sujet spécifique qui implique un nombre important d'acteurs pour la mise en place d'un projet. Sa spécificité et son caractère novateur, en particulier sur la maîtrise des risques sanitaires, en font une thématique difficile à mettre en œuvre dans un projet. Afin de viabiliser un projet de REUT il convient d'être attentif à la bonne réalisation de certaines tâches. À titre d'illustration, une liste de tâches, qui ne se veut pas exhaustive, est présentée ci-dessous.

4.1 S'informer sur la politique du pays

Comme énoncé dans la partie précédente l'aspect réglementaire est un aspect primordial dans la mise en œuvre d'un projet de REUT. Le premier frein à un projet peut être la politique du pays. Il faudra absolument définir le projet autour des règles exigées par le pays. Dans certains pays, la REUT est très peu développée, voire inexistante ; aucune norme n'est alors fondée, ou bien elles reposent sur des normes déjà établies dans d'autres pays comme les États-Unis ou celles de l'OMS. Dans le cas où aucune règle ne régit la REUT, il faudra tout de même être bien au fait des procédures administratives à réaliser pour que le projet soit validé. Pour cela il faudra répondre aux questions suivantes :

■ Existe-t-il une réglementation sur la REUT ?

- Si oui, prendre connaissance des textes législatifs opérationnels pour la REUT, et des normes ou des valeurs guides (qui plus est si elles sont appelées à entrer dans la réglementation).
- Prendre connaissance de toutes les contraintes liées à l'utilisation des EUT, notamment des domaines prohibés (ex : usages urbains)
- En l'absence de textes réglementaires particuliers sur la REUT, une recherche des projets en cours ou réalisés sera nécessaire pour positionner le projet dans le cadre de développement de la thématique dans le pays

■ Comment construire mon projet de REUT ?

- Respecter, dans le cadre réglementaire identifié s'il existe, les normes spécifiques au pays pour chaque type d'usage
- S'appuyer sur les résultats de références semblables au projet dans le pays

■ La réglementation sur la REUT va-t-elle évoluer ou être créée ?

- Anticiper l'évolution de la réglementation pour être conforme dans le futur et/ou ne pas être bloqué durant la mise en œuvre du projet.

4.2 Définir le but du projet de REUT

Bien définir son projet et ses objectifs est indispensable pour démarrer et justifier l'installation d'un système de REUT. De plus, l'objectif fixé influera sur les technologies utilisées. En effet, en fonction de l'usage souhaité le traitement de l'eau devra être plus ou moins poussé.

Quel que soit le but du projet, il faudra qu'il soit cohérent et ciblé. Il peut être lié à différents types d'enjeu :

- À vocation quantitative : pénurie d'eau, stress hydrique, recharge de nappe, etc.
- De nature environnementale : protection des milieux, limitation des rejets dans le milieu naturel.
- Afin d'améliorer le contexte économique en apportant une nouvelle ressource et favoriser le développement.

Définir les objectifs et enjeux du projet à court, moyen et long terme va ainsi permettre la projection et l'intégration du projet dans le développement de la région dans laquelle il va s'installer, ce qui favorise, à la fois, l'intégration du projet au sein des autres projets de développement, et une meilleure sensibilisation des acteurs, facilitant sa mise en œuvre.

ENJEUX

Quels enjeux Quantitatifs ?

- Pénurie d'eau
- Stress hydrique

Quels objectifs Quantitatifs ?

- Mise à disposition d'une ressource directement disponible
- Recharge de nappe

Quels enjeux Qualitatifs ?

- Protection des milieux
- Maîtrise des risques sanitaires

Quels objectifs qualitatifs ?

- Améliorer la qualité sanitaire d'un rejet
- Limiter le volume d'EUT rejeté dans le milieu naturel

OBJECTIFS

IMPACTS

Quels impacts économiques ?

- Développement agricole d'une région
- Pérenniser une filière agricole menacée par un stress hydrique croissant
- Offrir à une collectivité une ressource en eau alternative à l'eau potable pour des besoins d'arrosage d'espaces verts, de lavage de voirie...
- Accroître la compétitivité d'industries pouvant consommer de l'eau non potable dans leur process
- Développer l'attractivité des zones : favoriser la création ou le maintien d'activités de loisir, comme le golf...

On peut synthétiser simplement le cadre de la démarche de mise en œuvre d'un projet de REUT dans le tableau suivant :

	ENJEUX	OBJECTIFS
Quantité	Juguler une situation de stress hydrique ou de pénurie freinant le développement économique	Mise à disposition d'une ressource en eau supplémentaire
Qualité	Protéger le milieu naturel (zone d'intérêt écologique, zone de captage, zone de baignade...)	Réduire les rejets directs dans le milieu naturel

A noter que la REUT ne doit pas être considérée comme une finalité en soi, surtout si seul l'enjeu quantitatif est à considérer. Elle peut être une solution parmi d'autres (transfert de ressource, stockage intra-annuel...).

4.3 Définir le lieu d'implantation du système de REUT et les usages concernés

Un système de Réutilisation d'Eaux Usées Traitées compte plusieurs niveaux :

- Le traitement : généralement traitement complémentaire en aval d'une STEU, mais il peut aussi s'agir d'un lagunage réunissant traitement secondaire et tertiaire, d'un bioréacteur à membrane atteignant déjà de bonnes performances en abattement bactériologique, etc. ;
- Le stockage, à dimensionner afin de tamponner l'écart entre l'offre continue et la demande en eau souvent plus irrégulière ;
- Le pompage (les procédés de REUT étant la plupart du temps pressurisés) ;
- L'acheminement : il s'agit de la partie « critique » pouvant peser sur les coûts de manière rédhibitoire, tout en compliquant la maîtrise du risque sanitaire ;
- La distribution à la parcelle : réseau interne de l'usager, qui peut être un agriculteur, un golf, une collectivité pour ses espaces verts, etc., voire au sein d'un process industriel.

Une fois que l'opportunité REUT a été identifiée, il convient de choisir le lieu d'implantation de l'installation de façon anticipée dans le déroulement des étapes de projet. En effet, dans de nombreux cas, le prix de revient de l'eau de REUT est peu compétitif par rapport à celui des eaux dites « conventionnelles » et même dans le cas où cette ressource ne serait pas concurrencée, la capacité à payer de l'usager est limitée.

A cet égard, le principal levier sur lequel on peut jouer est au niveau de l'acheminement. Aussi, au stade de l'étude de faisabilité, il est conseillé de prendre en compte les usages potentiels en accordant une importance particulière dans l'analyse à leur éloignement par rapport à la source (généralement une STEU).

Un autre levier important se situe au niveau des exigences de traitement à consentir. La réglementation, soucieuse de l'application du principe de précaution, est assez stricte vis-à-vis du risque sanitaire. Cependant, dans la plupart des pays, elle autorise tout de même la réalisation de projets avec une eau de qualité bonne à intermédiaire (dans l'exemple français : niveau de qualité B, voire C dans des cas limités). Il convient de prendre en considération qu'avec de tels objectifs qualitatifs, la rentabilité financière d'un projet de REUT pourra être favorisée.

Ainsi, en phase de faisabilité, l'aménageur aura à cœur de recenser ses besoins, en les passant aux filtres de critères comme l'éloignement et la qualité d'eau requise au point d'usage (plus éventuellement d'autres spécifiques au projet).

4.4 Identifier les acteurs impliqués dans le projet de REUT

L'aménageur devra accorder une attention particulière à l'identification de la chaîne d'acteurs entre l'effluent de sortie de STEU utilisé et le(s) point(s) d'usage, en veillant à ce que les missions de chaque acteur soit clairement définies, notamment vis-à-vis des enjeux sanitaires, sans négliger le risque potentiel de redéveloppement des pathogènes dans le réseau d'acheminement. Le nombre et le type des acteurs impliqués dans un projet de REUT est spécifique au projet lui-même. En effet, en fonction de l'usage final, des objectifs du projet, les acteurs mis en relation seront différents. Les acteurs impliqués vont rassembler à la fois les acteurs du projet de REUT stricto sensu, mais aussi les gestionnaires du secteur de l'assainissement, du fait du lien de la REUT avec l'assainissement, ainsi que des acteurs extérieurs qui pourraient être impactés indirectement par le projet.

Les acteurs du projet rassemblent :

- Le maître d'ouvrage du projet ainsi que toute entité le représentant quelle que soit la phase d'avancée du projet
- La collectivité ou région accueillant le projet de REUT
- Les financeurs du projet
- Les acteurs administratifs et réglementaires
- Les prescripteurs (ingénieur-conseil, maîtres d'œuvre...)
- Le ou les constructeurs de la/des solutions technologiques
- Les laboratoires d'analyses pour le suivi de la qualité de l'eau distribuée
- L'usager final (ou les usagers finaux)
- L'Exploitant (ou les exploitants)
- Les riverains / acteurs extérieurs

Les acteurs extérieurs sont représentés par les populations ou professionnels environnants, qui doivent être informés de la mise en place d'un projet de REUT et des dispositions que cela implique.

Deux types de communication doivent être mises en place pour viabiliser le projet : une bonne communication interne entre tous les acteurs du projet de REUT et une bonne communication externe (vers les acteurs extérieurs) : réunions publiques de sensibilisation, diffusion d'informations par voie de presse, création d'un site internet...

Il est important, dès le départ, de fixer les rôles et devoirs de chaque membre interne au projet afin de ne négliger aucune problématique. Il est important de rendre compte régulièrement des actes et avancées de chacun et de communiquer régulièrement entre tous les membres pour que chacun connaisse les avancées de l'autre. La seule communication interne, même avec les services nationaux responsables des démarches administratives/ réglementaires ou les financeurs, n'est pas suffisante pour permettre l'implantation d'un projet de REUT avec un bon niveau de préparation.

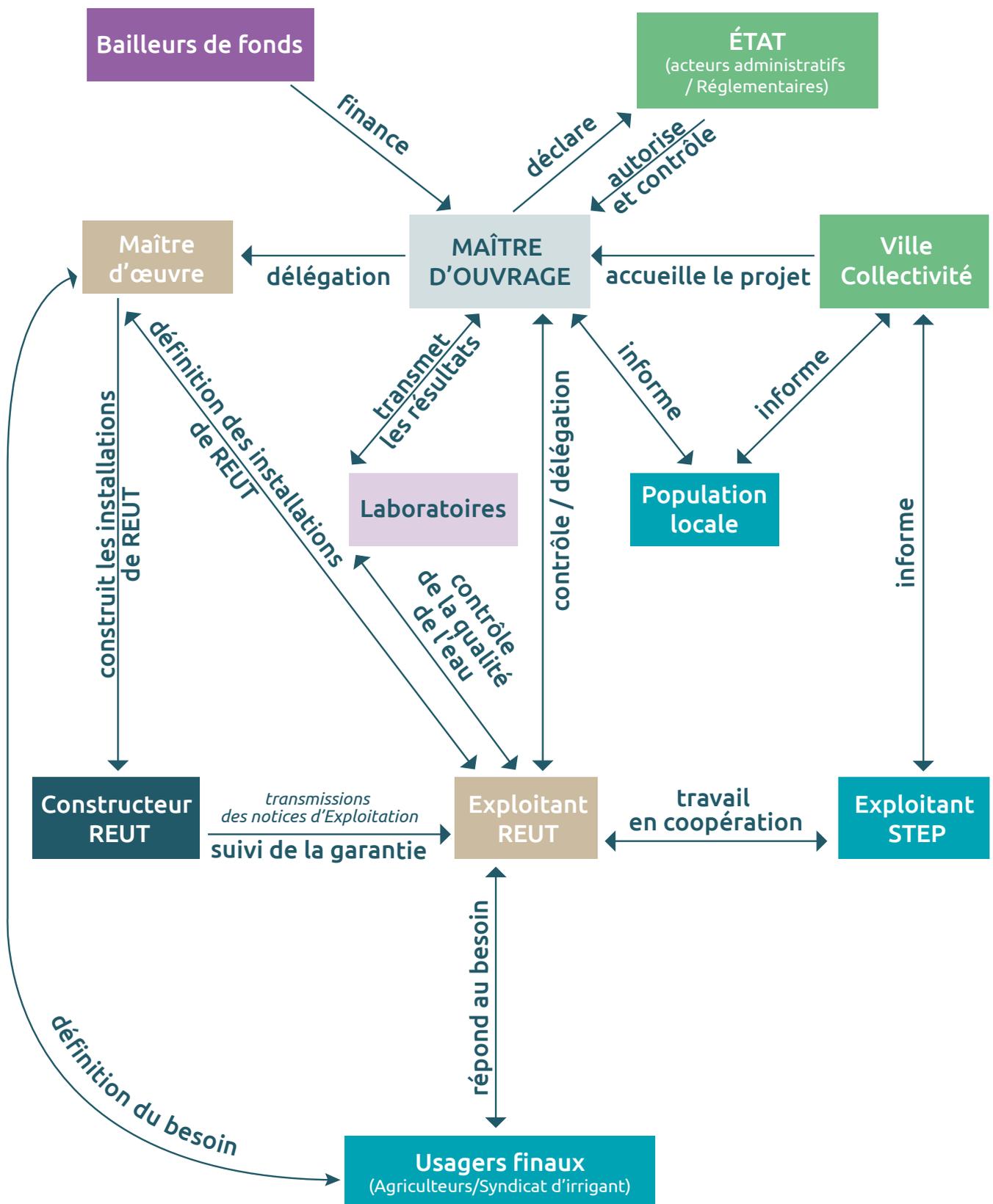
La REUT vient, par définition, se placer dans la continuité d'une filière d'assainissement des eaux, ce qui implique une dépendance vis-à-vis des acteurs de l'assainissement. Dans le cas où l'exploitant de la station de traitement des eaux usées n'est pas déjà un membre interne au projet de REUT, il est vital d'établir une bonne communication et capacité d'échange d'informations avec lui. En effet les conditions d'exploitation de la station influencent fortement le choix du type de traitement ou de performance/fonctionnement des installations de REUT.

Les acteurs extérieurs, impactés indirectement par le projet de REUT (ex : populations environnantes aux champs agricoles irrigués avec des EUT) doivent être informés et sensibilisés au projet de REUT afin d'éviter toute incompréhension ou peur menant à un rejet social du projet. (cf. Acceptabilité sociale ci-dessous)

Il est possible, en fonction de l'envergure du projet et de l'usage souhaité (des usages souhaités), que la liste des acteurs à réunir soit réduite, du fait de responsabilités cumulées pour certaines entités. Cependant, dans le cas où chacune des entités énoncées dans ce paragraphe est indépendante, le nombre d'acteurs à mettre en relation est conséquent et demande la réalisation d'un plan de communication antérieur au démarrage du projet. Une mauvaise communication peut conduire non seulement à une mise en place du projet longue et difficile mais aussi à l'abandon possible de celui-ci.

L'organigramme ci-dessous présente la multiplicité des acteurs en jeu dans la REUT dans un cas complexe où la plupart des entités sont bien séparées :

Projet de REUT



Exemple d'organigramme des acteurs de la REUT

4.5 S'informer sur l'acceptabilité sociale

La REUT se heurte souvent à la sensibilité, voire à l'inconfort culturel ou religieux, des populations vis-à-vis d'une réutilisation d'eau contenant des déchets humains. Il est important de jauger l'acceptabilité sociale liée au projet de REUT auprès des populations et entités concernées. La non acceptabilité sociale peut être un frein à la mise en œuvre d'un projet de REUT malgré le respect de la législation. La REUT reste souvent un sujet émergent, qui n'est pas encore rentré dans les mœurs, du moins dans la plupart des pays. Pour connaître l'opinion de la population concernée sur le projet il conviendra de :



- Sensibiliser les populations ou acteurs de la future zone d'implantation à la problématique de la REUT
- Effectuer des campagnes d'information et de communication auprès des usagers afin de donner tous les renseignements nécessaires et d'assurer à la population la maîtrise de tous les volets de la REUT, et notamment en ce qui concerne les aspects sanitaires.
- Réaliser des sondages auprès de la population pour évaluer son attitude face à la REUT. Il est intéressant et utile d'effectuer ces sondages à différents stades de la campagne de sensibilisation afin d'estimer l'effet des campagnes d'information/sensibilisation.
- Faciliter l'insertion du projet de REUT vis-à-vis de la population en l'inscrivant dans une politique globale de gestion de l'eau.

A l'instar de ce qui a été fait dans certains projets étant cités comme des exemples de réussite (Le Port à la Réunion, Clermont-Ferrand...), un réseau sentinelle animé par des professionnels de santé indépendants pourra être mis en place pour détecter les éventuels risques sanitaires (le but étant de démontrer qu'il n'y en a aucun).

4.6 Avertissements pour la conception d'un projet de REUT

Lors de la conception des installations, certains aspects seront à considérer outre les aspects d'un système classique d'acheminement / distribution d'eau :

- Les choix des technologies de traitement devront être adaptés à l'usage prévu (voir la partie sur les objectifs de la REUT). Il faudra bien cibler les paramètres à surveiller tout au long du traitement pour le projet choisi et évaluer les risques sanitaires.
- Le système de REUT devra être mis en adéquation avec la STEU (variation de qualité de l'effluent secondaire, qualité d'exploitation de la STEU, ...)
- Les utilisations pourront être saisonnières ou non continues, il faudra alors prévoir un stockage ou un rejet possible pendant la période d'inutilisation de la REUT. Dans le cas du stockage, des problèmes de dégradation de la qualité d'eau peuvent survenir et il conviendra de suivre l'évolution de la qualité tout au long de cette période.
- Les installations dépendront du nombre et du type de populations concernées (voir la partie sur l'acceptabilité sociale).
- La limitation de la consommation d'énergie devra également être prise en compte pour ne pas rendre rédhibitoire la contrainte financière (traitement complémentaire, pompage...)

4.7 Avertissements pour l'exploitation d'un projet de REUT

Une fois le projet conçu, pour qu'il se pérennise, il conviendra :

- Lorsque plusieurs opérateurs se relayent dans la chaîne de traitement / acheminement, de bien définir les rôles de chacun (au moyen de conventions), pour éviter les doublons et les chevauchements de tâches, ou a contrario les lacunes nées de malentendus entre parties ;
- D'effectuer des analyses et suivis réguliers de certains paramètres choisis en fonction du projet, à certains points névralgiques des installations. La liste des paramètres à suivre peut être établie sur base des paramètres définis dans la réglementation en vigueur. Il peut être utile d'aller au-delà de la réglementation afin de ne pas sous-estimer les risques, par exemple vis-à-vis de la salinité, des légionnelles et/ou polluants émergents.

En outre, il conviendra de s'assurer que toutes les précautions d'usage sont bien prises au niveau du personnel d'exploitation, l'image projetée par les acteurs internes au projet devant être exemplaire vis-à-vis des acteurs externes.

4.8 Aspect financier et économique

- Pour calculer l'intérêt financier et économique, il convient d'évaluer :
- [FIN] Le montant des investissements des ouvrages
- [FIN] La consommation énergétique d'un tel système
- [FIN] Les frais d'exploitation / maintenance
- [FIN] La quantification des bénéficiaires de la REUT
- [FIN] Le volume de REUT par usage
- [ECO] La valeur ajoutée par m³ d'eau réutilisée
- [ECO] Le nombre d'emplois créés
- [ECO] Le nombre d'emploi maintenus
- [ECO] Le coût des impacts négatifs évités si ce projet n'avait pas abouti
- [FIN et ECO] La durée prise en compte par l'analyse
- [ECO] : les effets induits : amélioration des conditions sanitaires, de l'environnement, etc.

Ainsi, la rentabilité du projet doit être étudiée afin de préciser sa viabilité financière et économique, en fonction des facteurs ci-dessus. Lorsqu'il n'y a pas de ressource alternative à la REUT, l'aspect économique doit autant que possible primer sur l'aspect financier, qu'il est toujours possible de résoudre en monétarisant les retombées indirectes (les clés de ces considérations étant détenues par les acteurs des politiques publiques).

Les outils d'analyse à privilégier en étude de faisabilité sont :

- [FIN] l'analyse multicritères
- [ECO] l'analyse cout-bénéfice (ACB), voire l'analyse du cycle de vie (ACV).

L'analyse financière doit intégrer de façon transparente au sein de la communauté des acteurs internes la réflexion sur l'identification de qui supporte les coûts d'investissement, les coûts d'exploitation / maintenance, et comment ils sont répercutés par la collectivité (surtout si un intérêt économique est avéré) et les usagers finaux, avec quelle clé de répartition.

4.9 Synthèse

■ Considérations techniques

- Réaliser un inventaire des ressources disponibles autour du lieu d'implantation du projet (distributeur d'eau brute, nappe, etc.), et réaliser une étude technico-financière comparative afin de s'assurer de l'opportunité du projet de REUT
- Privilégier une installation de traitement tertiaire à proximité d'une station d'épuration existante et bien s'informer sur les performances de cette STEU. *En effet, en fonction de la qualité de l'eau produite par la STEU, certains systèmes seront plus efficaces que d'autres et/ou moins coûteux.*
- Optimiser le choix des usages à proximité (nature, localisation) de manière à ne pas augmenter de façon rédhibitoire les coûts de traitement et de transfert (canalisation, pompage, ...) en particulier dans les cas où le transfert gravitaire est techniquement difficile.

■ Considérations économiques

- Appréhender le dynamisme du secteur de l'assainissement en termes de collecte des eaux usées et d'épuration dans la région du futur site du projet de REUT
- S'assurer de l'existence d'une demande en eau traitée réelle, en construisant le projet de REUT en concertation avec les futurs bénéficiaires autour d'un projet de développement de territoire ou de création de richesse

■ Considérations législatives et socio-environnementales

- Vérifier la compatibilité de l'implantation des sites d'usage avec la réglementation. *S'il se situe à proximité de zones urbaines, cela peut engendrer des contraintes vis-à-vis de la population, notamment en termes de distribution (ex : aspersion) par rapport à la réglementation. La distance à respecter dépendra aussi de la politique du pays. Il faudra alors évaluer les risques sanitaires en fonction du traitement choisi.*
- Appréhender le niveau d'acceptabilité sociale des populations environnantes au projet ; si nécessaire, engager des campagnes de sensibilisation

■ Considérations opérationnelles

- Doter la maîtrise d'ouvrage des compétences adéquates
- Recruter des prescripteurs, opérateurs et exploitants présentant les garanties suffisantes pour assurer la réussite du projet
- S'assurer d'une bonne définition de la chaîne d'acteurs et de leurs missions respectives

5- Freins à la mise en œuvre des projets de REUT

De nombreux projets de REUT ont déjà vu le jour mais ont vu l'apparition d'un certain nombre de freins conduisant à une mise en œuvre difficile, impliquant des retards de délai ou encore l'abandon du projet.

Il convient de s'appuyer sur le retour d'expérience de ces projets et de porter une attention particulière afin d'anticiper les freins dans la gestation du projet de REUT. Cette identification peut permettre d'éviter des modifications importantes du système après la conception (pas seulement technique, mais aussi organisationnelle, environnementale, sociale, etc.), qui pourraient altérer le projet et générer des surcoûts importants.

Dans les paragraphes suivants est présentée une liste des freins rencontrés les plus fréquents. Ces retours d'expérience sont issus essentiellement de projets menés dans les années 2000 et 2010. Est indiqué entre parenthèses le pays et/ou le projet, ayant fait l'objet de frein. Bien entendu, il ne s'agit pas ici de stigmatiser, mais plutôt de relever des problématiques rencontrées à des moments donnés sur des projets réels. Certaines de ces problématiques ont peut-être été résolues lors de la diffusion du présent document.

5.1 Freins liés à l'encadrement de la REUT

- Absence d'un cadre institutionnel permettant l'affectation des coûts du traitement tertiaire, qui rend le prix de l'eau épurée à payer par les agriculteurs plus cher que l'eau conventionnelle (majorité de pays à un stade plus ou moins prononcé : Maroc, France, etc.). Israël fait office de référence en termes de mise en place d'un cadre institutionnel (cf. paragraphe n°2.2).
- Absence de réglementation et de normes, et donc de repères pour la qualité d'eau selon le besoin (maraîchage urbain à Ouagadougou, Burkina Faso) ;
- Normes trop restrictives (Milan arrosage des prairies, Italie) ;
- Évolution de la législation en vigueur : dans le cas de la présence d'une législation sur la REUT il peut être très utile de s'informer sur les perspectives d'évolution de celle-ci. En effet il se peut que la réglementation se durcisse ou au contraire s'allège ce qui peut avoir un impact sur les démarches à accomplir comme sur les moyens humains et financiers à mettre à en œuvre (projets en gestation en France, comme celui de la commune du Port à la Réunion, avec la révision de l'Arrêté de 2010 en Juin 2014 et avril 2016).

5.2 Freins liés à l'organisation

- Manque de clarté dans la répartition des rôles entre acteurs (recharge de nappe à Nabeul et Korba, Tunisie :
il n'existe aucune convention écrite entre les différents intervenants) générant des questions concrètes restant en suspens en termes de responsabilité et d'obligations : Qui est le propriétaire/gestionnaire des installations de REUT ? Quelles sont les obligations de fourniture/consommation d'eau en qualité et quantité ? Etc.
- Prise en charge des coûts mal définie (recharge de nappe à Nabeul et Korba, Tunisie) : Qui a à sa charge les coûts investissement/exploitation des traitements complémentaires nécessaire à la REUT ainsi que les réseaux et réservoirs associés : L'utilisateur domestique (par exemple au travers de la redevance assainissement) ? Les bénéficiaires de la REUT (agriculteurs, etc.) ? Etat (subventions, etc.) ? Idem pour les bénéficiaires de la REUT.
- Communication insuffisante avec les irrigants et les entités en lien avec les usages environnementaux pouvant générer des incompréhensions voire des tensions (recharge de nappe à Korba, Tunisie : Protestation des agriculteurs vis-à-vis de la limitation des volumes prélevés).

- Absence d'un opérateur officiellement et juridiquement responsable du suivi de la REUT (maraîchage urbain à Ouagadougou, Burkina Faso) : Suivi des bonnes pratiques, suivi de la cohérence avec le développement agricole, communications/pédagogie, etc. Mauvaise acceptabilité sociale / Réticence de la population (Grèce) : Les populations peuvent avoir qu'une idée partielle de l'épuration (confusion entre eaux usées brutes/traitées ou entre REUT/AEP, etc.) avec des idées préconçues altérées et en toile de fond une crainte sanitaire (qualité des produits consommés, etc.) voire environnementale.
- Communication insuffisante auprès des riverains pour prévenir (Limagne Noire en France : confusion sur l'origine d'une nuisance olfactive : une nuisance olfactive rencontrée était attribuée injustement à la REUT).
- Communication insuffisante (lors de pannes, maintenance, etc.) entre l'exploitant de la station de traitement des eaux usées et l'exploitant des installations de REUT alors même qu'ils ont par définition des interfaces fortes.

5.3 Freins liés à la connaissance sur la REUT

- Suivi restreint (impacts, etc.) sur le plan scientifique (recharge de nappe à Nabeul et Korba et soutien hydrologique de la lagune de Korba, Tunisie) : Projets de recherche, suivi analytique, etc.
- Manque d'analyses périodiques de l'eau, du sol et des cultures récoltées (périmètres irrigués avec des EUT, Tunisie)
- Méconnaissance de l'état de l'Art, faute d'ouvrages de référence sur la REUT comme il peut y avoir par exemple en irrigation (Général).
- Manque de vision à long terme (plusieurs décennies) des impacts de la REUT du fait de son caractère globalement récent dans une majorité de pays.
- Les points précédents génèrent une connaissance limitée sur le plan scientifique (recharge de nappe à Korba, Tunisie).

5.4 Freins financiers et économiques

- Prix de revient du m³ trop élevé, commercialisation des EUT difficile (station de Kossodo à Ouagadougou, Burkina Faso) du fait de compétition avec d'autres ressources.
- Manque de rentabilité financière pour les agriculteurs (Tunisie) dans le sens rapport entre les coûts engendrés par la REUT (notamment les coûts d'énergie pour le traitement complémentaire et le pompage) et les bénéfices apportés (hausse des rendements des cultures, hausse de la qualité des produits, hausse des prix de vente, etc.). Pas de possibilité de faire des cultures à haute valeur ajoutée (interdiction d'irriguer des cultures maraîchères avec les EUT).
- Coût d'un réseau parallèle trop important (exemple de la Grèce dans son souhait d'utiliser la REUT uniquement pour les chasses d'eau).
- Distance des usages possibles finaux trop importante (coûts d'investissement des réseaux excessifs)
- Mise en place sans besoin réel proche, concurrence trop importante des autres ressources conventionnelles mobilisables (Espagne - Barcelone).
- Obligation de priorisation budgétaire des collectivités qui est parfois en défaveur de la REUT (Espagne - Barcelone).

5.5 Problèmes de qualité d'eau

- Trop mauvaise qualité d'eau en sortie de la STEP (Tunisie) pouvant perturber voire empêcher le fonctionnement des traitements complémentaires nécessaires à la REUT de fonctionner (départ de boues de la STEP colmatant des filtres, etc.). Cette mauvaise qualité peut également générer des contraintes d'exploitation (curage de lagunes, lavage de filtres, colmatage, etc.) ou des usures prématurées (corrosion, etc.).
- Problème de corrosion et de colmatage dans les installations pour un périmètre éloigné de la station d'épuration du fait d'un temps de séjour long dans le réseau REUT pendant la période de coupure de pompage ce qui permet l'activation des phénomènes d'anaérobiose et de développement bactérien à l'intérieur des canalisations. Ce problème souligne l'importance du choix du matériel d'irrigation (matériaux, technique et équipements d'irrigation, etc.) mais aussi de la qualité d'eau traitée pour la REUT nécessaire. Accumulation de vase dans les lacs de stockage des golfs à cause des MES entraînées par l'effluent, d'où un curage périodique des lacs de stockage impératif (Tunisie). Ce problème est en partie inhérent au choix la technique de traitement complémentaire retenue pour la REUT (lagunes ont une fonction de traitement avec notamment une rétention des MES).
- Irrigation du gazon plus restrictive en termes de qualité dans les golfs : le gazon (GREEN) est très sensible et demande plus d'entretien (Tunisie) du fait de la présence potentielle de différents composants dans les eaux usées.
- Risque de recontamination de l'eau dans un bassin de stockage à l'air libre, en raison d'une forte présence d'avifaune (Noirmoutier, France).

5.6 Problèmes de dimensionnement

- Manque de zones irrigables disponibles au voisinage des stations d'épuration.
- Surfaces équipées qui ne correspondent pas aux surfaces irriguées prévues. Ce problème relevant d'un défaut de définition des besoins ou de conception génère un problème de rentabilité et une contre-référence néfaste au développement de la REUT.

La liste présentée des problèmes connus et recensés de projet de la REUT n'est pas, comme énoncé précédemment, exhaustive mais présente une vision globale des freins à la mise en place d'un projet de REUT. L'anticipation de ces problèmes permettra une meilleure vision de la faisabilité d'un projet.

5.7 Schéma décisionnel

Ci-dessous est présenté un exemple de schéma décisionnel qui fait appel aux différents freins énoncés ci-dessus. La création d'un tel schéma nécessite la priorisation des freins qui peuvent paraître les plus impactants sur le projet. Cette priorisation est spécifique en fonction du lieu d'implantation du projet et nécessite une réflexion amont à toute action.

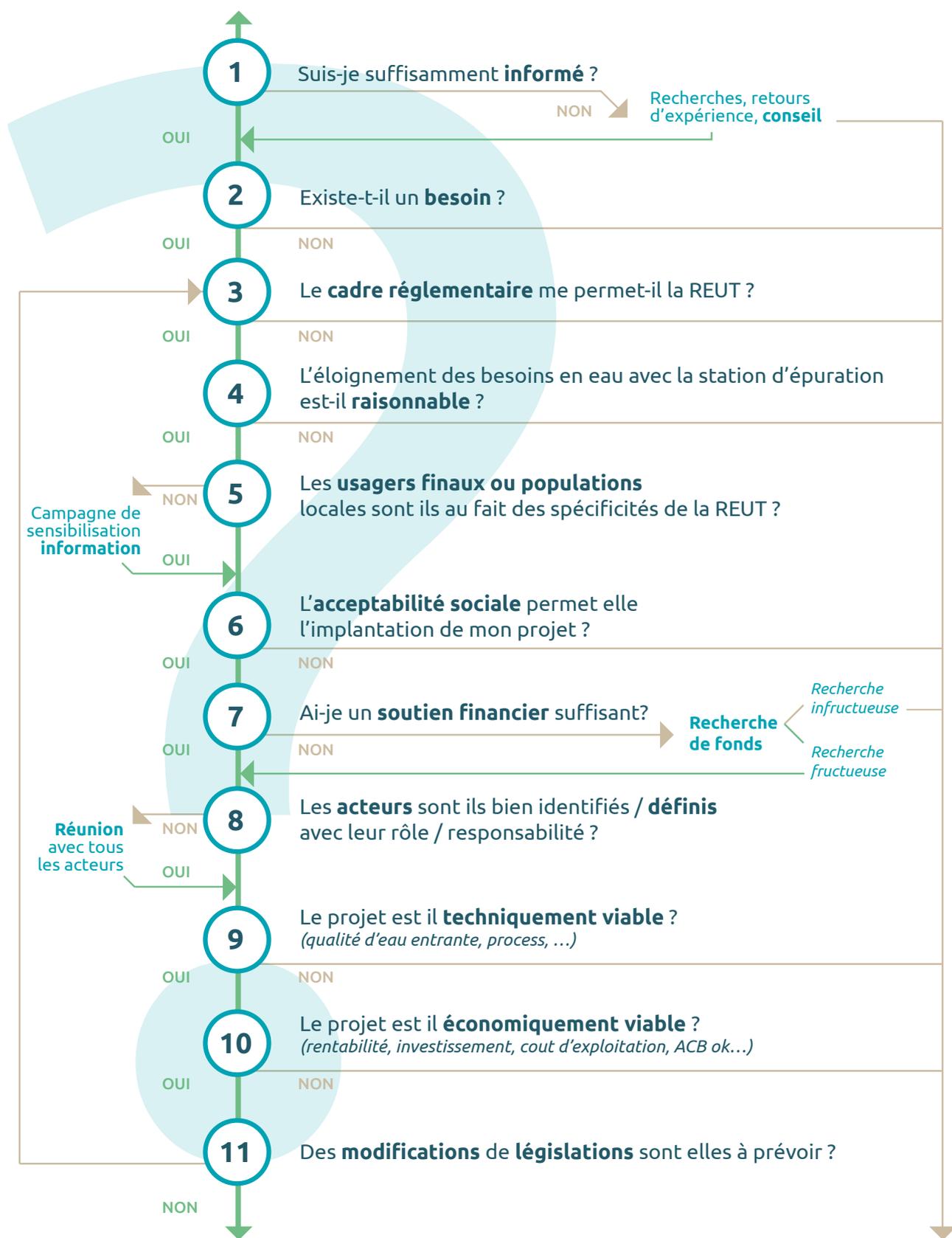
L'exemple ci-dessous présente une possibilité de schéma décisionnel du point de vue du maître d'ouvrage du projet de REUT. Il est à considérer non pas comme un modèle à répliquer dans tous les cas de figure, mais plutôt comme un aide-mémoire des points d'attention à examiner tout au long du processus de mise en œuvre d'un projet de REUT.

Ainsi, l'ordre des tâches pourra être revu. Certaines pourront être traitées de front, plutôt que l'une après l'autre, limitant ainsi le nombre de boucles de rétroaction.

Comme évoqué précédemment, la définition technique du projet sur le plan qualitatif, notamment la définition du niveau de traitement et des usages, pourra faire l'objet de plusieurs itérations. Il s'agit d'une spécificité REUT.

De façon plus évidente, comme pour n'importe quel projet d'aménagement hydraulique, l'enveloppe de desserte pourra le cas échéant être revue en termes de densité et/ou d'éloignement afin d'optimiser la rentabilité financière de l'aménagement.

Les questions d'un projet de REUT



Mise en œuvre du projet de REUT

Révision du projet

6- Exemple d'installation de REUT

6.1 Retour d'expérience du projet NOWMMA

Les éléments fournis dans cette partie sont issus du retour d'expérience des différents membres du projet NOWMMA et du livrable 5.1 - Évaluation technique des filières et notes de dimensionnement..

Les fiches présentées ci-dessous présentent des exemples d'équipements et de filières de réutilisation des eaux usées traitées mis en place, étudiés et optimisés lors du projet NOWMMA. Sont présentés les équipements de filtration et de désinfection composant 3 filières de traitement :

- Une filière « filtre à sable et stockage court » ;
- Une filière « filtre à sable et stockage long » ;
- Une filière « ultrafiltration et stockage (avec option système UV immergé) ».

Ces filières ont été alimentées par l'eau de sortie de station de traitement des eaux usées de la Communauté de Communes du Pays de l'Or (à Mauguio, près de Montpellier).

Ajoutées aux fiches sur les filières de traitement éprouvées durant NOWMMA, des fiches sur les différents modes d'irrigation sont disponibles présentant les spécificités de chacun vis-à-vis de la REUT.

6.1.1 Filières proposées

Le choix d'une filière de traitement de REUT ou d'un mode d'irrigation pour l'utilisation d'EUT doit être réalisé après prise en compte des critères suivants :

- L'usage final des EUT : en effet, on remarque que le type d'usage détermine la qualité d'eau minimale imposée par les différentes réglementations (cf. 2.2 Réglementation). Par exemple, la réglementation française requiert une qualité A pour une utilisation d'EUT destinée à l'irrigation d'espaces verts ouverts au public alors qu'une qualité C est suffisante dans le cas d'une irrigation de cultures céréalières ;
- Le niveau de qualification des futurs exploitants : l'exploitation d'un filtre à sable est relativement simple alors que celui d'une ultrafiltration demande des qualifications plus importantes ;
- La qualité d'eau en sortie de station de traitement des eaux usées : La qualité et la variabilité des concentrations, de l'eau en sortie de STEU détermine les types de procédés de REUT à mettre en place en fonction de l'usage ;
- Les besoins en termes de volume et de fréquence pour l'usage souhaité : ce critère va déterminer le volume d'eau à produire ainsi que le stockage à mettre en place ;
- Le critère financier qui déterminera les possibilités d'investissement et d'exploitation.

Lors de l'exploitation des filières ci-dessous durant le projet NOWMMA, un développement algal est apparu en sortie de clarificateur au niveau du pompage de l'effluent secondaire alimentant les filières de REUT. Pour pallier le dysfonctionnement éventuel lié à ce phénomène, un prétraitement est recommandé pour éviter le problème de colmatage et ainsi améliorer les conditions d'exploitation et de performance des filières.

Filtre à sable - stockage court

1/2

Principe de fonctionnement

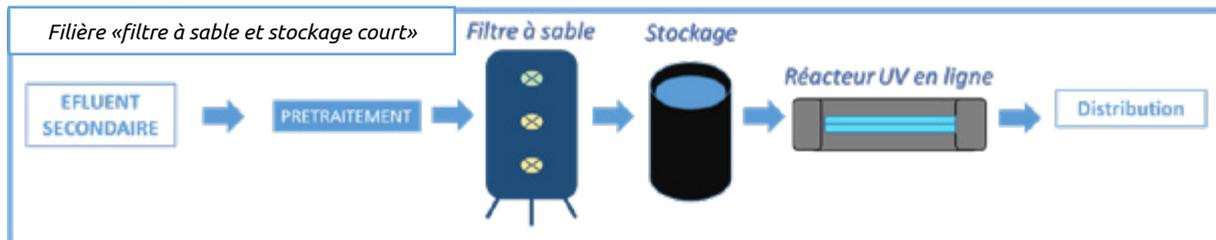


Schéma de la filière filtre à sable et désinfection en ligne - NOWMMA

Le schéma ci-dessus présente la filière. Celle-ci est composée de :

- Un filtre à sable qui réalise l'étape de filtration en permettant l'élimination de matières et particules en suspension présentes dans l'eau par percolation à travers un massif de sable.
- Un ouvrage de stockage.
- Une désinfection UV de type réacteur en ligne permettant l'élimination des agents pathogènes. Le réacteur UV en ligne est un cylindre contenant une ou plusieurs lampes UV dont le but est d'irradier les micro-organismes pour les neutraliser. Il est placé à la suite de l'étape de filtration car une concentration élevée en matières en suspension altère ses performances.

Le format stockage court signifie qu'il n'est pas nécessaire d'attendre un temps de traitement entre la phase de production d'eau traitée et de distribution. En effet avec cette filière, le filtre à sable, capable de produire de l'eau en continuité (hors cycles de lavage, 1 fois par jour en fonctionnement normal) va remplir une cuve de stockage à son aval. Lors de l'appel de débit par l'utilisateur aval, l'eau sera traitée au moyen du réacteur UV en même temps que la phase de distribution.

Performances

La performance de la filière a été déterminée au moyen de campagnes de mesures menées dans le cadre du projet NOWMMA. Ces campagnes de mesures ont été basées sur le suivi de paramètres physico-chimiques et bactériologiques, notamment dans le but de positionner la performance de la filière vis-à-vis de la réglementation française en vigueur sur la REUT.

L'objectif de performance des filières correspond au niveau de qualité A de la réglementation française. Il est important de noter que la performance de la station de traitement des eaux usées de Mauguio permet déjà d'atteindre le niveau de qualité A pour les paramètres physico-chimiques, excepté quelques dépassements.

Concernant les performances de l'étape de filtration (filtre à sable) tous les effluents respectent le niveau de qualité A en sortie de celui-ci (niveau déjà quasi atteint en sortie de STEU).

Filtre à sable - stockage court

2/2

Performances (suite)

Concernant les performances sur les paramètres bactériologiques, réalisées par le réacteur UV sur cette filière, on observe que cette filière permet la production d'une eau de qualité A vis-à-vis des paramètres Escherichia Coli et Entérocoques, soit une bonne élimination de ces indicateurs de contamination fécale. La réglementation se base aussi sur l'élimination des paramètres Bactériophage ARN-F spécifique et Spores BASR. Pour ces derniers (spores) il n'a pas été possible d'atteindre le niveau A. La performance sur ces paramètres est déterminée par l'abattement produit par la filière (4 log). Or bien que la filière permette l'élimination de ces paramètres, ceux-ci étant insuffisamment présent en amont de la filière, l'abattement réalisé n'est donc pas suffisant pour une qualité A.

Cette filière simple est peu sensible aux variations de qualité de l'effluent secondaire. En effet, en cas de mauvais fonctionnement ponctuel de la station de traitement des eaux usées, cette filière permet d'absorber les variations et dégradations de l'eau entrante (dans une certaine mesure) pour produire une eau de bonne qualité. Ce point représente un atout non négligeable de la filière, dans la mesure où l'entité exploitante de la station de traitement des eaux usées et celle des filières de REUT peuvent être différentes.

Exploitation

Cette filière ne requiert que peu de technicité pour fonctionner et une maintenance minimale (vérification du bon fonctionnement de tous les éléments). En effet le filtre à sable est un procédé efficace et relativement rustique pour une durée de vie importante (avec un changement de sable tous les 5 à 10 ans).

Le réacteur UV ne nécessite pas de maintenance particulière mis à part des contrôles réguliers des organes de mesures. Le nettoyage des lampes est simple à mettre en œuvre au moyen d'un système de nettoyage automatique des lampes intégrées dans le réacteur UV. De plus, le changement des lampes est prévu selon leur durée de vie.

Synthèse

AVANTAGES	<ul style="list-style-type: none"> Facile d'utilisation Peu de maintenance Maintenance d'une technicité faible Procédé reconnu et éprouvé Peu sensible au changement de qualité d'eau brute Compatible avec les réservoirs de grande dimension (mais pas testé dans le cadre de NOWMMA) Coût modéré 	<ul style="list-style-type: none"> Pour les usages les plus exigeants en objectif qualitatif et les plus sensibles : Malgré un niveau de performance élevé, n'atteint pas le potentiel d'une filière par ultra-filtration. 	INCONVÉNIENTS
------------------	--	---	----------------------

Filtre à sable - stockage long

1/2

Principe de fonctionnement

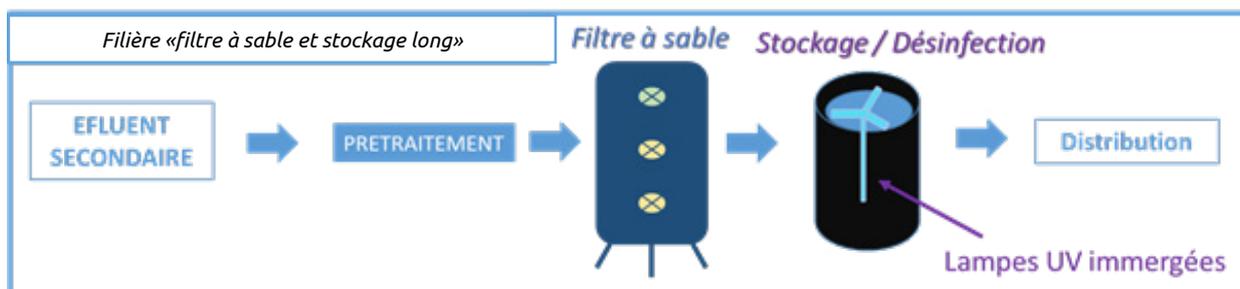


Schéma de la filière filtre à sable et désinfection longue durée - NOWMMA

Le schéma ci-dessus présente la filière. Celle-ci est composée de :

- Un filtre à sable qui réalise l'étape de filtration en permettant l'élimination de matières et particules en suspension présentes dans l'eau par percolation à travers un massif de sable ;
- Un ouvrage de stockage ;
- Une désinfection UV type lampes UV immergées : dans ce cas les lampes UV sont montées sur un module flottant dans la cuve et permettent la désinfection de l'eau à leur contact. Contrairement au réacteur en ligne, le fonctionnement de ces lampes est indépendant de la demande en eau.

Le format stockage long signifie qu'il est nécessaire d'attendre un temps de latence (ou de traitement) entre la phase de production d'eau traitée et de distribution. En effet avec cette filière, le filtre à sable, capable de produire de l'eau en continuité (hors cycles de lavage, 1 fois par jour en fonctionnement normal) remplit une cuve de stockage à son aval. Cette cuve est équipée de lampes UV qui permettent la désinfection de l'eau et la conservation de la qualité sur un temps de stockage important. Cette désinfection requiert ainsi un temps de traitement avant distribution.

Performances

La performance de la filière a été déterminée au moyen de campagnes de mesures menées dans le cadre du projet NOWMMA. Ces campagnes de mesures ont été basées sur le suivi de paramètres physico-chimiques ainsi que bactériologiques, notamment dans le but de positionner la performance de la filière vis-à-vis de la réglementation française en vigueur sur la REUT.

L'objectif de performance des filières correspond au niveau de qualité A de la réglementation française. Il est important de noter que la performance de la station de traitement des eaux usées de Mauguio, sur laquelle sont implantées les différentes filières permet déjà d'atteindre le niveau de qualité A pour les paramètres physico-chimiques avec quelques dépassements.

Concernant les performances de l'étape de filtration (filtre à sable) tous les effluents respectent le niveau de qualité A en sortie de celui-ci (niveau déjà quasi atteint en sortie de STEU).

Filtre à sable - stockage long

2/2

Performances (suite)

Concernant les performances sur les paramètres bactériologiques, réalisées par les lampes UV immergées sur cette filière, on observe que cette filière ne permet pas la production d'une eau de qualité A mais uniquement d'une qualité B vis-à-vis des paramètres bactériologiques. Cependant ce niveau de qualité est suffisant pour de nombreux usages. L'importance de mettre en adéquation le niveau de traitement et le type d'usage est donc démontrée.

En cas de besoin d'une eau de qualité B ou inférieure, cette filière présente l'avantage d'une emprise au sol réduite par rapport à la filière « filtre à sable et stockage court » tout en conservant une simplicité d'exploitation et une bonne fiabilité.

Exploitation

Cette filière ne requiert que peu de technicité pour fonctionner et une maintenance minimale (vérifications du bon fonctionnement de tous les éléments). En effet le filtre à sable est un procédé efficace et relativement rustique pour une durée de vie importante (avec un changement de sable tous les 5 à 10 ans).

Les lampes UV ne nécessitent pas de maintenance particulière. Cependant il est important de noter qu'en cas de remplacement d'une lampe il sera nécessaire d'effectuer une vidange complète de la cuve de stockage pour avoir accès au système de désinfection.

Synthèse

AVANTAGES

- Facile d'utilisation
- Peu de maintenance
- Maintenance à faible technicité, notamment pour le remplacement des lampes UV

INCONVÉNIENTS

- Vidange complète de la cuve nécessaire pour la maintenance des UV
- Ne permet pas de garantir une eau de qualité A
- Pas adaptable aux réservoirs de grande dimension

Principe de fonctionnement

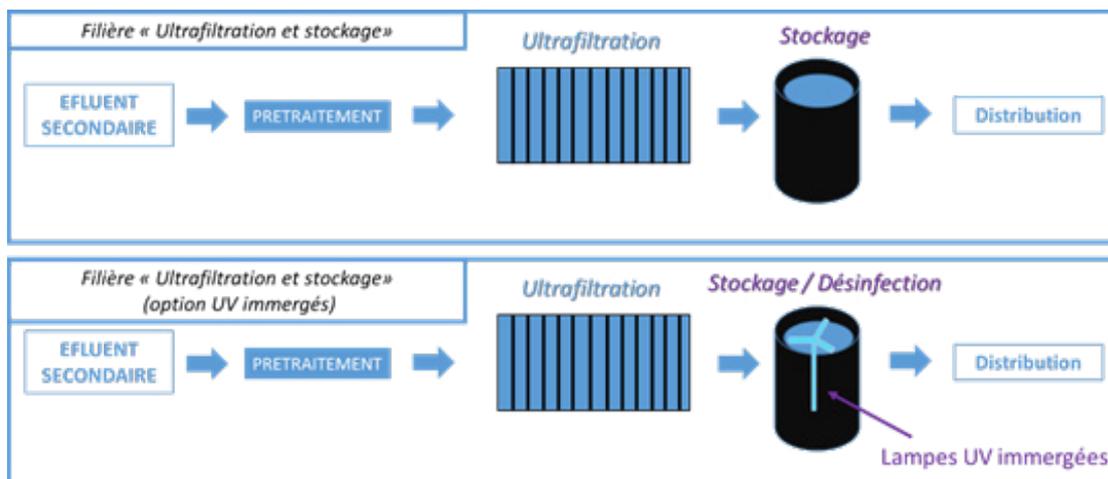


Schéma filière ultrafiltration et stockage long
(avec ou sans option UV immergés)

Le schéma ci-dessus présente la filière. Celle-ci est composée de :

- Une ultrafiltration qui est un procédé de filtration membranaire permettant la purification de l'eau au travers de fibres qui vont alors retenir matières en suspension, particules ainsi que tous les éléments bactériologiques. L'ultrafiltration peut arrêter des éléments de taille plus fine comparée au filtre à sable. En effet, elle peut notamment arrêter les bactéries et certains virus.
- Un ouvrage de stockage
- (En option : une désinfection UV de type lampes UV immergées)

Le fonctionnement est le suivant : l'étape de filtration réalisée par l'ultrafiltration permet à la fois l'élimination des particules en suspension et des indicateurs de contamination fécale. L'eau alors produite est de très bonne qualité et stockée dans une cuve avant distribution.

Une désinfection UV de type lampes UV immergées peut être mise en place dans la cuve de stockage pour pallier les éventuels dysfonctionnements au niveau de l'étape de filtration ou pour assurer un bon maintien de la qualité de l'eau sur le long terme de manière préventive. Il n'a pas été observé de variation ou détérioration de la qualité de l'eau dans la cuve de stockage.

Performances

La performance de la filière a été déterminée au moyen de campagnes de mesures menées dans le cadre du projet NOWMMA. Ces campagnes de mesures ont été basées sur le suivi de paramètres physico-chimiques ainsi que bactériologiques, notamment dans le but de positionner la performance de la filière vis-à-vis de la réglementation française en vigueur sur la REUT.

Ultrafiltration - stockage (option UV immergés)

2/2

Performances (suite)

L'objectif de performance des filières correspond au niveau de qualité A de la réglementation française. Il est important de noter que la performance de la station de traitement des eaux usées de Mauguio, sur laquelle sont implantées les différentes filières permet déjà d'atteindre le niveau de qualité A pour les paramètres physico-chimiques avec quelques dépassements.

Le procédé de filtration par ultrafiltration permet la production d'une eau de très bonne qualité, qualité A et au-delà.

Contrairement aux autres filières la qualité de l'eau produite repose uniquement sur la performance de l'ultrafiltration et sa capacité de production. Pour information la phase production de l'ultrafiltration est alternée avec de nombreux lavages pour éviter le colmatage de celle-ci. En cas de dysfonctionnements de la station de traitement des eaux usées, entraînant la détérioration de la qualité de l'effluent secondaire, la fréquence des cycles de lavage devra être augmentée ce qui sera préjudiciable pour l'exploitation et donc la fourniture d'eau traitée. Si la détérioration est trop importante il peut être nécessaire de stopper la production pour protéger les membranes, au détriment de la continuité du service.

Cette filière est relativement sensible aux variations de la qualité de l'eau en sortie de station d'épuration, ce qui va impliquer des besoins de maintenance plus importants. Il est à noter que, même dans ces conditions, cette filière conserve une production d'eau d'excellente qualité.

Exploitation

L'ultrafiltration est un procédé qui requiert un personnel qualifié et un temps spécifique alloué à la maintenance et l'exploitation. Ceci implique donc des coûts d'exploitation plus élevés, un personnel formé et des équipements de sécurité pour la manipulation des produits chimiques nécessaires aux phases de lavage.

Option lampes UV immergées : Les lampes UV ne nécessitent pas de maintenance particulière. Cependant il est important de noter qu'en cas de remplacement d'une lampe il sera nécessaire d'effectuer une vidange complète de la cuve de stockage pour avoir accès au système de désinfection, ou de prévoir un système de relevage.

Synthèse

AVANTAGES

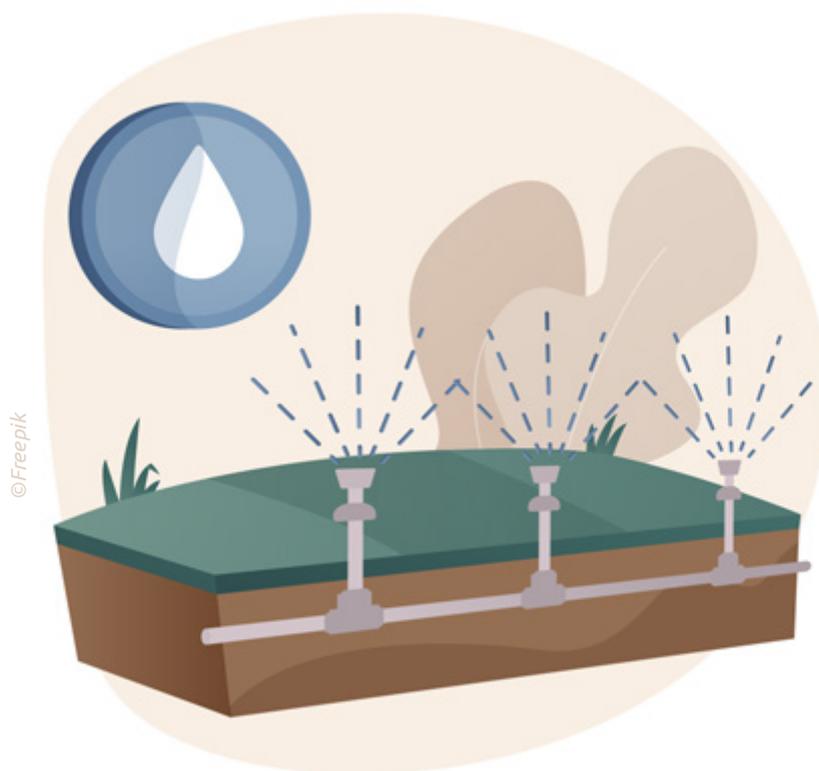
- Très bonnes performances en toute situation
- Ne nécessite pas une désinfection (en option)

- Coûts d'investissement
- Maintenance et exploitation spécifique
- Sensibilité à la qualité de l'effluent secondaire

INCONVÉNIENTS

6.1.2 MODES D'IRRIGATION

Ci-après sont présentés **deux modes d'irrigation** observés durant l'expérience NOWMMA.



Irrigation localisée par goutte à goutte

1/2

Principe de fonctionnement

L'irrigation par goutte à goutte consiste à amener l'eau sous pression dans un système de canalisations. Cette eau est ensuite distribuée dans le champ par un grand nombre de goutteurs répartis tout le long des rangées des plantations.

La zone humidifiée du sol est celle située au voisinage immédiat des racines des plantes. Par conséquent, cette méthode d'irrigation a un haut degré d'efficacité de distribution d'eau. L'irrigation au goutte à goutte est aussi appelée micro-irrigation. Ce type d'irrigation permet une application de l'eau à la plante plus efficace que les autres modes d'irrigation.



Les canalisations sur lesquelles sont disposés les goutteurs, ou gaines, peuvent être réparties en surface de la parcelle ou enterrées (plus ou moins profondément) selon les besoins d'exploitation de la parcelle et de la culture. On notera qu'un réseau enterré permet l'exploitation de la parcelle avec moins de contraintes qu'un réseau de surface au détriment de la facilité de maintenance du réseau. D'un autre côté, il nécessite du terrassement, et présente des risques d'écrasement et d'intrusions racinaires.

Données de conception

Les informations ci-dessous constituent un exemple d'installations d'irrigation localisée et sont à visée informative sur le fonctionnement de ce type d'installation. Une installation d'irrigation localisée comporte en général plusieurs éléments pour la distribution de l'eau :

- **Une unité de tête :** comportant les équipements de contrôles du débit, de la qualité de l'eau (filtration) ou équipements de fertilisation
- **Conduites principales, secondaires :** permettant l'acheminement de l'eau jusqu'aux rampes de distribution
- **Rampes :** gaines de goutte à goutte disposée selon les besoins sur la parcelle, en surface ou enterrées
- **Goutteurs :** dispositifs qui permettent la distribution de l'eau à la culture. L'écartement, le type, et le débit de distribution sont à déterminer en fonction de la culture, de la qualité du sol, de la qualité de l'eau et de la configuration de la parcelle.

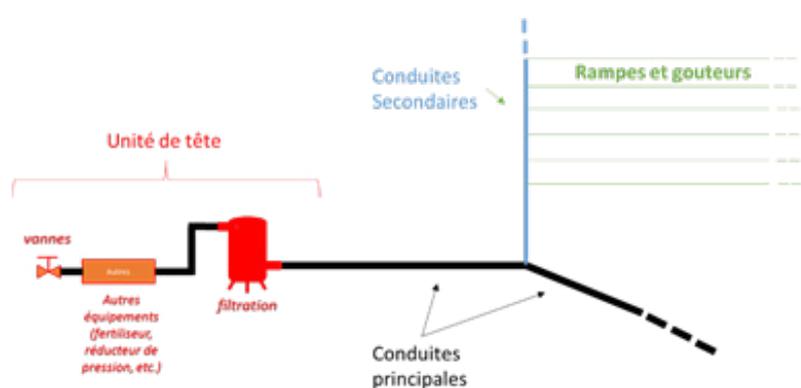


Schéma simplifié d'une installation d'irrigation localisée

Données de conception (suite)

Il existe plusieurs types de goutteurs, à savoir : intégré ou extérieur, autorégulant ou non, etc. **Ci-dessous un exemple d'un goutteur autorégulant intégré :**



L'utilisation de goutteurs de type autorégulant garantit une distribution homogène même lorsque les pressions varient de façon importante. Le goutteur, intégré à la gaine, est constitué d'un filtre (1), d'un labyrinthe (2) et d'une membrane en silicone (3). Ce type de goutteurs est appelé goutteurs à circuit long et effet de turbulence. En effet la dissipation de l'énergie qui se trouve dans la gaine est réalisée par le cheminement de l'eau à travers le labyrinthe (frottements) ainsi que par des turbulences provoquées par le changement brusque de direction de l'eau. La membrane située à la sortie du labyrinthe sert de clapet anti retour et contribue à la régulation du débit.

Préconisation d'exploitation

Une filtration bien dimensionnée et régulièrement contrôlée est indispensable pour garantir une installation sans colmatage. En effet les goutteurs, de par leur cheminement de très faible section, sont sensibles au colmatage. La maintenance classique appliquée à ce genre d'installation est la suivante :

- Contrôle du débit global de l'installation
- Contrôle de l'homogénéité des débits des goutteurs
- Vérification régulière du bon fonctionnement des équipements de l'unité de tête, en particulier du système de filtration si présent. Dans le cadre du projet NOWMMA, la filtration était réalisée par les filières de traitement, à savoir le filtre à sable et l'ultrafiltration.
- Lavage du réseau d'irrigation à l'acide et au chlore dans le but de supprimer le colmatage biologique et physique qui pourrait s'être développé. Les préconisations sont au minimum un lavage avant et après chaque campagne d'irrigation.
- Purges régulières du réseau dans le but d'évacuer les particules en suspension qui seraient présentes dans le réseau pour éviter un colmatage des goutteurs

Spécificités liées à la REUT :

Pour une utilisation avec de l'eau issue de REUT il faut être particulièrement attentif à la problématique du colmatage des goutteurs. En effet les EUT sont généralement plus chargées en particules en suspension que les eaux classiques (cf. livrable 2.4).

Il est préconisé d'effectuer des tests réguliers sur le réseau d'irrigation pour déterminer l'homogénéité de la distribution du réseau. Des tests comme celui de Keller et Karmeli sont faciles à mettre en œuvre et permettent une bonne estimation de l'homogénéité de la distribution.

L'avantage de ce type d'installation est de permettre une distribution de l'eau de manière localisée en limitant le contact des EUT avec le public. Pour une distribution en toute sécurité, et si c'est compatible avec les façons culturelles et les récoltes, il sera possible d'enterrer tout le réseau. De plus, ce type d'installation ne subit que peu de contraintes vis-à-vis des réglementations en vigueur sur la REUT par rapport à d'autres modes d'irrigation comme l'aspersion.

Synthèse

AVANTAGES	<ul style="list-style-type: none"> • Précision de l'apport en eau • Réduction des pertes et du gaspillage par évapotranspiration • Facilité d'apport en éléments nutritifs • Ajustement de l'apport d'eau facile • Automatisation facile 	<ul style="list-style-type: none"> • Risque de colmatage (théoriquement accru en REUT) • Coût d'investissement élevé • Accumulation de sel localisée à la surface du sol • Exposition aux dégradations animales 	INCONVÉNIENTS
------------------	---	---	----------------------

Aspersion

1/2

Principe de fonctionnement

Le principe de l'irrigation par aspersion est de reproduire de manière artificielle et contrôlée des précipitations naturelles. Pour cela on a recours à des équipements nommés asperseurs qui permettent une distribution de l'eau de manière aérienne.

De même que pour les goutteurs, il existe plusieurs types d'asperseurs, en fonction du débit à distribuer, du type de culture et de l'usage. En effet on ne trouvera pas les mêmes besoins pour l'irrigation d'espaces verts que pour des cultures agricoles.

La distribution par ce mode d'irrigation est plus homogène sur l'ensemble de parcelle mais est plus soumise aux pertes par évaporation que l'irrigation localisée.



Différents types d'aspersion

Données de conception

Les informations ci-dessous constituent un exemple d'installations d'irrigation localisée et sont à visée informative sur le fonctionnement de ce type d'installation.

L'installation d'irrigation par aspersion est semblable à celle par goutte à goutte, composée d'une unité de tête (comportant des vannes, compteurs, réducteurs de pression,...), de canalisations principales et secondaires puis d'asperseurs. Il n'est pas nécessaire de mettre en place une filtration aussi élaborée que l'irrigation localisée du fait de la faible sensibilité des asperseurs au colmatage.

La disposition des asperseurs doit permettre une couverture intégrale de la parcelle pour obtenir une distribution homogène.

Préconisation d'exploitation

La maintenance de ce type d'installation est faible et se résume au contrôle du bon fonctionnement des équipements de l'unité de tête, du bon état des différentes canalisations, et du bon fonctionnement des asperseurs (rotation, portée, colmatage).

Spécificités liées à la REUT :

L'aspersion est un mode d'irrigation peu sensible au colmatage du fait des sections de distribution importantes comparées à la taille des particules en suspension. Cependant, contrairement à l'irrigation localisée, le mode d'irrigation aérien est fortement sensible au vent qui provoque un phénomène de dérive.

La dérive est le phénomène de modification de trajectoire des gouttes d'eau subissant le vent. Ainsi, il y a un risque de toucher les personnes en bordure des parcelles si le vent est suffisamment fort. Les travaux de l'IRSTEA, dans le cadre du projet NOWMMA, sont disponibles par ailleurs. Ils ont permis d'évaluer ce risque.

Dans le cadre de parcelles bordées par des accès publics, il est donc nécessaire, comme demandé dans plusieurs législations, de mettre en place des barrières pour limiter le phénomène de dérive. Aussi, des distances minimales de sécurité sont à respecter pour éviter tout contact du public avec l'eau issue de la REUT.

On note également que ce mode de distribution aérien implique que les plantes, les feuilles et sols sont couverts d'eau, ce qui résulte en un contact avec les EUT plus probable que pour l'irrigation localisée. La mise en place de signalisation ou de contrôle d'accès aux parcelles est préconisée.

Synthèse	
AVANTAGES	<ul style="list-style-type: none"> Faible sensibilité au colmatage par rapport au goutte à goutte Facilité d'exploitation Nécessite peu d'équipement Peu de maintenance
	<ul style="list-style-type: none"> Aléa du vent pour maintenir l'irrigation (général pour toute installation en aspersion) Dispersion dans l'air (dérive) à maîtriser vis-à-vis des risques sanitaires (spécifique REUT) Contact avec les EUT appliquées sur les sols et cultures (spécifique REUT)
	INCONVÉNIENTS

6.2 UTILISATION DE LA REUT DANS LE MONDE

Les exemples suivants sont issus de la bibliographie et notamment du Rapport de 2017 des Nations Unies sur les eaux usées. Ces exemples sont assez emblématiques et sont présentés selon la finalité de la réutilisation. Cette finalité peut être simple ou plurielle.

6.2.1 Utilisation d'eaux usées brutes au Ghana

Le Ghana constitue un bon exemple d'agriculture urbaine et péri-urbaine qui utilise une irrigation informelle avec des eaux usées non traitées provenant de cours d'eau ou de drains. À Kumasi et Accra, où les stations de traitement principales fonctionnent difficilement, les eaux usées servent très souvent à irriguer les cultures. Cette pratique, qui n'est pas rare dans les centres urbains de nombreux pays africains, permet de nourrir la population, est une source d'emplois et atténue le niveau de pauvreté de nombreux Ghanéens, tout en contribuant à préserver les ressources en eau douce.

À Accra, les EUB irriguent plus de 15 espèces de légumes sur des parcelles allant de 22 et 3 000 m²

par exploitant. Cette irrigation permet un revenu annuel de 400 à 800 dollars américain pour les exploitants. On estime que la valeur marchande annuelle de la production s'élève à 14 millions de dollars américain et améliore la qualité de vie de 200 000 habitants. À Kumasi, les terres cultivées représentent 115 km².

Les préoccupations en matière de santé publique existent cependant, notamment en ce qui concerne la contamination microbienne de ces denrées agricoles. Des analyses de légumes vendus sur les marchés ont, en effet, révélé la présence de coliformes fécaux et d'œuf d'helminthes.



6.2.2 Des EUT rendues potables en Namibie

Face à la pénurie d'eau due à l'accroissement démographique, et donc l'augmentation des besoins et face à la baisse des précipitations suite à la crise de l'eau de 1957, la REUT pour la production d'eau potable semblait la seule solution viable. Cela a conduit à la première mise en œuvre de réutilisation directe d'eau rendue potable dans la station de recyclage des eaux usées de la ville. C'est la plus longue expérience au monde dans ce domaine depuis 1969. Pendant plus de 40 ans d'exploitation, la salubrité a été contrôlée au moyen d'examens épidémiologiques et aucun problème sanitaire n'a jamais été signalé.

La qualité de l'eau est assurée par une approche à barrières multiples. Une nouvelle station qui date de 2002 est équipée d'améliorations technologiques.

L'efficacité de l'approche multi-barrières repose sur des politiques d'information et des campagnes de sensibilisation en faveur de l'adhésion publique très efficace.

La viabilité du projet repose sur l'absence de problèmes sanitaires liés à l'eau ; l'approche multi-barrières ; la fiabilité du fonctionnement, des procédés en ligne et du contrôle de la qualité de l'eau ; et le fait qu'il n'existe quasiment aucune autre solution possible.

Le traitement est assuré par du charbon actif en poudre, une pré-ozonation, une coagulation, une flottation à l'air dissous, une filtration sur double média, une ozonation principale, une filtration sur charbon actif biologique, une filtration sur charbon actif en grain, une ultrafiltration (seuil de coupure : 0,04 µm), une désinfection par chloration (au chlore gazeux Cl₂) et une stabilisation (à la soude NaOH). Le rendement de cette station d'épuration permet la REUT de 21 000 m³/jour.



6.2.3 REUT pour l'usage industriel en Afrique du Sud

Depuis 1980, l'Afrique du Sud fait figure de pionnière en matière de traitement et de recyclage en interne des eaux usées dans le secteur industriel.

ESKOM est la principale compagnie publique d'électricité et l'une des plus importantes en Afrique du Sud. D'importantes quantités d'eau sont utilisées dans les centrales thermiques de l'arrière-pays, surtout à des fins de refroidissement, ce qui entraîne une importante production d'eau « de purge » (à savoir l'eau de vidange des installations de refroidissement). Cette eau ne peut être rejetée avant d'avoir été traitée du fait de son fort taux de salinité et de la présence de pathogènes et d'additifs chimiques.

Au début des années 1980, ESKOM a commencé à mettre en place des installations d'osmose inverse

afin de traiter les eaux de purge. La centrale électrique de Lethabo à Sasolburg dans la province de l'État-Libre, est actuellement équipée d'une installation de ce type dotée d'une capacité de 12 millions de litres par jour. Une partie de l'eau épurée est renvoyée vers le circuit d'eau de refroidissement concentré, tandis qu'une autre sert d'eau d'alimentation pour le processus d'échange d'ions, soit un autre processus de dessalement. L'eau issue de ce dernier processus, qui présente de très faibles taux de solides dissous totaux (SDT), est réutilisée dans la centrale.



6.2.4 REUT pour l'agriculture : Exemple de la Tunisie

La réutilisation de l'eau constitue une priorité pour la Tunisie depuis le début des années 1980, époque à laquelle le pays a lancé un programme de réutilisation de l'eau à l'échelle nationale dans l'optique d'accroître ses ressources en eau disponible, après des premiers projets de REUT conduits dans les années 1960. L'essentiel des eaux usées urbaines bénéficie d'un traitement biologique secondaire par boues activées, et plus rarement, d'un traitement tertiaire.

Les restrictions en matière d'utilisation des eaux usées traitées visant à protéger la santé publique ont bénéficié d'un écho considérable et vont dans le sens des recommandations de l'OMS (OMS, 2006b). La réglementation tunisienne autorise l'utilisation d'effluents ayant bénéficié d'un traitement secondaire sur l'ensemble des cultures excepté sur les légumes, destinés à être consommés crus ou cuits. Les services régionaux de l'agriculture ont pour mission la supervision de l'utilisation des eaux usées traitées, et collectent les redevances très minimales auprès des cultivateurs. Ces derniers devraient payer l'eau destinée à l'irrigation en fonction du volume requis et de la zone à irriguer. Cette pratique n'est pas généralisée.

En dépit du fait que les pouvoirs publics soutiennent fermement le recours aux eaux usées traitées, les cultivateurs continuent de préférer l'irrigation à l'aide des eaux conventionnelles pour des raisons liées à la qualité des EUT produites

(problèmes techniques réguliers sur les STEU), par manque de confiance et de communication entre les usagers et les acteurs de l'assainissement, de réglementations concernant le choix des cultures, ou d'autres considérations d'ordre agronomique. Les exploitants des régions arides du Sud se disent également préoccupés par les effets à long terme des eaux usées salées sur le rendement de leurs récoltes et sur les sols. En outre, ils considèrent que les restrictions sanitaires les empêchent de faire pousser des cultures à forte valeur ajoutée telles que les légumes. Cependant, dans les zones de fort stress hydrique où peu d'alternatives à la REUT existent, le recours aux EUT est recherché par les agriculteurs pour maintenir leur activité malgré une qualité des eaux médiocre (cas par exemple du périmètre de El Aguila à Gafsa). Afin de remédier à ces problèmes, les décideurs tunisiens se sont employés à renforcer la coordination et à adopter des approches axées sur la demande en vue d'améliorer la planification de la récupération des eaux usées, et des projets d'irrigation au moyen d'effluents traités en toute sécurité.

A Korba, par exemple, un projet de recharge de nappe a pour but de limiter l'intrusion du biseau salé marin liée à la surexploitation de la nappe phréatique tout en préservant les activités maraîchères de la région, dépendantes des ressources de la nappe. Après une phase de maturation, un système d'infiltration percolation via des bassins permet l'infiltration des EUT dans la nappe. Cependant, le projet a dû être interrompu pour des considérations d'ordre organisationnel et financier plutôt que technique.

6.2.5 REUT à visée environnementale : L'exemple de la recharge de nappe naturelle au Mexique et en Italie



La vallée de Tula, au Mexique, constitue un cas très parlant de réutilisation non planifiée d'eau. Depuis plus de 110 ans, jusqu'à 52 m³/s d'eaux usées en provenance de la ville de Mexico sont utilisés pour irriguer cette vallée. Cela s'est traduit par la recharge accidentelle d'un aquifère qui sert à approvisionner en eau quelque 500 000 personnes, entre autres pour leur consommation.

Grâce aux processus naturels, cette source d'approvisionnement en eau présente une qualité suffisante. La recharge de l'aquifère a également eu un impact positif sur la situation locale au plan environnemental, social et économique, et a aussi participé au développement de cette région pauvre.

A Milan, la recharge de nappe a été mise en place afin de préserver le milieu naturel. Après une filtration sur sable et un traitement aux ultra-violets, les eaux ainsi traitées retournent à l'aquifère. L'eau peut ensuite être prélevée gratuitement depuis la nappe par les agriculteurs. Le projet, au coût de 89 millions d'euros revient à la collectivité à 80 cents/m³.

6.2.6 REUT pour les espaces verts et lieux de divertissement : exemple d'un golf en Australie

La conduite d'eaux usées qui traverse le terrain de golf de Pennant Hills assure l'évacuation des eaux usées d'environ un millier de foyers vers la ville côtière de Manly, où elles bénéficient d'un traitement primaire (très superficiel) avant d'être rejetées dans la mer. Le projet consistait donc à utiliser ces eaux usées non traitées qui contribuaient à la pollution de l'océan. De plus, il existait une contrainte technique qui imposait que le club de golf ne devait pas perturber le débit et la pression nécessaires pour acheminer le reste des effluents vers Manly, pendant les heures de pointe d'utilisation des chasses d'eau et des douches (le matin et le soir),

Le dispositif a permis de réduire la consommation d'eau potable du golf de 92 %, ce qui lui a valu une récompense de la part de la compagnie Sydney Water. Cette dernière, du fait de l'utilisation des eaux usées traitées sur place, n'a donc plus besoin de fournir 70 000 m³ d'eau potable par an au golf.

De plus, l'azote présent dans les eaux usées a presque rendu inutile la fertilisation du terrain de golf, puisque de petites quantités d'azote accompagnent chaque arrosage des greens. Les économies en engrais sont toutefois contrebalancées par le besoin d'amender le sol à l'aide de gypse pour compenser l'excès de sodium dans l'eau de récupération.

Dans l'ensemble, ce système s'est révélé être un moyen rentable de se prémunir contre la sécheresse et de réduire les contraintes qui s'exercent en matière d'approvisionnement en eau dans la région de Sydney. Quant aux joueurs de golf, ils sont apparemment satisfaits.



6.2.7 REUT pour la production et l'économie d'énergie : exemple du Japon



Au Japon, la loi sur l'assainissement de 2015 impose aux opérateurs d'assainissement d'avoir recours aux biosolides en tant que source d'énergie neutre en carbone. Les 2,3 millions de tonnes de biosolides produits

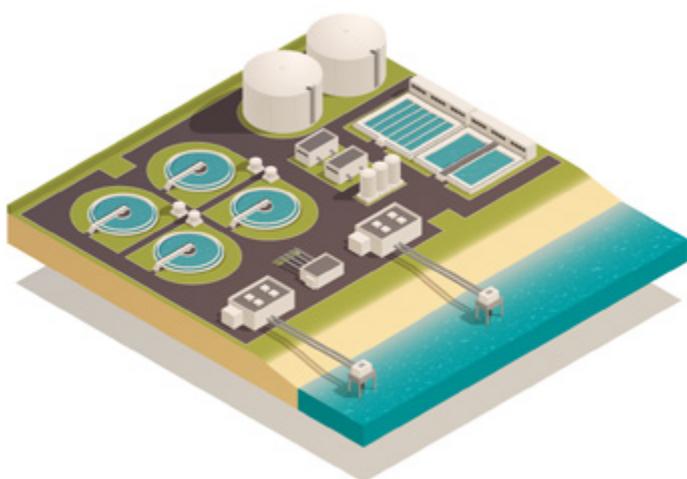
dans le pays chaque année par les 2 200 stations de traitement des eaux usées en activité peuvent permettre de générer 160 GWh d'électricité par an. En 2016, 91 stations ont récupéré du biogaz pour l'électricité tandis que 13 autres ont produit des combustibles solides. La ville d'Osaka offre un bon exemple avec 6 500 tonnes

de combustible dérivé de biosolides produites par an à partir de 43 000 tonnes de boues d'épuration humides, pour la production d'électricité et de ciment. En guise d'aide financière en faveur des opérateurs d'assainissement qui investissent dans la réutilisation d'énergie à partir des biosolides, une tarification préférentielle est appliquée à l'électricité produite à l'aide de biosolides sur la base d'un prix fixe au kWh.

Le Gouvernement du Japon encourage l'innovation en accordant des subventions en faveur des

technologies de pointe en matière de réutilisation des biosolides. Les financements privés sont aussi encouragés par le biais d'une mesure spéciale d'amortissement visant à alléger la fiscalité qui pèse sur les entreprises privées qui investissent dans l'équipement nécessaire à la réutilisation d'énergie, utilisé dans les stations de traitement des eaux usées. Les sous-produits tels que le combustible dérivé de biosolides sont en cours de normalisation afin de mettre en place un marché pour ces produits.

6.2.8 REUT et revalorisation des déchets



©macrovector/FreePik

L'épuration des eaux usées permet de traiter cette eau pour la restituer au milieu sans engendrer de dégradation irréversible. Ce mode de gestion est très consommateur d'énergies fossiles et se révèle être peu enclin pour la valorisation des ressources. Or, l'eau usée peut être l'objet de valorisations multiples : certes la réutilisation des eaux usées mais aussi des sous-produits de l'épuration (boues, graisse, sable, etc.) et la valorisation de l'énergie contenue potentiellement dans les eaux usées (chaleur, méthanisation des boues ...).

Ci-après, quelques exemples de valorisation possible à développer :

- **La récupération du phosphore contenu dans les eaux usées** a lieu par précipitation de la struvite. Les solutions les plus intéressantes sur le plan financier sont celles qui prévoient une récupération en amont, ce qui dispense l'opérateur de procéder à l'extraction coûteuse de la struvite indésirable présente au sein du système de traitement. Cependant, en ce qui concerne la commercialisation du phosphore ainsi récupéré, il n'existe pas pour le moment de solutions financières permettant de rivaliser avec les engrais phosphatés minéraux disponibles sur le marché (Schoumans et al., 2015). La volatilité des prix à court terme, les hausses des prix à long terme et les préoccupations politiques concernant la pénurie de phosphore (eu égard à des questions liées à l'insécurité alimentaire et à la dégradation de l'environnement) pousseront peut-être davantage à privilégier le recyclage du phosphore à l'extraction non durable.
- **Des eaux usées au carburant liquide pour les transports.** L'idée de produire des biocarburants pour les transports repose sur la conversion des nutriments contenus dans les eaux usées en biomasse de microalgues (c'est-à-dire en microalgues qui se développent dans les eaux usées), laquelle est à son tour convertie en biocarburant. Cette approche présente de nombreux avantages et on peut y avoir recours pour épurer les eaux usées, capturer le dioxyde de carbone, ou produire une énergie alternative et durable sans entrer en concurrence avec le secteur agricole pour ce qui est de l'eau, des engrais et des terres. Aux États-Unis, les responsables du projet OMEGA (Offshore Membrane Enclosures for Growing Algae) mené par la NASA procèdent à des études de faisabilité concernant la production de carburant d'aviation au moyen de la culture de microalgues dans des réservoirs flottants au large des côtes qui sont « alimentés » par les eaux usées des villes (Trent, 2012).

- **Une bio-huile issue des algues des eaux usées.** En Nouvelle-Zélande, l'Institut NIWA (National Institute of Water and Atmospheric Research) a prouvé qu'il était rentable sur le plan commercial de produire de la bio-huile à partir de microalgues cultivées à l'aide d'eaux usées, dans l'installation de traitement de Christchurch (Craggs et al., 2013). Du dioxyde de carbone est ajouté dans des « bassins d'algues à forte charge » afin de favoriser une conversion de la biomasse algale en bio-huile efficace sur le plan énergétique.*

- **Production de bioplastique biodégradable.** Le bioplastique biodégradable produit à l'aide de microalgues élevées dans les eaux usées est en mesure de remplacer le plastique traditionnel à base de pétrole à des coûts moins élevés. Une fois rendu viable sur le plan économique, ce procédé pourrait révolutionner le domaine des polymères, en offrant de nouveaux débouchés en matière de produits biologiques et durables, tout en entraînant des bénéfices supplémentaires comme le piégeage du carbone, la réduction de l'empreinte écologique et de la dépendance à l'égard du pétrole, ainsi que de meilleures solutions concernant les fins de cycle de vie.

- **Production d'ingrédients cosmétiques à partir d'eaux usées à l'aide de microalgues.** Depuis juillet 2015, le Centre de recherche et développement « Algae Biomass Energy System » de l'université de Tsukuba, au Japon, mène des recherches sur la biomasse algale et les applications industrielles permettant de synthétiser les huiles d'origine algale en vue de mettre sur pied une « industrie algale » associant production de biocarburant, traitement des eaux usées et huiles d'origine algale destinées aux produits cosmétiques et médicaux.

- **Les eaux grises pour la production d'eau potable pour la base Concordia en Antarctique :** Sur la base antarctique Concordia, station de recherche franco-italienne située à 1 600 km du Pôle Sud, les eaux grises (issues de salle de bain et cuisine) sont traitées par technique membranaire pour produire l'eau potable de la base depuis 2005. La technologie mise en place est en lien avec la recherche menée pour les vols spatiaux de longue durée.



6.2.9 Synthèse des expériences de REUT dans le monde

D'après l'ONU, il est estimé qu'en **2017, 20% des eaux usées étaient reversées dans l'environnement avec un traitement approprié.** Ces chiffres tendent à évoluer à la hausse à mesure de l'expérience acquise et de l'évolution des réglementations qui en résulte. Les réglementations nationales témoignent de l'expérience du pays en REUT, que ce soit en durée ou en nombre. Certains projets menés à l'international permettent d'avoir une vision plus globale et commune de la REUT. Ces projets permettent la mise en commun de données exploitables afin d'affiner les réglementations nationales.

Les pays ayant les stratégies les plus développées dans le traitement de l'eau sont les pays à plus fort revenu (30% des eaux usées ne sont pas traitées dans les pays à revenu élevé contre 92% dans les pays à faible revenu en 2015, d'après l'ONU). Et selon les enjeux auxquels font face les pays, les projets menés, et donc les retours d'expérience, diffèrent selon l'usage auquel sont destinés les projets de REUT.

6.2.10 Et la REUT en France ?

Dans ce chapitre, nous listons les projets portés à notre connaissance en France. Même s'ils ne sont pas nombreux, la dynamique de développement des projets de REUT est présente :

- Irrigation de céréales (maïs grain et semence, tournesol grain et semence, blés, etc.) tabac, maraichage (grande culture oignon et pomme de terre) – Station d'épuration de Clermont Ferrand (63),
- Irrigation de pommes de terre – Station d'épuration de Noirmoutier (85),
- Arrosage de charbon pour fret – Station d'épuration de Cherbourg (50),
- Arrosage d'espaces verts publiques – Station d'épuration de Cavalaire et de la Croix-Valmer (83),
- Arrosage de golf – Station d'épuration de Saint-Gildas-de-Rhuys (56),



S'ajoute une série de projets très avancés tels que :

- Arrosage du stade – Station d'épuration de Dinard (35),
- Arrosage du golf d'Agde – Station d'épuration d'Agde (34),
- Arrosage du golf de la Grande Motte – Station d'épuration de la Grande Motte (34),

Pour finir, des projets sont à l'étude dont certains des plus novateurs.

Par exemple :

- Réutilisation des eaux usées traitées pour l'enneigement artificiel du domaine skiable des Houches à Chamonix (74),
- Réutilisation des eaux usées traitées pour l'enneigement artificiel du domaine skiable de la station de Valberg (06),
- Réutilisation eaux usées traitées pour produire de l'eau potable (recharge d'eau de surface en passant par un barrage) aux Sables-d'Olonne (85).

7- Conclusion

Pour rappel, ce document est un document à visée informative destiné au maître d'ouvrage d'un projet de REUT ou de quiconque souhaitant s'impliquer ou impulser un tel projet. Ce document donne des prescriptions générales pour la bonne mise en œuvre d'un projet de réutilisation des eaux usées traitées. Il présente une vision d'ensemble des facteurs de réussite et d'échec de ce type de projet qui ont pu être rencontrés, soit via des retours d'expériences issus de la bibliographie ou de l'expérience développée durant le projet NOWMMA.

La principale difficulté de mise en œuvre d'un projet de REUT réside dans la multiplicité et la pluridisciplinarité des acteurs en jeu associés à l'utilisation des eaux usées traitées qui est une thématique nouvelle et sensible dans certains pays vis-à-vis de l'appréhension qu'elle peut susciter auprès des populations ou des décideurs responsables.

La prise de conscience actuelle d'une tendance vers une pénurie accrue des ressources dans certaines régions du monde nécessite une mise en place efficace et une gestion optimale des projets de ce type afin d'injecter un retour d'expérience utile et rassurant. Pour cela, il est proposé de prendre en compte les recommandations incluses dans ce document, mais aussi d'accorder une importance particulière au retour d'expérience de projets similaires permettant d'appréhender les problèmes récurrents.

Pour conclure, on rappelle que ce document pourra continuer à être enrichi ou amendé par ses auteurs, suivant les avancées sur la thématique de la REUT, notamment la poursuite de travaux de R&D et la capitalisation des retours d'expérience issus du monde entier.

8- Données bibliographiques

8.1 RÉFÉRENCES GÉNÉRALES

- C. BOUTIN, A. HEDUIT, J.M HELMER. Technologie d'épuration en vue d'une réutilisation des eaux usées traitées (REUT) Rapport final de l'action 28 : Réutilisation des eaux traitées dans le cadre de la convention de partenariat ONEMA-CEMAGREF 2008. Novembre 2009. 100p.
- J. Dunglas - La réutilisation des eaux usées – Groupe Eau – note de travail n°5 – 2014 – Académie d'agriculture de France

8.2 RÉFÉRENCES DES NORMES DES DIFFÉRENTS PAYS ET ORGANISMES

- ORGANISME MONDIAL DE LA SANTE Directives OMS pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères (Volume II Utilisation des eaux usées en agriculture). OMS. 225p. ISBN 978-92-4-254683-5
- LEGIFRANCE. Arrêté du 02 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. JORF n°0201 du 31 août 2010 page 15828 texte n°34
- LEGIFRANCE. Arrêté du 25 juin 2014 modifiant l'arrêté du 02 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. JORF n°0153 du 04 juillet 2014
- LEGIFRANCE. Arrêté du 26 avril 2016 modifiant l'arrêté du 02 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. JORF n°0119 du 24 mai 2016
- NUBERT.S, BENABDALLAH, S. La réutilisation des eaux usées traitées en Tunisie. Études et rapports d'expertise 11/2003.
- MINISTERIO DE LA PRESIDENCIA. ANEXO II Métodos de análisis. REAL DECRETO 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas.
- CIHEAM, OPTIONS MEDITERRANEENNES. Non-conventional water use in Greece. Série B. Etudes et Recherches; n. 53, 2005
- EPA, UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. 2004 Guidelines for water reuse. EPA/625/R-04/108 September 2004
- NATIONAL WATER RESEARCH INSTITUTE, FOUNTAIN VALLEY, CALIFORNIA. Regulatory Aspects of Direct Potable Reuse in California. April 2010
- COMMISSARIAT GÉNÉRAL AU DÉVELOPPEMENT DURABLE. Le point sur la réutilisation des eaux usées pour l'irrigation : une solution locale pour des situations critiques à l'avenir - n°191 – Juin 2014
- Inbar, Y. New standards for treated wastewater reuse in Israel. In Wastewater Reuse-Risk Assessment, Decision-Making and Environmental Security; Zaidi, M., Ed.; Springer: Dordrecht, The Netherlands, 2007; pp. 291–296.

8.3 RÉFÉRENCES LIÉES AUX TÂCHES À ACCOMPLIR

- AGENCE FRANCAISE DE DEVELOPPEMENT. Annexes, Réutilisation des eaux usées traitées – Perspectives opérationnelles et recommandations pour l'action. BRL, Février 2011.

8.4 RÉFÉRENCES FREINS LIÉS À LA REUT

- AGENCE FRANCAISE DE DEVELOPPEMENT. Réutilisation des eaux usées traitées – Perspectives opérationnelles et recommandations pour l'action. BRL, Février 2011.
- F. OUNAIES (* *), A. KOUNIDI (*), M.A. OUESLA TI H. DAGHARI. Réutilisation des eaux usées épurées dans le secteur agricole en Tunisie : situation actuelle et perspectives. MEDIT n° 1/92
- PUIL. C. La réutilisation des eaux usées urbaines quelques exemples. Extrait de : PUIL C. (1998) - La réutilisation des eaux usées urbaines après épuration. Mém. D.U.E.S.S. «Eau et Environnement», D.E.P., univ. Picardie, Amiens, 62 p.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier chaleureusement les relecteurs suivants, pour leurs précieux conseils ayant permis d'améliorer le contenu du document : Vincent JAUZEIN (SAUR), Séverine TOMAS (IRSTEA), François GONTARD (BRL Exploitation), Emilie BOUILLER (BRL Exploitation), Sébastien CHAZOT (BRL Ingénierie) et Maïlis CROIZER (BRL Ingénierie).

Tous nos remerciements enfin à l'ensemble des partenaires du Consortium du projet NOWMMA qui ont permis l'enrichissement de ce document grâce aux nombreux échanges et débats à l'occasion du projet (notamment SAUR, IRSTEA, PERAX et Bio-UV), au Pôle Eau (devenu Aqua-Valley) et Transfert LR pour leur accompagnement efficace tout au long du projet, et à Pays de l'Or Agglomération qui a permis la réalisation du Projet en acceptant de l'accueillir sur le site de la STEP de Mauguio.

REUT*

Guide d'aide à la décision
pour la mise en œuvre d'un projet
*Réutilisation d'Eaux Usées Traitées

édition 2022 v.2



<https://brli.brl.fr>

