

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

Valorisation des eaux usées épurées pour l'irrigation



*Office
International
de l'Eau*

*Jérôme BENOIT
Vincent DAUPHIN
Thomas DUCROCQ
Silvia NOUGAROL
Emeline SALVA*

Septembre 2011

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

La synthèse documentaire « **Valorisation des eaux usées épurées pour l'irrigation** » a été effectuée par Jérôme BENOIT, Vincent DAUPHIN, Thomas DUCROCQ, *Silvia NOUGAROL* et *Emeline SALVA*, élèves ingénieurs de 2^{ème} année en Génie de l'Eau et de l'Environnement, dans le cadre du séminaire Développement Durable 2011.

Le contenu de ce document reste sous la responsabilité de ses auteurs.

Courriel : contact@engees.unistra.fr



SYNTHESE TECHNIQUE

VALORISATION DES EAUX USEES EN IRRIGATION

Jérôme **BENOIT**
Vincent **DAUPHIN**
Thomas **DUCROCQ**
Silvia **NOUGAROL**
Emeline **SALVA**

Résumé

Le développement économique de nombreux pays conduit à une augmentation croissante de la demande en eau de la part des populations et des secteurs industriels, agricole et touristique. Ce manque d'eau est souvent pallié par des techniques alternatives plus ou moins onéreuses telles que le dessalement de l'eau de mer (largement utilisé au Moyen-Orient). Néanmoins la ressource en eau salée et le prix de cette technique ne sont pas accessibles à tous les pays ou régions touchés par un manque de ressources. D'où l'émergence de nouveaux moyens alternatifs, comme la Réutilisation de Eaux Usées Epurées ou plus communément appelée REUR.

Les « eaux usées » est un terme général pour toutes les eaux que l'on retrouve dans un réseau d'assainissement. Néanmoins selon leur origine, elles vont avoir une « deuxième vie » différente : traitement et rejet au milieu naturel, traitement spécifique (eaux industrielles) ou encore traitement suivis d'une réutilisation. Cette dernière implique une étude approfondie de la composition des eaux pour les utiliser à bon escient et limiter tout risque d'infection ou de contamination.

Cette réutilisation d'« eau sale » est ainsi soumise à une réglementation qui s'inscrit dans une démarche constante d'amélioration. En effet, le dernier texte de loi concernant la REUR a été voté le 10 août 2010. Il reprend les différents risques (sanitaire et environnemental) liée à une réutilisation d'eaux usées, notamment dans le cadre de l'irrigation de produits destinés à la consommation.

Dans des zones de stress hydriques la réutilisation des eaux usées peut permettre un apport non négligeable d'eau douce, afin d'irriguer des terres arables. Ce procédé technique s'appuie sur une ressource présente en grande quantité et souvent mal gérée : les eaux usées urbaines. La réutilisation de ces eaux permet une valorisation de « ces déchets », qui sont à l'origine de problèmes sanitaires aux conséquences meurtrières dans une large partie du globe. Cette technique requiert des traitements performants et une surveillance sanitaire continue.

Les eaux usées épurées sont valorisées en agriculture grâce à leur composition riche en matières organique et minérale. En effet, l'irrigation par ces eaux permet de limiter l'utilisation d'engrais et peut être utilisée pour tout type de cultures (maraîchages, forêts, golfs...) car le traitement est adapté à l'usage.

Le traitement de ces eaux est assez laborieux et nécessite un traitement supplémentaire (tertiaire) par rapport à un traitement classique. Ce procédé tertiaire consiste à traiter l'eau par lagunage ou par procédés biologiques par exemple.

De nombreux projets ont vu le jour, principalement dans les régions touchées par le manque d'eau. Ce rapport présente le projet de lagunage pour l'irrigation de vignes au

niveau de la commune de Murviel-lès-Montpellier (Hérault). De l'autre côté du bassin méditerranéen, un autre projet de lagunage a été créé à Ben Slimane au Maroc pour l'irrigation d'un golf. En effet cette zone marocaine est régulièrement touchée par des pénuries d'eau (accroissement de la population, tourisme...).

Sommaire

Introduction.....	7
1 La réutilisation des eaux usées urbaines	8
1.1 Le recyclage de l'eau	8
1.2 Composition des eaux usées urbaines	10
1.2.1 Les différentes origines des eaux usées urbaines	10
1.2.2 Les eaux usées domestiques	10
1.3 Milieux concernés par une REUE.....	13
2 L'encadrement juridique de la réutilisation des eaux usées urbaines	14
2.1 La réglementation française et le risque sanitaire	14
2.2 La réglementation française et le risque environnemental	16
3 Techniques de traitement pour la réutilisation des eaux usées.....	16
3.1 Rappel sur l'épuration des eaux usées	16
3.1.1 Le prétraitement.....	16
3.1.2 Le traitement primaire.....	17
3.1.3 Le traitement secondaire	17
3.2 Une étape supplémentaire pour la réutilisation : le traitement tertiaire.....	18
3.2.1 La filtration des matières en suspension.....	18
3.2.2 La réduction des autres paramètres chimiques (N, P...).....	19
3.2.3 La désinfection	20
3.3 Le stockage.....	21
3.4 Cout à l'investissement et à l'exploitation	21
4 Exemples	22
4.1 En France : réseau d'irrigation d'un vignoble de raisin de table à Murviel-les-Montpellier	22
4.2 Réutilisation des eaux usées à l'étranger : Ben Slimane.....	26
Conclusion.....	33

Liste des tableaux

Tableau 1 : Impact des constituants chimiques et biologiques qui peuvent être présents dans le sol.

Tableau 2. Paramètres descriptifs d'une eau usée urbaine

Tableau 3. Paramètres de qualité selon les classes de qualité

Tableau 4. Types d'utilisation pour chaque niveau de qualité et sa légende

Tableau 5 : Tableau comparatif des différentes méthodes de réduction de la pollution, hors membranes

Tableau 6 : Tableau comparatif des différentes méthodes de réduction de la pollution,

Tableau 7 : Techniques de désinfection les plus répandues

Tableau 8 : Evolution de la population de la commune de Murviel de 1968 à 2007

Tableau 9. Inventaire des projets de réutilisation des eaux usées pour l'irrigation agricole

Tableau 10. Récapitulatif du rendement épuratoire de la station (2000 à 2002)

Tableau 11. Analyse financière du projet

Tableau 12. Tableau récapitulatif des avantages et inconvénients de la REUE

Liste des figures

Figure 1 : Diagramme représentant la répartition des volumes prélevés par usage (2007) 11

Figure 2 : Diagramme représentant la répartition des eaux usées par usage

Figure 3 : Carte présentant les localisations des REUE en France

Figure 4 : Schéma présentant la séparation des eaux pluviales et des eaux usées

Figure 1. Diagramme représentant la répartition des consommations quotidiennes d'eau selon les usages domestiques

Figure 6. Localisation des stress hydriques dans le monde

Figure 7: Schéma de synthèse d'une filière de traitement classique.

Figure 8: Comparaison de l'efficacité des techniques de filtration membranaire vis-à-vis des éléments retenus

Figure 9 : Comparaison des besoins énergétiques des procédés de traitement tertiaire des eaux

Figure 10 : Photographie aérienne de la région de Montpellier

Figure 11. Localisation des terrains à irriguer et des lagunes

Figure 12. Photo des lagunes de la commune de Murviel

Figure 13. Principe de fonctionnement du lagunage de l'écosite de Mèze

Figure 14. Carte générale du Maroc (Maghreb)

Figure 15. Carte de la pluviométrie moyenne (mm)

Figure 16. Répartition de la masse d'eau superficielle en fonction d'un critère de qualité

Figure 17. Répartition de la qualité des eaux superficielles du Maroc

Introduction

La notion de développement durable est relativement jeune. On pourrait expliquer cette notion par la phrase suivante issue du rapport de Brundtland en 1987 : «[Le développement durable est] un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre à leurs propres besoins ». Ainsi pour tendre vers un développement durable il est nécessaire d'intégrer le développement économique, social et environnemental. Actuellement, la prise de conscience de cette notion est de plus en plus accentuée et cela est probablement dû à la constatation du réchauffement climatique global accompagné d'une raréfaction des ressources vitales, notamment l'eau ! L'exemple du Tibet illustre l'urgence de mettre en place une gestion raisonnée des ressources en eaux. Les plans d'eau de cette région représentent le tiers de la réserve en eau de la Chine. Les glaciers donnent naissance à des fleuves vitaux pour les populations d'Asie: l'existence d'au moins un milliard de personnes, dans dix pays d'Asie, dépend des eaux du Tibet. Or, selon le glaciologue chinois Yao Tandong, au rythme actuel, près des deux tiers des glaciers du plateau tibétain pourraient disparaître d'ici 2060. Le Tibet, doit dès maintenant faire face à des conflits politiques de partage des richesses et commencer à s'adapter à des situations climatiques extrêmes.

Par ailleurs, la croissance démographique s'accompagnera de besoins alimentaires plus forts et donc de besoins en eau plus importants étant donné le rôle prépondérant que joue cette dernière dans la production alimentaire. Ce manque d'eau risque de provoquer des exodes de populations massifs vers des zones moins touchées.

L'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) souligne le fait que l'agriculture est le secteur le plus gourmand en eau puisque 69 % des prélèvements mondiaux lui sont imputables. Les zones sensibles du globe tentent de préserver leur ressource de bonne qualité pour la production d'eau potable, et utilisent des eaux de qualité moindre, pour l'irrigation.

Les eaux usées urbaines représentent une ressource conséquente en eau qui pourrait être exploitées. Cette solution a déjà été mise en pratique au Maroc et dans bien d'autres pays soumis à un stress hydrique chronique. Il s'agit avec le travail proposé, de s'intéresser à ce procédé et de déterminer si la Réutilisation des Eaux Usées Epurées (REUE) peut être considérée comme une pratique s'inscrivant dans la conception de développement durable.

Avant de présenter les améliorations que l'on peut apporter à une filière classique pour la réutilisation des eaux usées, il semble utile de rappeler ce qu'est une eau usée urbaine, de préciser la réglementation vis-à-vis de son traitement et de présenter les procédés actuellement utilisés pour la traiter. Enfin, l'étude du cas concret de Murviel-lès-Montpellier sera analysée.

1 La réutilisation des eaux usées urbaines

1.1 Le recyclage de l'eau

La réutilisation des eaux usées consiste à récupérer les eaux usées après traitement, afin de les réutiliser. Ce recyclage remplit donc un double objectif d'économie de la ressource : il permet à la fois d'économiser les ressources en amont en les réutilisant, mais aussi de diminuer le volume des rejets pollués. L'intérêt en est cependant limité quand il n'y a pas de tension quantitative sur la ressource en eau dans le secteur concerné.

La disponibilité et l'approvisionnement en eau potable sont des enjeux majeurs pour les prochaines décennies. Il est même à craindre que, ponctuellement ou de façon plus chronique, aucun pays ne soit épargné par ce problème. Le dernier exemple en date, l'Espagne, montre que les pays occidentaux sont également concernés. Cependant, si les ressources deviennent rares ce n'est pas à cause d'une pénurie car la quantité d'eau ne diminue pas, mais bien parce que les usages augmentent. Les raisons en sont variées : l'augmentation de la population et sa concentration importante dans des grands centres urbains, le développement de nouveaux pays et de nouveaux besoins en eau. Certains pensent également que le changement climatique est une des raisons de la raréfaction de cette ressource. Cependant, il semble plus réaliste de considérer que les changements climatiques sont un accélérateur du décalage existant entre les besoins et les ressources. Parmi les solutions existantes, la désalinisation est souvent évoquée mais beaucoup moins la réutilisation des eaux usées qui est également une ressource « alternative ». De plus, elle est la seule ressource qui augmente en même temps que la consommation, ce qui en fait une ressource toujours disponible.

Le recyclage des eaux usées présente l'avantage majeur d'assurer une ressource naturelle et de contribuer à la gestion intégrée de l'eau. Si l'industrie fut la première à s'intéresser sérieusement au recyclage, depuis quelques années le recyclage des eaux usées tend à devenir une pratique acceptée, notamment pour l'irrigation et l'arrosage des espaces verts, et pourrait rapidement être promue au titre de solution y compris pour des usages domestiques.

La réutilisation des eaux usées est avant tout dans un but agricole. En effet, l'agriculture est l'activité la plus consommatrice en eau au regard de la consommation nette. La production d'énergie restitue 93% de l'eau après utilisation, comme le montrent les diagrammes ci-dessous.

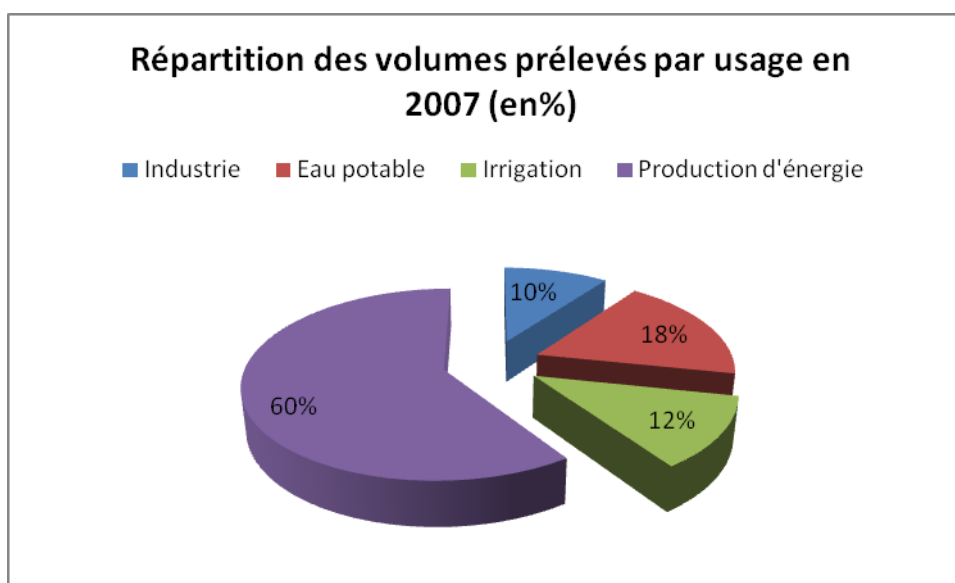


Figure 2. Diagramme représentant la répartition des volumes prélevés par usage (2007)
Source : Site du Ministère de l'Ecologie, du développement durable, des transports et du logement

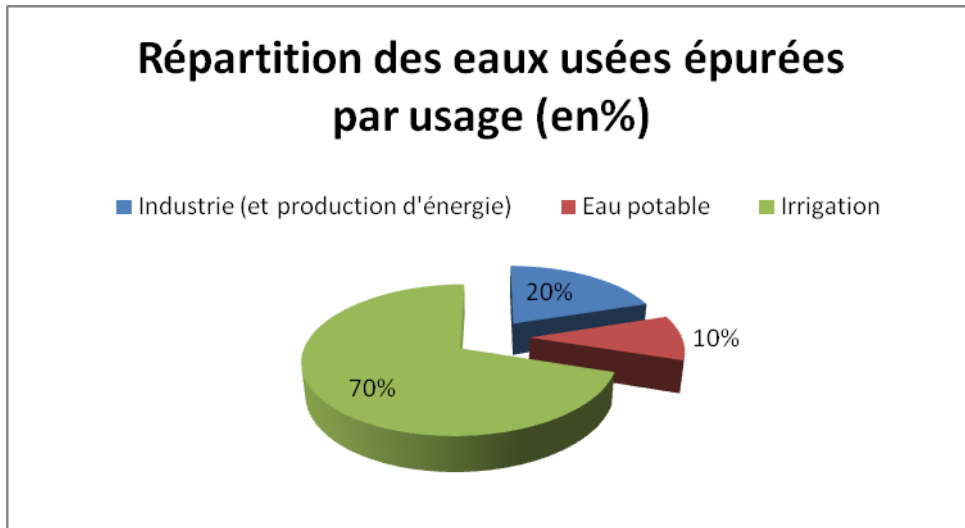


Figure 3. Diagramme représentant la répartition des eaux usées par usage
 Source : Wikipedia

En France, plusieurs projets ont vu le jour. Ces derniers sont notamment localisés sur la côte Atlantique où les variations démographiques sont importantes notamment lors des saisons estivales. Plusieurs villes, notamment des îles, ont choisies de protéger leurs eaux et de faire face à ces flux démographiques en ayant recours à une réutilisation des eaux usées (REUE). Néanmoins, le recyclage est très limité en France; seule une quarantaine de projets ont été développés à titre expérimental pour l'irrigation des cultures, l'arrosage des golfs, des forêts et des prairies :

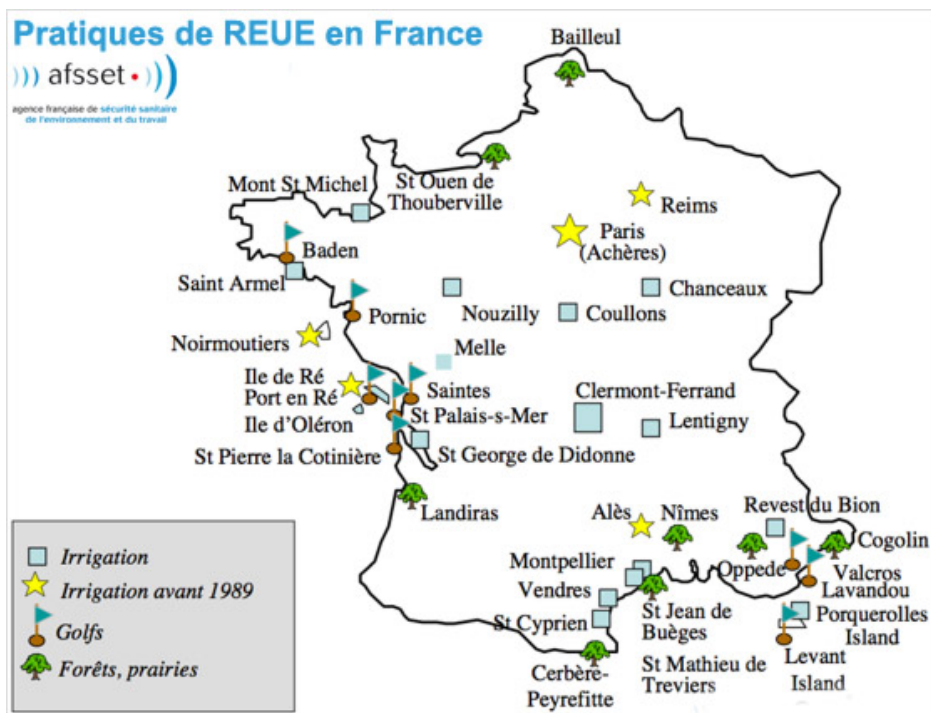


Figure 4. Carte présentant les localisations des REUE en France
 Source : Afsset

1.2 Composition des eaux usées urbaines

1.2.1 Les différentes origines des eaux usées urbaines

La composition des eaux usées en milieu urbain peut être multiple. Il faut tout d'abord différencier les eaux usées et les eaux pluviales.

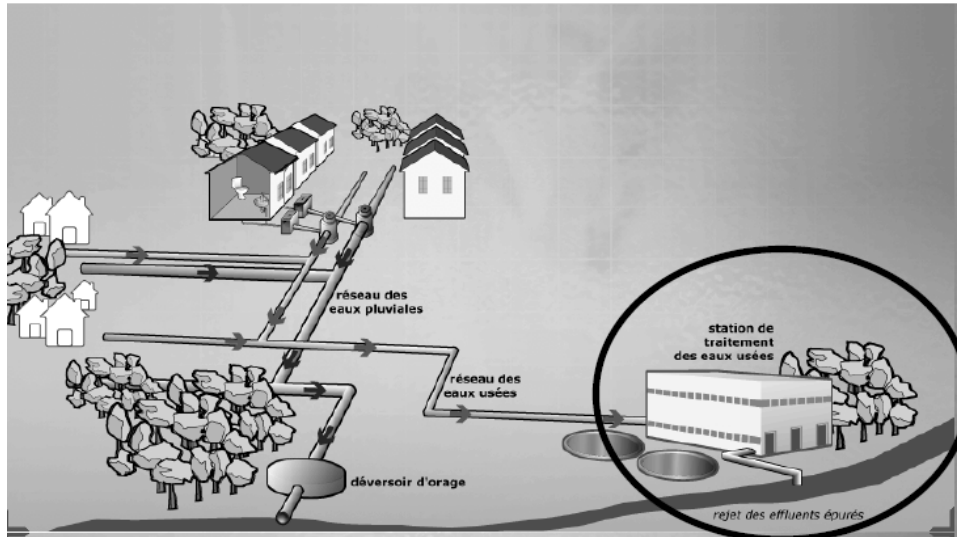


Figure 5. Schéma présentant la séparation des eaux pluviales et des eaux usées
Source : Cours de M. Sadowski

Généralement, les collectivités possèdent un réseau unitaire, c'est pour cette raison que l'on présentera les caractéristiques d'une eau issue de ce type de réseau.

De plus, il faut noter que certaines eaux industrielles se retrouvent dans le réseau, sans convention de rejet. Il faut donc, avant tout projet de réutilisation des eaux usées, faire une étude de la provenance des eaux et les analyser.

1.2.2 Les eaux usées domestiques

Notre étude s'intéresse aux composants des eaux usées domestiques. Ces dernières sont issues de plusieurs activités au sein du logement, comme le montre le diagramme ci-dessous :

Répartition de la consommation quotidienne d'eau selon ses différents usages domestiques

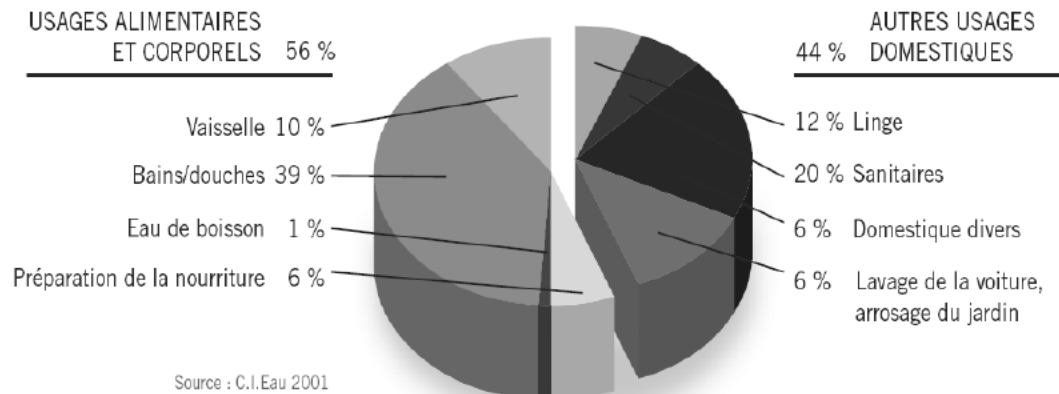


Figure 6. Diagramme représentant la répartition des consommations quotidiennes d'eau selon les usages domestiques
Source : C.I. Eau 2001

Nous constatons que seuls 7% de la consommation (eau de boisson et préparation de la nourriture) nécessite réellement une potabilisation. Les 93% restants sont alors de « l'eau propre » directement rejetée dans le réseau d'eaux usées. Ainsi des solutions alternatives peuvent être entreprises pour limiter ce gaspillage, le recyclage de l'eau usée étant le plus répandu.

Or avant de recycler l'eau pour lui offrir une « seconde vie » il est important d'établir un traitement adapté à l'usage souhaité. Ce traitement étant directement lié aux risques de contamination et de pollution, l'étude de la composition des eaux usées en amont est primordiale.

En effet, selon leur provenance, les eaux usées sont chargées en divers polluants, produits chimiques, matières en suspension (MES), etc. Deux phases peuvent alors être observées dans l'effluent : l'eau et la charge polluante l'accompagnant.

Les tableaux suivants réunissent les différents composants que l'on peut observer dans un réseau d'eaux usées :

Constituants chimiques									
Matières organiques							Matières minérales		
Matières organiques communes			Autres matières organiques				Acides ou bases	Engrais minéraux	Micropolluants métalliques
Lipides	Glucides	Protides	Huiles et goudrons	Détergents synthétiques	Pesticides	Molécules diverses			
Huiles, graisses, certains savons	Sucres	Dégradation de protéines	Souvent artificielles, ils sont toxiques et cancérigènes	Risque d'eutrophisation et de production de mousses	Herbicides et insecticides	Cyanure par exemple ; elles peuvent être toxique	Origine industrielle	Très mobile et responsable de l'eutrophisation du milieu récepteur	Peu dans les eaux usées domestiques

Constituants biologiques			
Bactéries		Virus	Autres
Non pathogènes	Pathogènes		
Saprophytes, présentes dans les matières fécales ; forment la population des boues activées	Salmonella, shigella... Parasites de l'Homme, dangereuses au-delà d'un seuil	Hépatite, polio... Très dangereuse même à faible dose	Champignons, vers...

Tableau 1 : Impact des constituants chimiques et biologiques qui peuvent être présents dans le sol.

Ces différents composants des eaux usées devront être pris en compte pour leur traitement ou pour leur réutilisation éventuelle.

Les paramètres relatifs à la description d'une eau usée urbaine sont les suivants :

Paramètres	Signification	Valeur
pH	Potentiel Hydrogène	~ 8
Conductivité	Activité ionique du milieu	1 100 µS/cm
DCO	Demande Chimique en Oxygène ¹⁷	750 mg/L
DBO ₅	Demande Biochimique en Oxygène à 5 jours ¹⁸	350 mg/L
MES	Matières En Suspension	300 mg/L
Lipides	Graisses	100 mg/L
NK	Azote Kjeldahl = azote organique + azote ammoniacal N-NH ₄ ⁺	80 mg/L
N-NH ₄ ⁺	Azote ammoniacal	60 mg/L
PT	Phosphore Total = phosphore organique + minéral	20 mg/L
P-PO ₄ ³⁻	Phosphore minéral (sous forme d'orthophosphates)	18 mg/L
Coliformes totaux	Microbiologie de l'eau usée	10 ⁹ UFC / 100 mL
Coliformes fécaux		10 ⁸ UFC / 100 mL
Kystes et oocystes de protozoaires		10 ⁵ kystes/L
Œufs d'helminthes		10 ⁴ Œufs/L
Virus		10 ⁵ UFP/L

Tableau 2. Paramètres descriptifs d'une eau usée urbaine

Source : extrait et adapté de documents techniques FNDAE (Canler, 2001 ; Canler et Perret, 2004, 2007) pour les données physico-chimiques et d'Asano et al. (2007) pour les données microbiologiques.

Ces paramètres interviennent dans l'évaluation de la qualité de l'eau, notamment d'un point de vue des risques sanitaire et écologique. Les traitements devront répondre aux normes en vigueur pour chacun des paramètres.

1.3 Milieux concernés par une REUE

Les milieux concernés par une REUE peuvent être divers. Néanmoins, on constate que les régions connaissant des manques d'eau sont les plus concernées (c'est le cas du sud-est de la France notamment). De plus, des localités sont marquées par une utilisation inégale de l'eau au cours de l'année et particulièrement en été lors de l'affluence touristique (à l'Île de Ré par exemple).

Plus globalement, de nombreux pays sont touchés par un stress hydrique, celui-ci correspond au rapport entre l'eau utilisée par l'homme et la ressource en eau disponible dans une région donnée. La carte suivante présente les pays touchés par un stress hydriques (en blanc) :

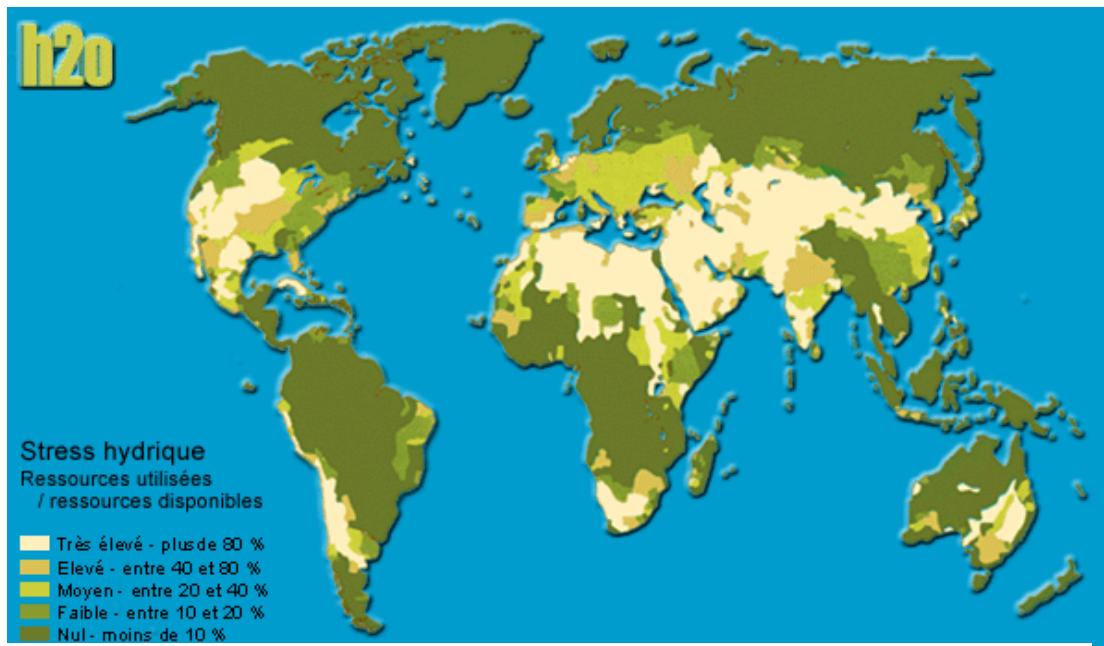


Figure 7. Localisation des stress hydriques dans le monde
Source : populationData.net

Nous remarquons alors que le stress hydrique est très élevé dans certains pays, notamment dans des zones émergentes telles que l'Afrique du Nord ou encore l'Asie. Ce manque d'eau risque d'engendrer de graves pénuries dans un futur proche. C'est pourquoi des solutions alternatives voient le jour, telle la désalinisation en Arabie Saoudite (également touchée par un stress hydrique) ou encore la REUE.

Quant au milieu récepteur, toutes sortes de cultures peuvent être envisagées pour une REUE. En effet, le traitement est adapté aux usages locaux : cultures céréalières, vergers, cultures maraîchères, parcs, golfs, espaces verts et forêts.

Néanmoins le projet doit s'insérer dans l'existant :

- Soit adapter une eau à un usage sur un périmètre d'irrigation existant,
- Soit créer un périmètre d'irrigation pour utiliser une eau déjà épurée par une station existante.

2 L'encadrement juridique de la réutilisation des eaux usées urbaines

L'encadrement juridique permet de prendre en compte deux risques majeurs liés à la REUE : le risque sanitaire (microbien et chimique) et le risque environnemental (pour les eaux et le sol). Les EU, malgré le traitement sommaire qu'elles subissent avant d'être réutilisées, constituent en effet un véritable réservoir pour les différents polluants que sont les microorganismes pathogènes (bactéries, virus, parasites), matières en suspension (MES) et matières organiques, ou encore substances chimiques.

2.1 La réglementation française et le risque sanitaire

Malgré son usage non domestique, la réutilisation des eaux usées pour l'agriculture nécessite une réglementation approfondie afin de garantir la protection de la santé publique et de limiter les risques sanitaires. En effet les eaux usées peuvent être à l'origine de contaminations bactériologiques et chimiques ayant des conséquences redoutables. Les polluants microbiologiques des eaux usées urbaines sont en grande partie d'origine fécale, des traitements sont indispensables. Au niveau européen, il n'existe pas de réglementation encadrant la réutilisation des eaux usées. Cependant l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) a établi plusieurs normes pour les différentes utilisations. En effet, selon le mode de culture et le type d'agriculture, le risque de contamination varie, ce qui explique une diversité des normes.

La qualité des eaux usées est un élément essentiel à prendre en compte lors d'étude sur la réutilisation. En effet, elles peuvent contenir des polluants chimiques très difficiles à traiter. C'est pour cette raison que les eaux domestiques sont largement préférées aux eaux industrielles.

Au niveau du bassin méditerranéen, zone soumise à des stress hydriques qui pourraient justifier le recours à la réutilisation des eaux usées, certains pays ont établi des lignes directrices pour ce thème (Chypre, France, Israël, Italie et Tunisie). Ces lignes directrices permettent une planification et une pratique sans danger afin d'assurer un développement durable de l'irrigation agricole.

Dans ce domaine, la législation française évolue puisque les pratiques et les technologies sont en plein bouleversement. L'arrêté interministériel du 2 août 2010 (relatif à l'utilisation d'eaux issues du traitement d'épuration des eaux résiduaires urbaines pour l'irrigation de cultures ou d'espaces verts) est le texte juridique qui régit à l'heure actuelle cette pratique. Cet arrêté prévoit notamment la classification des eaux usées traitées, afin d'encadrer l'utilisation de ces eaux suivant les cultures, pour limiter les risques sanitaires.

On peut noter qu'il existe une différence notable sur la législation concernant l'étude expérimentale et l'utilisation agricole des eaux usées traitées. Cependant, une demande doit être formulée au préfet, à l'aide d'un dossier justifiant de la qualité des eaux grâce à des analyses.

Cet arrêté interdit l'utilisation de certaines eaux usées traitées, comme celles ayant une origine animale. L'arrêté présente un tableau récapitulatif concernant la réglementation des eaux usées épurées. La législation définit quatre types de réutilisations qui sont soumis à des contrôles sanitaires différents. Le niveau A est le plus exigeant en terme de qualité des eaux traitées, alors que le niveau D est le plus tolérant, ce dernier encadre notamment les eaux traitées pour l'irrigation de forêt.

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

Tableau 3. Paramètres de qualité selon les classes de qualité
Source : LégilFrance, arrêté du 10 août 2010

Tableau 4. Types d'utilisation pour chaque niveau de qualité et sa légende
Source : LégilFrance, arrêté 10 août 2010

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

+ : autorisée, - : interdite.

(1) Sous réserve du respect d'un délai après irrigation

De dix jours en l'absence d'abattoir relié à la station D'épuration et de vingt et un jours dans le cas contraire.

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

(3) Uniquement par irrigation localisée, telle que définie À l'article 2.

2.2 La réglementation française et le risque environnemental

Le cheminement de l'eau dans le sol et donc l'estimation de la dose d'EU à apporter dépend non seulement du type d'irrigation, mais aussi des caractéristiques du sol. Ainsi, la texture, la réserve en eau du sol et sa perméabilité sont autant de facteurs à prendre en compte lors de l'irrigation par des eaux usées épurées. Il est, de plus, essentiel de considérer la présence dans les sols cultivés d'éléments minéraux toxiques à de fortes concentrations. En effet, les eaux usées sont souvent riches en N (azote), P (phosphore), K (potassium). Pour éviter des apports trop importants, il faut en tenir compte dans la fertilisation. De même, un excès de sodium risquerait d'entraîner une alcalinisation des sols, et les quantités d'éléments traces éventuels doivent être connues. Lorsque ces concentrations sont correctement prises en compte, les eaux usées épurées peuvent alors servir d'engrais en apportant au sol, de l'eau et des nutriments, tout en économisant les ressources en eau de bonne qualité.

Par ailleurs, après son traitement en station d'eaux usées, cette eau n'est pas directement rejetée dans le milieu naturel, contrairement aux eaux usées dont le cycle est habituel. Elle est acheminée pour l'irrigation et sera rejetée plus tard dans le milieu naturel. A l'échelle locale, il y aura donc un manque d'eau au niveau du rejet de la station de traitement des eaux, comparé à une situation antérieure, sans REUE. Peut-être que cela pourrait perturber l'écosystème de certains poissons ou autres espèces aquatiques dont le mode de vie serait très sensible au niveau d'eau dans la rivière. Cependant, étant donné le faible volume d'eau que cela risque de représenter, l'impact devrait rester très limité et localisé. Une étude plus approfondie, au cas par cas, devrait permettre de s'affranchir d'un tel problème. A l'échelle globale du cycle de l'eau, cette eau utilisée pour l'irrigation va s'infiltrer peu à peu dans le sol et rejoindra tout de même le cycle de l'eau, mais pas au même point.

3 Techniques de traitement pour la réutilisation des eaux usées

Les eaux usées urbaines ne peuvent être réutilisées directement car leur usage est vecteur d'un risque sanitaire potentiellement important pour l'homme et dégrade l'environnement.

Plusieurs études confirment cela mais aucun exemple concret n'a été trouvé pour illustrer ce propos.

Ainsi, un traitement est toujours nécessaire. Celui-ci sera différent selon le type d'usage que l'on choisit ; irrigation, usage urbain, alimentation de nappe, eau potable...

Un projet de réutilisation d'eaux usées concerne les eaux traitées par des installations de traitement classiques.

3.1 Rappel sur l'épuration des eaux usées

Pour répondre à la réglementation sur le traitement des eaux résiduaires urbaines des Station de Traitement des Eaux Usées (STEU) ont été réalisées. Une STEU « classique » est composée d'équipements de pré-traitements, d'un traitement primaire (facultatif), suivi d'un traitement secondaire.

3.1.1 Le prétraitement

Cette première étape de la filière de traitement permet d'éliminer les éléments les plus grossiers et les plus gênant afin de protéger les installations présentes en aval

(organes électromécaniques et ouvrages). Cela consiste en un traitement physique de l'effluent urbain grâce à trois ouvrages placés en série. Il s'agit du dégrilleur, du dessableur et du déshuileur qui permettent de se séparer des déchets volumineux, des sables et des graisses.

3.1.2 Le traitement primaire

Parfois ce traitement est nécessaire afin de protéger les appareils électromécaniques et les ouvrages. Il s'agit d'abattre essentiellement la concentration en Matières En Suspension (MES) par un traitement physique : une décantation. Parfois, avant la décantation, une étape de coagulation-floculation est réalisée afin d'obtenir de meilleurs résultats.

3.1.3 Le traitement secondaire

Lors de cette étape, il s'agit de dégrader la pollution par l'intermédiaire de bactéries, c'est un traitement biologique. Les traitements biologiques principalement rencontrés sont :

- les boues activées,
- les lits bactériens,
- le lagunage naturel,
- les bioréacteurs à membranes.

Les boues activées et les bioréacteurs à membranes sont les techniques les plus efficaces pour traiter les pollutions azotés, carbonées et phosphorée.

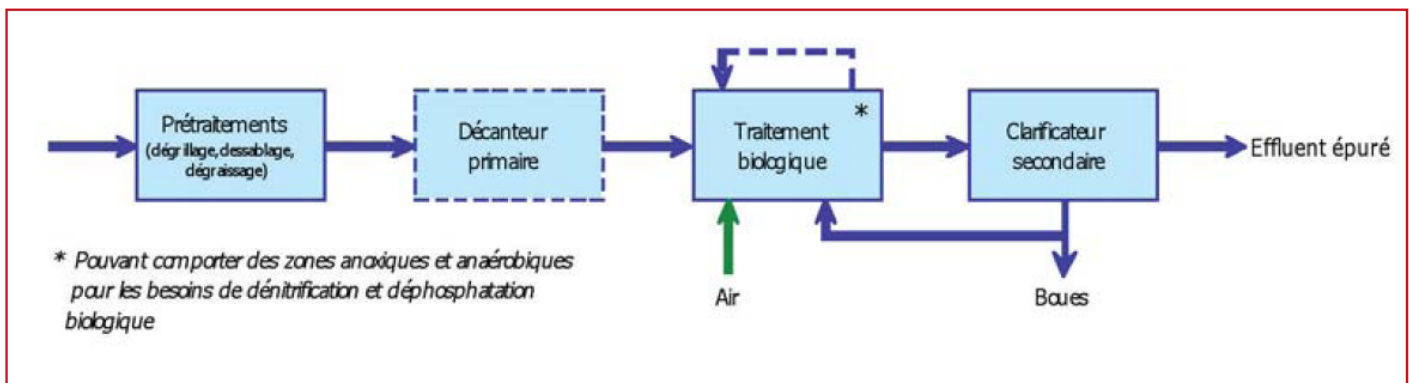


Figure 7: Schéma de synthèse d'une filière de traitement classique.
Source : L'eau, l'industrie, les nuisances, n°299.

Suite à ces traitements une eau usée urbaine répond généralement aux exigences réglementaires. L'eau ainsi traitée peut rejoindre le milieu naturel.

Le milieu naturel possède des capacités d'auto-épuration qui permettront d'affiner le traitement de l'eau.

Par contre, pour réutiliser des eaux usées traitées directement en sortie de STEU il est nécessaire d'ajouter une étape de traitement dans la filière. Il s'agit d'un traitement tertiaire.

Remarque : Aujourd'hui, sur certaines STEU un traitement tertiaire est également réalisé avant rejet dans le milieu naturel ceci s'explique principalement par la sensibilité du milieu récepteur.

3.2 Une étape supplémentaire pour la réutilisation : le traitement tertiaire

Trois étapes composent le traitement tertiaire dont le but, ici, est d'obtenir une eau réutilisable pour les activités humaines. On distingue :

- la rétention des matières en suspension et colloïdales résiduelles,
- la réduction d'autres paramètres chimiques (N, P...)
- la désinfection.

3.2.1 La filtration des matières en suspension

Il existe plusieurs techniques de filtration des matières en suspension. Elles diffèrent essentiellement par leur efficacité mais aussi par leurs pressions de travail et par leur propension à se colmater. La **figure 8** ci-dessous présente et compare l'efficacité des techniques de filtration actuelle vis-à-vis des éléments retenus.

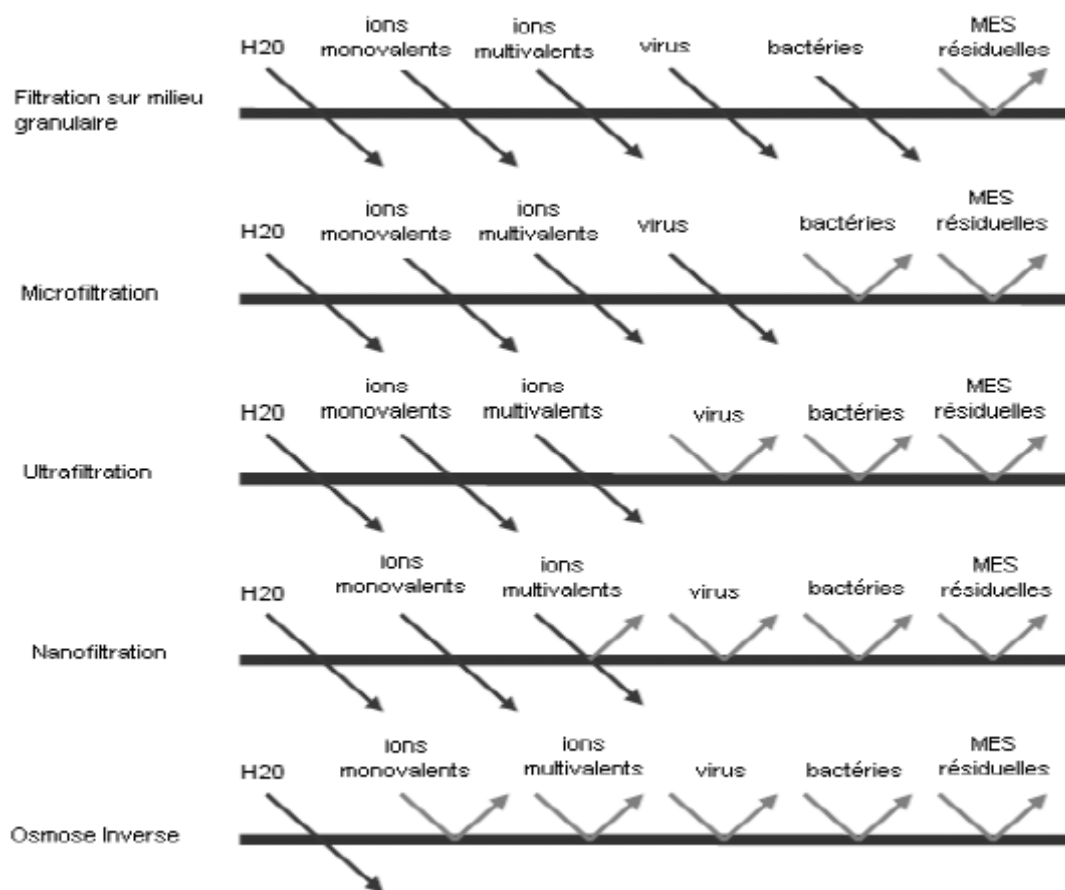


Figure 8: Comparaison de l'efficacité des techniques de filtration membranaire vis à vis des éléments retenus.

Source : ONEMA - CEMAGREF, 2009

Plus le filtre retiendra d'éléments plus il faudra fournir une pression de travail importante et plus le filtre aura tendance à se colmater.

3.2.2 La réduction des autres paramètres chimiques (N, P...)

Outre les méthodes de filtration vue ci-dessus, de nombreuses méthodes existent selon les éléments que l'on souhaite éliminer.

On distingue les procédés suivants :

- la coagulation - floculation - décantation,
- le lagunage,
- l'infiltration percolation,
- les résines échangeuses d'ions,
- le charbon actif grain,
- le charbon actif poudre,
- l'électrodialyse,

	Coagulation-Floculation Décantation	Lagunage	Infiltration -Percolation
Principe	Avec l'injection de réactifs les particules non décantables s'agglomèrent et forment des floccs. Ces floccs décantent, ils permettent donc de séparer les particules la phase eau.	C'est un procédé extensif qui consiste à retenir l'eau dans des bassins avec une hauteur d'eau différente. Cette méthode de traitement repose sur le pouvoir auto-épuration du milieu naturel.	L'infiltration percolation utilisée sur des effluents épurés biologiquement est un procédé rustique de désinfection faisant appel à des bassins d'infiltration constitués de sable de différentes granulométries.
Intérêt	Ce procédé en tête de filière est capable d'abattre 90 % des MES, 50 à 60 % de la DBO5 et de la DCO.	Une lagune de finition permet, en plus d'un abattement de la DBO5 (abattement de 50 % environ en 48 heures), et d'un pouvoir de nitrification, de réduire de 3 à 4 unités logarithmiques la concentration bactérienne exprimée en germes-test (coliformes fécaux) pour un temps de séjour de 30 jours environ et pour une température de l'eau de 15 à 20 °C.	Dégradation importante de la matière organique : 90 à 95 % sur les MES, DBO5, DCO.

Tableau 5 : Tableau comparatif des différentes méthodes de réduction de la pollution, hors membranes

Sources : L'eau, l'industrie, les nuisances, n°299 / ONEMA-CEMAGREF, 2009 / Cours ENGEES FIPA, Sadowski, 2011)

Tableau 6 : Tableau comparatif des différentes méthodes de réduction de la pollution, hors membranes

Sources : L'eau, l'industrie, les nuisances, n°299 / ONEMA-CEMAGREF, 2009 / Cours ENGEES FIPA, Sadowski, 2011)

	Résines échangeuses d'ions	Charbon actif grain ou poudre	Electrodialyse
Principe	L'effluent à traiter passe sur une résine où vont interagir les constituants de la résine avec certains de l'eau	Structure microporeuse en surface qui peut « capturer » des molécules de très fines tailles	Séparation électrochimique où les ions sont transportés à travers des membranes sélectives sous l'influence d'un courant électrique
Intérêt	Peut éliminer les ions ammonium, les nitrates, les micropolluants métalliques, les solides dissous et les matières organiques	Destiné à éliminer efficacement les éléments traces organiques (solvants, pesticides, hydrocarbures, ...) et les éléments traces minéraux comme les micropolluants métalliques	Permet d'éliminer les ions, mais pas aussi efficacement que l'osmose inverse

3.2.3 La désinfection

La désinfection consiste en la destruction des germes pathogènes pour lutter contre les maladies épidémiques.

Cette étape du traitement tertiaire permet donc de s'affranchir définitivement des risques d'infections liées à des germes encore présents. Cependant il existe différents procédés de désinfection dont l'efficacité est variable. On distingue la désinfection par le chlore et ses dérivés, l'ozone et les rayons Ultra Violet (UV).

Le principe d'action et les avantages et inconvénients de chacun de ces produits sont présentés dans le tableau suivant :

	UV	Ozone	Chloration		
			Chlore gazeux	Bioxyde de chlore	Eau de Javel
Formule chimique	$\lambda = 254 \text{ nm}$	O_3	Cl_2	ClO_2	$NaClO$
Etat	Radiation électromagnétique	Gazeux	Gazeux	Gazeux	Liquide
Principe	Agit directement sur l'ADN des microorganismes et interrompt leur processus de vie et de reproduction	- Décharge électrique dans l'oxygène entre deux électrodes - Production d'un radical détruisant les micro-organismes	Puissant désinfectant qui inhibe les fonctions enzymatiques des bactéries		
Réactions		$O_3 + H_2O \rightleftharpoons HO_2 + HO_2$	$Cl_2 + H_2O \rightleftharpoons HClO + HCl$	Plusieurs voies possibles	$2 NaOH + Cl_2 \rightleftharpoons NaClO + H_2O$
Avantages	- Pas de sous-produits - Facilité d'utilisation et sécurité d'exploitation	- Spectre d'action large - Très efficace contre les virus - Pas de formation de THM	- Présence d'un résiduel qui garantit la désinfection - Grande facilité d'utilisation	- Grande efficacité contre les pathogènes - Plus efficace que le Cl_2 - Ne réagit pas avec la matière organique	
Inconvénients	- Pas de résiduel (risque de recontamination sur le réseau si casse) - Sensible aux variations de turbidité	- Très instable (généré in situ) - Pas de résiduel - Grande consommation d'énergie - Coûts d'investissement importants	- Reviviscence bactérienne possible (formes de résistances) - Gaz corrosif - Présence possible de sous-produits indésirables (THM, ...), responsables de mauvaise odeur et goût	- Instable (généré sur place) - Peut générer des chlorites ClO_2^- - Assez cher	- Présence possible de sous-produits indésirables (THM, ...), responsables de mauvaise odeur et goût - Peut provoquer précipitation du calcium - Solution se dégradant dans le temps
Effet rémanent	Non	Non	Oui	Oui	Oui

Tableau 7 : Techniques de désinfection les plus répandues (Source : ONEMA - CEMAGREF, 2009)

La chloration est un moyen très utilisé en traitement d'eau potable car elle a une action désinfectante et elle possède également un pouvoir rémanent qui est très intéressant pour éviter toutes nouvelles contaminations lors du transit par le réseau de distribution.

Néanmoins, sur une eau usée, suivant la finesse du traitement, il est nécessaire de travailler avec de fortes doses selon la quantité de matière organique présente (notion de Break Point). Il y aura alors formation de produits cancérigènes (trihalométhane) ou indésirables (goûts et odeurs). Toutefois, il est possible de procéder à une déchloration finale à l'aide de produits sulfurés ou sur lit de charbon actif mais ces traitements sont très coûteux.

Pour désinfecter une eau usée traitée, selon une étude du groupement ONEMA-CEMAGREF en 2009, il semble que l'ozone soit le désinfectant le plus efficace. Pour inactiver la même quantité de virus il faut 0.4 mg.min/L d'ozone alors qu'il faut 1 mg.min/L de chlore libre.

3.3 Le stockage

Il existe plusieurs types de stockage utilisés suivant l'espace et le type de terrain disponible, les cultures à irriguer et le coût de fonctionnement. Il est possible de recharger les nappes aquifères, soit par injection direct soit avec les techniques de surfaces mais nécessite des traitements plus lourds afin d'éviter toute pollution du milieu naturel ; de stocker les eaux dans des réservoirs de stabilisation permettant de diminuer la demande en oxygène, les teneurs en MES, en métaux lourds, en azote et en micro-organisme, ils sont profonds de 5,5 à 15m pour limiter les pertes par évaporation ; ou bien d'effectuer une épuration (épuration et valorisation des eaux usées).

3.4 Cout à l'investissement et à l'exploitation

Le but principal d'un tel projet est bien sur l'économie d'eau. Au lieu de la puiser dans le milieu naturel, elle est réutilisée pour l'irrigation. De plus, cette eau est plus riche en nutriment que l'eau naturelle, il est donc possible pour l'agriculteur de faire des économies d'engrais, ce qui peut compenser le prix de l'eau et de son traitement. Le coût de tels projets est très variable, il dépend du type de traitement effectué sur les eaux usées, du type d'irrigation (rechargement de nappe, bassins, vaporisation, goutte à goutte...) ayant des coûts de fonctionnement fluctuant en fonction de leurs besoins énergétiques (cf. graphique ci-joint), se répercutant ainsi sur le prix de l'eau, et du volume journalier d'eau traité. De plus, les agriculteurs et travailleurs dans les champs doivent prendre des mesures supplémentaires liées aux risques sanitaires du contact avec ces eaux.

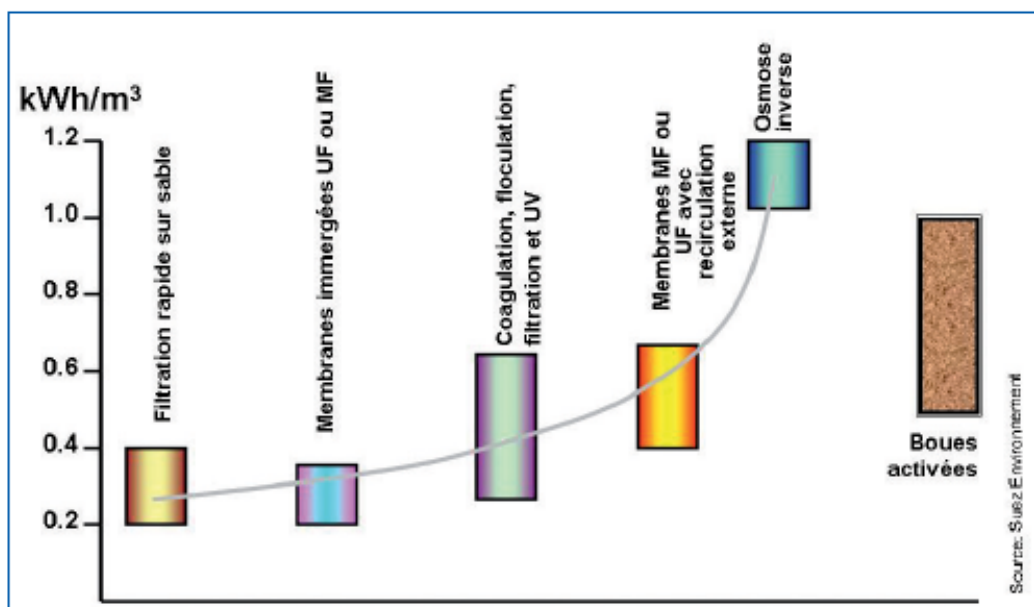


Figure 9 : Comparaison des besoins énergétiques des procédés de traitement tertiaire des eaux usées (en comparaison des boues activées avec l'élimination de l'azote).

Ainsi, l'investissement de départ, qui est relativement important mais est variable, est souvent compensé par le coût à l'exploitation. En effet, ces deux dépenses sont souvent inversement proportionnelles. Cependant les dépenses étant élevées, de telles réutilisations des eaux usées ne sont justifiables qu'en zones de stress hydrique, où le manque d'eau est préjudiciable.

4 Exemples

Les eaux usées sont peu récupérées en France où l'on dispose généralement de ressources naturelles suffisantes. Leur utilisation se justifie habituellement plus par le souhait de ne pas rejeter dans un milieu particulièrement sensible. Mais il n'en est pas de même dans des pays voisins, notamment au sud de la Méditerranée (par exemple, Egypte, Israël, Tunisie), qui veulent disposer de ressources plus importantes pour l'irrigation et ne pas utiliser à cette fin les rares ressources d'eau de qualité provenant des nappes.

4.1 En France : réseau d'irrigation d'un vignoble de raisin de table à Murviel-les-Montpellier

Présentation du site :

Murviel-lès-Montpellier est une commune de l'Hérault dont le nombre d'habitants ne cesse de croître (environ 27 nouveaux habitants chaque année) :

	1968	1975	1982	1990	1999	2007
Population	424	441	687	935	1 208	1 658

Tableau 8 : Evolution de la population de la commune de Murviel de 1968 à 2007
Source : Insee

La ville est située dans le bassin méditerranéen où les besoins en eau sont importants, notamment lors de la période estivale.

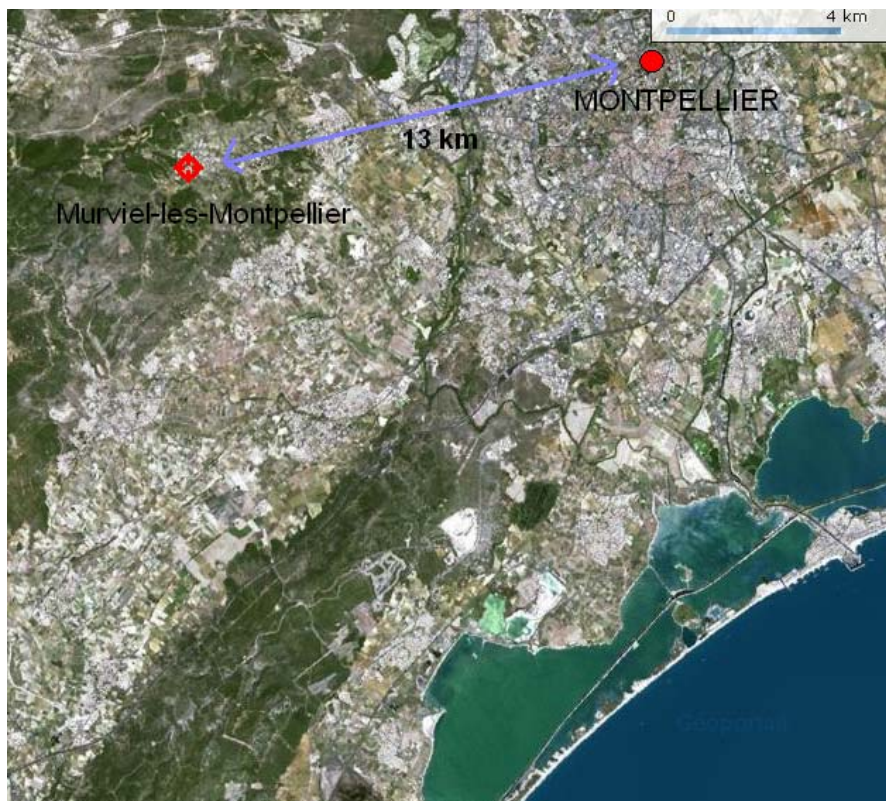


Figure 10 : Photographie aérienne de la région de Montpellier

La ville a la particularité d'être une ville viticole. Or, avec l'augmentation de la population et l'attraction touristique de la ville, une compétition entre l'usage urbain et l'usage agricole de l'eau est née.

Objectifs du projet:

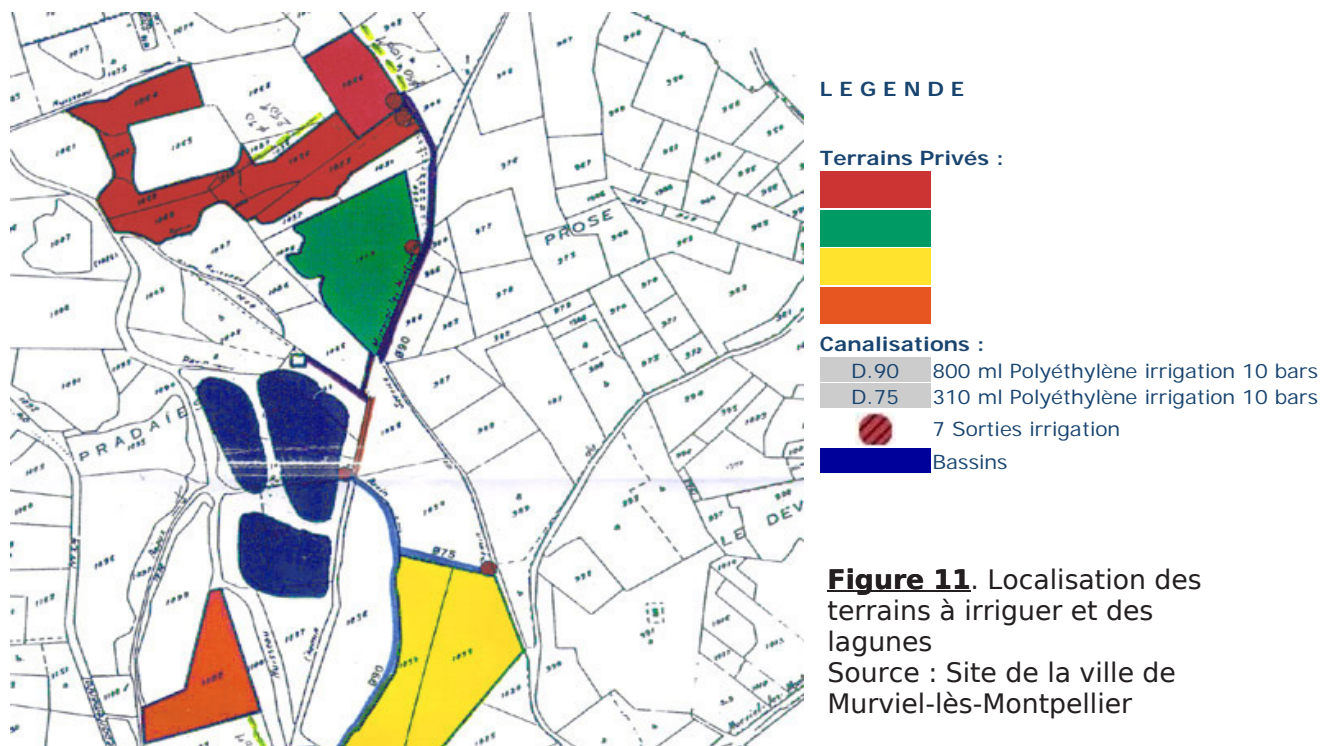
Les objectifs du projet sont multiples pour la commune :

❖ Traitement des eaux usées:

Les eaux usées de la commune vont être mieux traitées (une troisième étape de traitement va être ajoutée). Ainsi, le milieu naturel est mieux protégé. Ce projet a été conduit par la commune de Murviel-lès-Montpellier en coopération avec l'écosite de Mèze.

❖ Protection de la ressource en eau:

La ressource en eau est ainsi conservée et consacrée aux besoins plus urbains. La REUE permet ici une limitation de la consommation en eau pour l'irrigation. De plus, les terrains étant proches de la zone de traitement, nous constatons que la proximité est privilégiée dans ce projet. La carte ci-dessous permet de localiser les bassins de la commune ainsi que les principaux réseaux d'irrigation :



❖ Développement touristique:

L'irrigation consomme une part importante d'eau pour la commune. Or, la REUE permet de renouveler les eaux urbaines ce qui, comme nous l'avons vu, permet de préserver la ressource. Ainsi, une plus grande quantité d'eau sera disponible, ce qui permettra de poursuivre l'augmentation de population de la ville, ainsi que son attractivité touristique.

Caractéristiques techniques

Un traitement tertiaire par lagunage est mis en place au niveau de la commune (localisation des lagunes sur la figure X). Deux lagunes sont utilisées pour l'épuration des eaux usées et une troisième pour le stockage de l'eau.



Figure 12. Photo des lagunes de la commune de Murviel
 Source : site de Murviel-Les-Montpellier

Le fonctionnement des lagunes est simple comme le montre ce schéma :

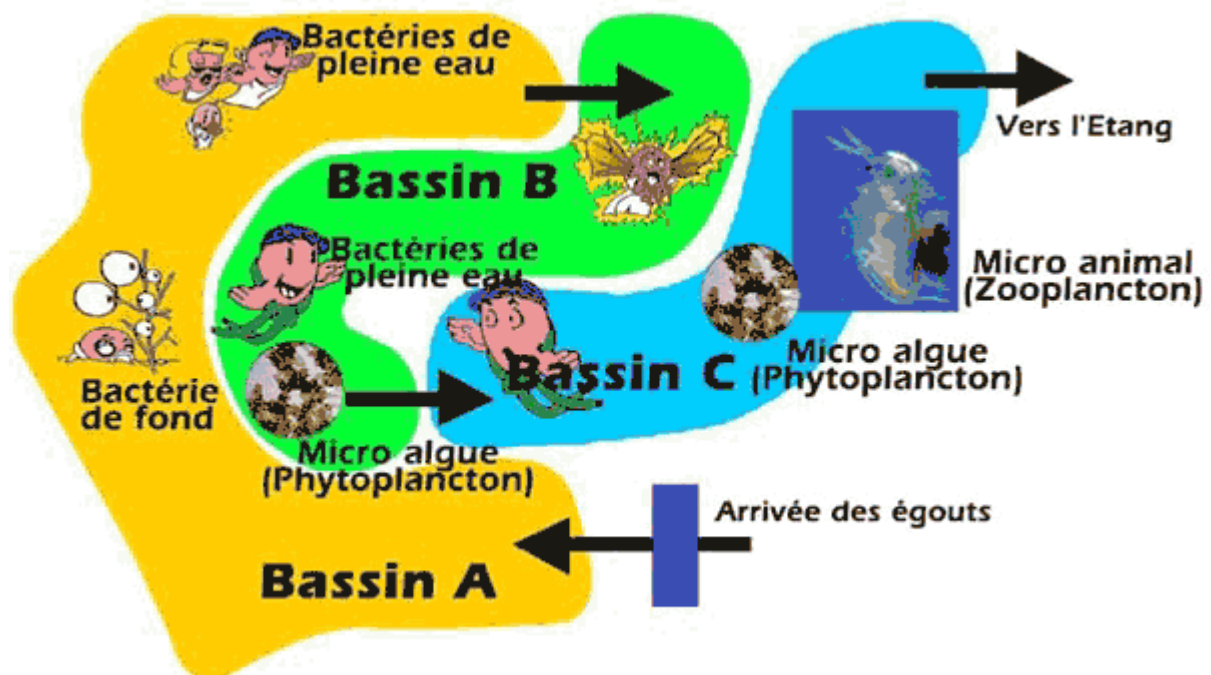


Figure 13. Principe de fonctionnement du lagunage de l'écosite de Mèze
 Source : site de la ville de Mèze

Les eaux usées collectées par les égouts sont acheminées vers les lagunes. Puis elles sont débarrassées des gros objets, des sables et graviers, des huiles et des graisses, grâce aux divers procédés vus en III. Elles sont ensuite dirigées vers le bassin A où les matières organiques se séparent en deux catégories :

- Celles qui vont se déposer dans le fond du bassin et être transformées par des bactéries de fond.
- Celles qui resteront en suspension dans l'eau et qui seront digérées par des bactéries de pleine eau.

La digestion de ces premières produit des sels nutritifs et des gaz de digestion (méthane, hydrogène sulfuré). Les sels nutritifs restent sur place et les gaz s'évaporent.

Dans le bassin B, l'eau arrive chargée de ces bactéries de pleine eau, productrices de gaz carbonique et de sels minéraux. Il faut noter que, parmi les bactéries, certaines sont porteuses de maladies. Sous l'action du soleil, elles meurent peu à peu. Quant aux sels minéraux et au gaz carbonique, ils rencontrent de minuscules algues (phytoplancton) qu'ils nourrissent sous l'action du soleil. Cette activité photosynthétique dégage alors de l'oxygène et les algues se multiplient.

Quant au bassin C, il accueille le reste des bactéries de pleine eau, les sels minéraux restants et les minuscules algues. Ce milieu est favorable au développement de microscopiques animaux (zooplancton) qui se nourrissent des bactéries et des algues et respirent grâce à l'oxygène produit par celles-ci.

Au bout d'un cycle, qui dure environ 80 jours, est rejeté dans l'étang (de Thou) ce riche plancton dans une eau épurée à 99,99 %. Ce plancton est un véritable fourrage qui nourrit les coquillages de l'étang. Par ailleurs, l'important apport d'eau douce est un facteur essentiel pour la santé du milieu. Ainsi se boucle le procédé du lagunage qui prend sa place dans la chaîne alimentaire.

Utilisations des eaux épurées

L'eau est ici utilisée pour l'irrigation de cultures de raisins de table et d'oliviers localisées autour des lagunes, le sol jouant alors son rôle de filtre.

Contrôles sanitaires

Nous estimons qu'une enquête sanitaire est ici indispensable. D'autant plus que les produits irrigués sont directement destinés à la consommation humaine. Néanmoins, aucune étude ou information n'a été trouvée sur les contrôles sanitaires liés à ce projet.

Analyses économiques

Ce dispositif permet une économie de 50 000 m³ d'eau par an. De plus, certains éléments polluants (nitrates, phosphates) sont recyclés par les cultures, l'objectif étant le « zéro pollution ». Ceci limite alors l'utilisation d'engrais et est favorable à une démarche de développement durable.

Aspects de développement durable

Le prix de l'eau est réduit pour les exploitants, la ressource est préservée et l'impact sur le milieu naturel est moindre. De plus, le pouvoir épurateur du sol est utilisé et les composants de l'eau épurée (nitrates et phosphates) servent d'engrais naturels.

4.2 Réutilisation des eaux usées à l'étranger : Ben Slimane (Maroc)

Présentation de la région:

Ben Slimane est une ville de 40 000 habitants au Maroc, à 50km au Sud Ouest de Rabat. 80% de la population de la ville est raccordée au réseau unitaire d'assainissement. Cette ville constitue une assez grande «ressource» en eaux usées, qui doit être traitée.

Le Maroc est une des zones du bassin méditerranéen qui connaît de nombreux stress hydriques. Une grande partie du Maroc connaît un climat aride, et les terres sont souvent victimes de sécheresses importantes. Une mauvaise répartition (géographique et temporelle) des précipitations est à l'origine d'une rareté des ressources et d'un déficit croissant en eau. Par conséquent, le Maroc constitue une zone de stress hydrique permanent, soit une ressource en eau inférieure à 1000m³/hab./ an. Par comparaison, la France dispose de 3500 m³/hab/an, ce qui lui permet d'éviter des stress hydriques dans la plupart des ses régions.



Figure 14. Carte générale du Maroc (Maghreb)

Etat des lieux de la situation hydrologique du Maroc

L'objectif de cette partie est d'apporter une analyse succincte de l'état des ressources en eau du Maroc afin de replacer le projet de Ben Slimane au cœur des problématiques de cette région.

Tout d'abord nous pouvons découper le Maroc en 5 régions, selon la pluviométrie correspondante à la zone.

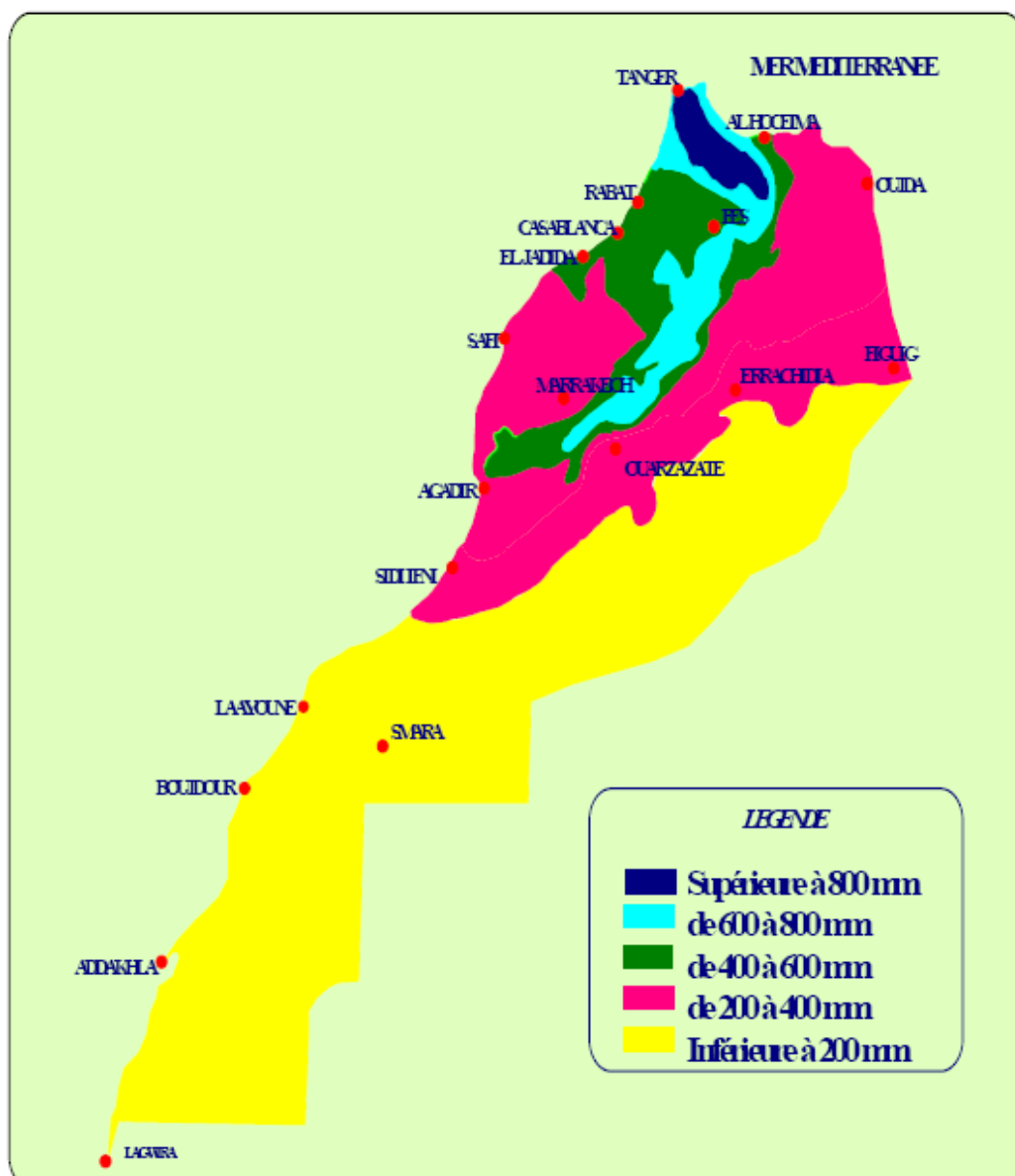


Figure 15. Carte de la pluviométrie moyenne (mm)

Source : Direction de la Recherche et de la Planification de l'Eau

La commune de Ben Slimane se situe dans la zone de pluviométrie annuelle entre 400 et 600 mm, il s'agit d'un climat aride et dont les précipitations sont intenses, rapides et peu fréquentes.

En plus d'un manque de ressources en eau, le Maroc est victime d'une dégradation de la qualité de ses eaux superficielles. Le rejet d'eaux usées sans traitement efficace au préalable et l'ensemble de l'activité humaine ont conduit à une dégradation du milieu naturel, et donc une détérioration de la qualité des eaux. Le diagramme qui suit estime à 54% la part des eaux superficielles considérées de qualité moyenne ou mauvaise. Ainsi, les eaux de surface de bonne et de très bonne qualité ne représentent que 46 % des eaux de surface disponibles, dans un pays où l'industrie et l'activité humaine sont en pleine expansion. On peut alors s'inquiéter du devenir de ces masses d'eau, de plus en plus victimes de pollutions diverses.

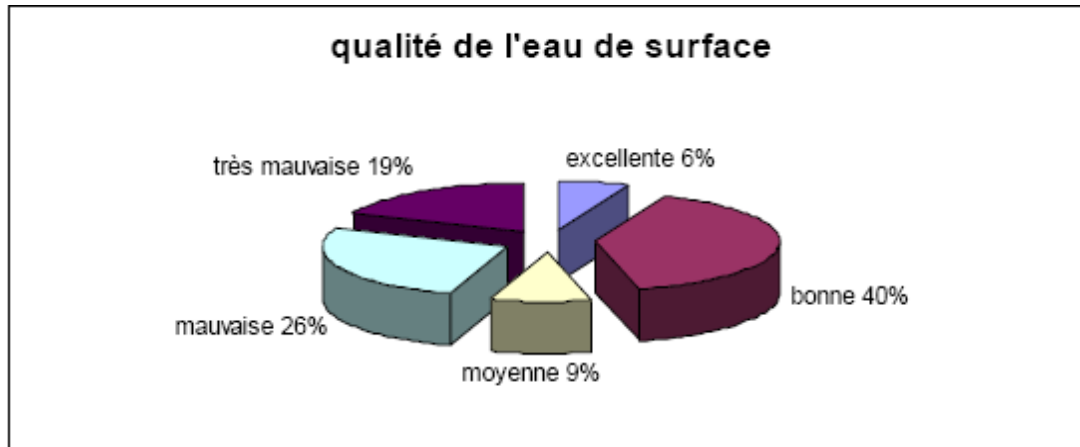


Figure 16. Répartition de la masse d'eau superficielle en fonction d'un critère de qualité
 Source : Direction de la Recherche et de la Planification de l'Eau

La région de Ben Slimane, près de Rabat, est située dans une zone de très mauvaise qualité. La forte densité de population dans cette région et une mauvaise gestion des eaux usées expliquent cette dégradation du milieu. Un projet de réutilisation des eaux usées peut améliorer la qualité des eaux superficielles s'il permet un meilleur traitement et une surveillance des rejets.

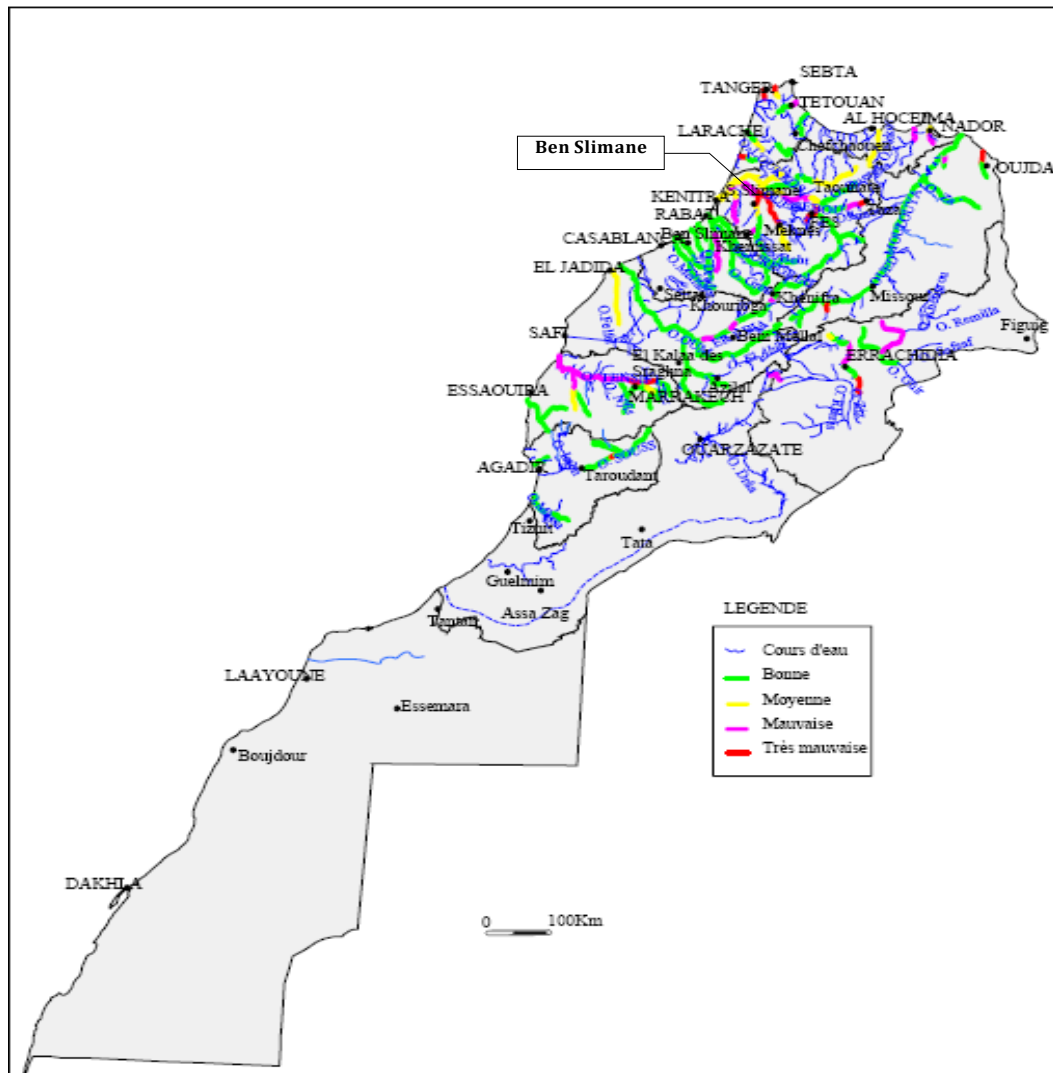


Figure 17. Répartition de la qualité des eaux superficielles du Maroc
 Source : Direction de la Recherche et de la Planification de l'Eau

Le Maroc dispose de plusieurs aquifères, l'ensemble de ces ressources sont aujourd'hui exploitées, ce qui représente 2,7 milliards de m³ par an de prélèvement dans les eaux souterraines.

L'eau potable est, au Maroc et ailleurs, au cœur des préoccupations et des enjeux. Depuis ces dernières années, la réutilisation des eaux usées épurées s'est fortement développée dans cette partie du Maghreb. La direction de la Recherche et de la Planification de l'Eau du Maroc, a réalisé un inventaire (incomplet puisque le projet de Ben Slimane n'y figure pas) des zones agricoles irriguées à partir d'eaux usées épurées. Ce procédé reste encore largement minoritaire dans les pratiques agro-pastorales marocaines, mais il constitue plus de 7000 hectares de surface agricole. Les types de cultures sont très variés, la réutilisation des eaux usées peut permettre l'irrigation de l'ensemble des activités agricoles, comme le montre le tableau ci-dessous:

Province	Superficie (ha)	Spécifications
Marrakech	2000	Céréales, maraîchages, arboriculture
Mekmès	1400	Céréales, maraîchages, arboriculture
Oujda	1175	Maraîchages, céréales, arboriculture
Fès	800	Arboriculture, maraîchages
El Jadida	800	Maraîchages, fourrage
Khouribga	360	Céréales, maraîchages
Agadir	310	Arboriculture, maraîchages, soja, floriculture
Béni-Mellal	225	Céréale, maraîchages, coton, betterave
Ben Guérir	95	Maraîchages, fourrage, arboriculture
Tétouan	70	Maraîchages, fourrage
Total	7235	

Tableau 9. Inventaire des projets de réutilisation des eaux usées pour l'irrigation agricole
Source : Direction de la Recherche et de la Planification de l'Eau

Objectifs du projet

Le projet sur la commune de Ben Slimane datant de 1997 a été mené afin satisfaire plusieurs objectifs pour rentabiliser au mieux ce projet.

- Traitement des eaux usées:

Le projet de réutilisation des eaux usées permet avant tout un meilleur traitement des eaux usées domestiques de la commune. Les rejets dans le milieu naturel sont d'avantage contrôlés et les impacts sur l'environnement sont moindres. En effet, pour réutiliser les eaux usées, des traitements supplémentaires ont été mis en œuvre, ce qui permet une meilleure protection de l'environnement et de la santé publique.

- Protection de la ressource en eau:

La réutilisation des eaux usées de la commune de Ben Slimane a pour objectif d'irriguer des surfaces agricoles. Cette région marocaine est particulièrement soumise aux stress hydriques, la réutilisation des eaux usées est un moyen de protection de la ressource.

- Développement touristique:

Le développement touristique de cette région est à l'origine d'une augmentation des consommations en eau potable. Les complexes hôteliers ainsi que les complexes sportifs tels que les terrains de golf, sont de gros consommateurs d'eau potable. Afin d'assurer les demandes d'eau, la collectivité doit trouver de nouvelles ressources ou de nouvelles technologies afin de combler les besoins de plus en plus importants. Ce projet symbolise pleinement les problématiques rencontrées lors de la réutilisation des eaux usées. La principale motivation qui a conduit à ce projet est bien l'accroissement d'une activité touristique. On peut alors s'interroger sur la notion de développement durable dans ce cas précis. Une réutilisation des eaux usées ne doit-elle pas s'inscrire dans une politique globale de protection de la ressource et donc de réduction des consommations ?

Caractéristiques techniques

La station de réutilisation de Ben Slimane a été construite en 1997, elle a été dimensionnée pour un débit de 5600m³/j pour satisfaire les rejets en 2010. Cette station se caractérise par une série de traitements afin d'obtenir une qualité sanitaire suffisante.

- Le traitement primaire: Anaérobie

Il s'agit d'un procédé de lagunage naturel de 2 à 3 jours qui permet:

- la sédimentation des œufs d'Helminthes (90% d'élimination)
- l'abattement des paramètres de pollution comme la MES, DBO5, DCO (50 à 60 de réduction)
- un impact limité sur la réduction des bactéries

🚧 Le traitement secondaire: Aérobies

Grâce à des bassins et à une aération efficace des eaux, ce procédé a pour objectif d'éliminer entièrement les parasites présents, ainsi que l'abattement de la charge polluante et des coliformes fécaux. Les eaux sont traitées dans ces bassins pendant 2 à 3 jours afin d'assurer l'efficacité du traitement.

🚧 Le traitement tertiaire: Réservoirs opérationnels

La station dispose de grands réservoirs profonds qui assurent un ultime traitement pour les eaux. Le temps de séjour dans ces ouvrages est plus long, ce qui permet un affinage de la dépollution et une éradication des germes.

L'eau épurée rejoint ensuite des réservoirs de stockage, avant d'être utilisée pour l'irrigation. Le temps de séjour ne doit pas être important, il pourrait alors provoquer une réactivation de l'activité bactériologique.

Utilisations des eaux épurées

Les eaux usées épurées obtenues, sont utilisées pour l'irrigation par aspersion d'un complexe de golf de la commune de Ben Slimane. Il peut être pertinent d'analyser la qualité sanitaire des eaux obtenues. Selon l'article du 2 août 2010, relatif à l'utilisation d'eaux issues du traitement d'épuration des eaux résiduaires urbaines pour l'irrigation de cultures ou d'espaces verts, les eaux d'irrigation doivent être de niveau A.

Contrôles sanitaires

D'après les données effectuées par l'exploitant de la station de traitement, nous pouvons analyser ces résultats et proposer une comparaison face à la réglementation française. D'après la législation présentée précédemment, on peut remarquer que les eaux épurées respectent les seuils limites de la classe A pour les indicateurs de MES et d'entérocoques fécaux. Cependant, le seuil limite de 60 mg/L pour la DCO n'est pas respecté puisque l'eau obtenue a une DCO de 63 mg/L. De manière générale, le traitement de cette station de réutilisation des eaux usées est conforme à la réglementation française pour une utilisation de type A (irrigation d'un golf).

Rendement épuratoire de la station de Ben Slimane de 2000 à 2002				
Paramètres	Entrée	Sortie	Rendement %	Prescription CEE 1991
DBO5(mg O2/L)	135	23	83	70-80
DCO(mg O2/L)	365	63	83	75
MES(mg /L)	148	14	91	90
NTK(mg N/L)	56,11	24,43	56	70-80
P tot (mg P/L)	6,71	4,02	40	80
Coliformes Fécaux (germes/100m)	6 Ulog	220	100	
OEOEufs d'helminthes (nombre/L)	9	0	100	

Tableau 10. Récapitulatif du rendement épuratoire de la station (2000 à 2002)
Source : exploitant de la station de traitement

Analyses économiques

Comme tout projet, il est indispensable d'effectuer une analyse financière afin d'évaluer la faisabilité du projet, et sa rentabilité, car un projet dit de développement durable doit être pérenne donc stable financièrement.

Coûts	
Investissement \$	10 000 000
Exploitation \$/an	97 322
Prix eau épurée \$/m ³	0,1508
Prix vente \$/m ³	0,208
Prix eau potable \$/m ³	0,416

Tableau 11. Analyse financière du projet

Il est donc plus avantageux économiquement d'utiliser l'eau épurée pour l'irrigation, ce qui incite les consommateurs à utiliser cette ressource.

Développement durable

Le projet de réutilisation des eaux usées de Ben Slimane permet d'économiser près 3000 m³/j d'eau potable, il est donc à l'origine d'une économie notable de la ressource en eau. Les eaux usées sont traitées grâce à des procédés plus performants, ainsi les rejets dans les cours d'eau sont limités et mieux contrôlés. Cependant, on peut noter l'absence de réelles études concernant les impacts sur le milieu naturel de rejets d'eaux épurées sur des terres qui recevaient jusqu'à présent uniquement de l'eau potable pour l'irrigation. Ainsi, l'infiltration de ces eaux est mal connue et peut être à l'origine de pollutions de la nappe phréatique.

Sur le plan sociétal, ce projet ne concerne pas directement les populations locales puisqu'il permet l'irrigation d'un golf touristique. Un tel projet pourrait d'avantage s'inscrire dans une démarche de développement durable, en tenant compte des problématiques locales par exemple.

Conclusion

La réutilisation des eaux usées permet donc une économie non négligeable de la ressource en eau dans les zones où ce bien est l'objet de tensions. Leur situation géographique, une mauvaise gestion ou une consommation trop importante en sont les causes. Si la France est pour l'instant concernée très localement par le manque d'eau - sud-est de la France éventuellement-, d'autres pays tels que l'Afrique du Nord ou l'Asie ont tout intérêt à se pencher sur cette alternative.

Un encadrement juridique est essentiel étant donné les risques sanitaire et environnemental que l'utilisation des eaux usées pour l'irrigation constitue, malgré le traitement qu'elles subissent avant d'être réutilisées. Un traitement particulier comprenant trois étapes doit être effectué afin de rendre l'eau usée utilisable pour les activités humaines.

L'investissement financier effectué pour commencer un tel projet est généralement relativement important mais est souvent compensé par le coût à l'exploitation. Les résultats de la REUE pour à Murviel-les-Montpellier sont très positifs quant aux perspectives de développement de cette alternative durable. Le tableau ci-dessous récapitule ses avantages et ses inconvénients.

Avantages

- Préservation de la ressource en eau
- Protection du milieu : réductions des rejets d'effluents dans le milieu récepteur
- Eaux usées largement présentes en zone urbaine
- Limitation de l'utilisation d'engrais dans l'agriculture
- Création d'emploi
- Permet d'approvisionner en eau des territoires en stress hydrique, limite donc l'exode de population

Inconvénients

- Utilisation d'énergie
- Investissement et exploitation coûteuses, impacts sur le prix de l'eau
- Risques sanitaire et environnemental en cas de contrôles insuffisants
- Peut s'opposer à une prise de conscience d'une gestion économe de la ressource

Tableau 12. Tableau récapitulatif des avantages et inconvénients de la REUE

Bibliographie

SEGURET F. (1994). Réutiliser des eaux usées en irrigation. Office international de l'eau, 62p.

BOUTIN C., HEDUIT A., HELMER J-M. (2009). Technologies d'épuration en vue d'une réutilisation des eaux usées traitées (REUT). Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques et CEMAGREF, 100p.

MONCHALIN G., AVIRON-VIOLET J. (2002). La réutilisation des eaux usées après traitement. Conseil Général du Génie Rural des Eaux et des Forêts, 39p.

BAUMONT S., CAMARD J-P., LEFRANC A., FRANCONI A. (2004). Réutilisation des eaux usées épurées : risques sanitaires et faisabilité en Ile-de-France. Observatoire régional de santé d'Ile-de-France et Institut d'aménagement et d'urbanisme de la région Ile-de-France, 176p.

RODIER C., BRISSAUD F. (1989). Réutilisation des eaux usées par l'irrigation, méthodologie, réalisation en France. 159p.

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

CANLER (2001); CANLER et PERRET (2004,2007). Documents techniques FNDAE (données physico-chimiques)

ASANO et al. (2007). Documents techniques FNDAE (données microbiologiques)

ONEMA-CEMAGREF (2009)

L'eau, l'industrie, les nuisances, n°299

Références issues d'internet

Site du Ministère de l'Ecologie, du développement durable, des transports et du logement : <http://www.stats.environnement.developpement-durable.gouv.fr>

AFSSET (Agence Nationale de Sécurité Sanitaire) : <http://www.afsset.fr>

Informations, cartes et statistiques sur les pays du monde : <http://www.populationdata.net>

INSEE (Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques) : <http://www.insee.fr>

Site de Murviel-lès-Montpellier : <http://www.ville-murviel-les-montpellier.fr/>



ÉCOLE NATIONALE DU GÉNIE DE L'EAU
ET DE L'ENVIRONNEMENT DE STRASBOURG

1, quai koch
67070 Strasbourg Cedex
Tél : +33 (0)3 88 24 82 82
Fax: +33 (0)3 88 37 04 97



*Office
International
de l'Eau*

15 rue Edouard Chamberland
87065 LIMOGES
Tél. (33) 5 55 11 47 80
Fax. (33) 5 55 11 47 48