



STE

14^{ème} SÉMINAIRE EAU

Les traitements tertiaires : Pour quoi faire ?



Rapport bibliographique réalisé par :

Brice BOURBON, Guillaume LAPALUS, Vincent LE DAHERON, Claire LOUVET, Julie MARAIS, Mélanie PAGES

Encadré par :

Julie MENDRET et Denis BOUYER

Promotion / Année :

STE 5 2014/2015

SOMMAIRE

Introduction.....	1
1. La réutilisation des eaux usées : enjeux et contexte réglementaire	2
1.1. La réutilisation des eaux usées : un concept en pleine expansion.....	2
1.2. Contexte réglementaire en France.....	3
1.2.1. Rappels de la réglementation sur les rejets de station d'épuration d'effluents urbains	3
1.2.2. L'arrêté du 25 juin 2014	4
2. Les traitements tertiaires	5
2.1. Elimination des MES et de la matière organique	5
2.2. Elimination de l'Azote et du Phosphore.....	6
2.2.1. Elimination de l'azote	7
2.2.2. Elimination du phosphore	7
2.3. Elimination des pathogènes	8
2.3.1. Le lagunage tertiaire.....	8
2.3.2. La désinfection par chloration.....	9
2.3.3. La désinfection par l'ozone.....	9
2.3.4. La désinfection par l'UV.....	10
3. La réutilisation : état des lieux des installations existantes	11
3.1. Réutilisation en agriculture et espaces verts	11
3.1.1. Projet de la Limagne Noire à Clermont	11
3.1.2. Irrigation du golf de Spérone à Bonifacio.....	13
3.1.3. La réutilisation en milieu urbain.....	13
3.2. Exemples Industriels.....	14
3.2.1. Station de Limay (78).....	14
3.2.1. La COOPERL	14
3.3. Nouvelle technologie développée par Helio Pur.....	16
3.3.1. HélioPur Technologies.....	16
3.3.2. Explication du procédé	16
Conclusion	18
ANNEXE 1 : Contraintes d'usage des eaux usées urbaines traitées.....	19
ANNEXE 2 : Cercle de l'épuration.....	20

ANNEXE 3 : Comparaison de l'avantage entre une désinfection au chlore, ozone, lagunage et par les UV.....	21
ANNEXE 4 : Schéma du traitement des eaux de la COOPERL [G5].....	22
ANNEXE 5 : Schéma représentant le cheminement des eaux dans le procédé HelioPur	23
ANNEXE 6 : Schéma représentant les différentes possibilités de réutilisation avec la technologie HelioPur.....	24
Bibliographie.....	25
Sites Internets consultés	25
Contacts éventuels	26

TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Exemple de lampe UV	10
Figure 2: Schéma de circulation des eaux en période d'irrigation	12
Figure 3: Schéma en 3D du procédé BiosepTM	15
Figure 5: Les mécanismes de la technologie HélioPur.....	17

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Normes de rejet pour des stations recevant une charge inférieure ou égale à 120 kg/j de DBO ₅	3
Tableau 2 : Normes de rejet pour des stations recevant une charge supérieure à 120 kg/j de DBO ₅	3
Tableau 3 : Normes sur l'azote et le phosphore lors d'un rejet en zone sensible.....	4
Tableau 4 : Classes de qualité des eaux usées traitées	5
Tableau 5 : Performances (en %) des différents traitements tertiaires	6
Tableau 6 : Performance des différentes filières de traitements (BA + traitement tertiaire) permettant une eau de qualité A	6
Tableau 7: Composition microbiologique d'une eau résiduaire urbaine	8
Tableau 8 : Avantages et inconvénients du lagunage tertiaire.....	9
Tableau 10 : Caractéristiques de la station de Limay	14
Tableau 9 : Valeurs des paramètres DCO, NT et PT de l'effluent en sortie de l'unité d'osmose inverse	16

INTRODUCTION

L'eau est la ressource naturelle essentielle. Malgré sa présence en grande quantité sur terre sous la forme d'eau salée, l'eau douce accessible et utilisable par l'Homme est beaucoup plus rare. En effet, elle ne représente que 0.001% de l'hydrosphère (*Centre d'information sur l'eau, 2013*).

Face à la raréfaction, à la dégradation de la ressource en eau et à une demande croissante des besoins en eau notamment en agriculture mais aussi lors des saisons touristiques, la réutilisation des eaux usées domestiques devient une exigence dans de nombreux pays et régions du monde qui souffrent d'un stress hydrique permanent ou saisonnier.

Ainsi, certains pays se consacrent à cette réutilisation des eaux usées afin de combler leur déficit en eau (Tunisie, Etats-Unis, Australie,...). Après leur traitement en station d'épuration et à la place d'un rejet direct dans le milieu naturel, les eaux usées peuvent subir une épuration supplémentaire grâce à des traitements plus spécifiques, appelés traitement tertiaire. Une réutilisation est alors possible après la mise en place de ce type traitement. Les eaux peuvent alors être réutilisées pour différents usages comme par exemple pour de l'irrigation en agriculture. La réutilisation directe des eaux usées permet donc d'une part de mobiliser une ressource en eau supplémentaire et d'autre part de protéger les milieux récepteurs.

Cependant, la France reste en retard dans ce domaine. En effet, comme la ressource en eau n'est pas manquante en France et que le prix de l'eau potable est encore faible, la réutilisation n'est pas indispensable et donc non prise en compte par les communes et la population. Toutefois, grâce à l'arrêté du 2 août 2010 et à sa mise à jour le 25 juin 2014, la France semble être de plus en plus en faveur de la réutilisation des eaux résiduaires urbaines traitées.

Cette réglementation prévoit la possibilité d'irriguer les cultures et/ou d'arroser les espaces verts avec des eaux usées traitées. Malgré tout, cette réutilisation doit être compatible avec les impératifs de protection de la santé publique et de l'environnement. En effet, le risque sanitaire lié à la réutilisation n'est pas totalement nul. Il dépend à la fois des concentrations des polluants contenus dans les eaux usées et du degré d'exposition des populations vis-à-vis de celles-ci. C'est pourquoi, il est impératif de mettre en place des traitements tertiaires appropriés pour respecter les normes de qualité de ces eaux lors d'une réutilisation afin de protéger l'environnement mais surtout la santé humaine.

Ce rapport permet de faire un état des lieux de la réutilisation des eaux usées traitées en France. Dans un premier lieu, une explication de la réglementation qui régit la réutilisation des eaux usées en France sera faite. Nous aborderons ensuite les différents traitements tertiaires possibles à mettre en place afin de respecter la réglementation. Enfin, différents exemples de réutilisation en France appuieront nos propos.

1. La réutilisation des eaux usées : enjeux et contexte réglementaire

1.1. La réutilisation des eaux usées : un concept en pleine expansion

Dans des pays où le stress hydrique est une problématique permanente, la question de la réutilisation des eaux usées traitées a rapidement été abordée afin de déboucher sur des applications concrètes. Les nations pionnières en termes de réutilisation se situent pour beaucoup d'entre elles sur le pourtour méditerranéen comme la Tunisie, Israël et l'Espagne. La surconsommation des ressources hydriques a aussi conduit des états américains comme la Californie à se tourner vers ce mode d'approvisionnement en eau.

Ainsi, au cours des dix dernières années, le volume d'eaux usées traitées réutilisées a connu une croissance mondiale considérable avec une hausse d'environ 10 à 30% par an en Europe, aux Etats-Unis et en Chine et jusqu'à 41% en Australie. De plus, cette croissance n'est pas prête de s'enrayer puisque de nombreux objectifs sont fixés par certaines nations, comme l'Espagne qui voudrait satisfaire près de 10% de la demande en eau grâce à la réutilisation. La production d'eau réutilisable atteint aujourd'hui environ 20 millions de m³/jour. Toutefois, les pays ne sont pas sur un même pied d'égalité. En effet, en 2006, pendant que l'Espagne réutilisait 347 millions de m³/an d'eaux usées traitées et l'Italie 233 millions de m³/an, seulement 7,7 millions de m³ étaient réutilisées en France (*EUWI Med, 2007*).

Les eaux usées urbaines traitées peuvent être réutilisées à différentes fins : irrigation de plaines agricoles, d'espaces verts, nettoyage des surfaces urbaines ou encore pour des recharges de nappes lors de la lutte contre les biseaux salés (*Condom & al., 2012*). La réutilisation en milieu industriel est aussi répandue. Parfois, il ne s'agit que d'un simple recyclage des eaux de process (*AFD & BRL Ingénierie, 2011*). Mais dans la plupart des cas industriels, la réutilisation des eaux n'est possible que grâce à la mise en place de procédé spécifique. Ceux-ci permettent d'abattre la pollution générée par l'activité de l'usine. Enfin, les eaux usées traitées peuvent aussi être réutilisées à des fins de potabilisation de manière indirecte (recharge de nappes), et plus rarement, de manière directe. Pour illustrer ce dernier usage, nous pouvons citer la ville de Windhoek en Namibie qui produit de l'eau potable en utilisant 35% d'eaux usées (*Du Pisani, 2006*).

Si des contraintes techniques empêchent parfois un projet de se développer (problèmes sur la mise en place d'une filière de traitement ou sur l'élaboration de techniques d'irrigation dans le cadre d'une réutilisation en agronomie, par exemple), le principal frein à l'expansion de la réutilisation reste l'acceptation sociale du phénomène. Pour les populations, il peut être difficile d'accepter que l'eau utilisée pour l'irrigation des espaces verts urbains sort directement de la station d'épuration. Une des raisons est qu'elles se montrent méfiantes quant à la qualité bactériologique de ce type d'eau (*Condom & al., 2012*).

Au niveau du territoire français, la réutilisation des eaux usées traitées est un concept encore jeune. En 1996, le premier projet de réutilisation a été mis en place à Clermont-Ferrand pour irriguer des cultures de maïs et de betteraves avec les eaux de la station clermontoise. Depuis, d'autres projets ont vu le jour sur le territoire français et sont pour la plupart destinés à une réutilisation en

irrigation agricole ou pour des parcours de golf. Cependant, les projets restent peu nombreux en raison de la situation hydrique française qui n'est pas encore critique mais surtout à cause de la méfiance de la population vis-à-vis de cette nouvelle ressource en eau.

1.2. Contexte réglementaire en France

1.2.1. Rappels de la réglementation sur les rejets de station d'épuration d'effluents urbains

En France, les normes de rejets des effluents urbains en sortie de station d'épuration sont fixées par l'arrêté du 22 juin 2007 consolidé au 14 juillet de la même année. Les paramètres contrôlés, quelle que soit la zone de rejet, sont la Demande Biologique en Oxygène à 5 jours (DBO₅), la Demande Chimique en Oxygène (DCO) et les Matières en Suspension (MES).

Selon la charge de pollution organique reçue par la station et selon le paramètre considéré, le rendement minimum de traitement à atteindre diffère. En effet, la législation distingue deux cas de figures :

- les stations d'épuration devant traiter une charge brute de pollution organique inférieure ou égale à 120 kg/j de DBO₅
- les stations d'épuration devant traiter une charge brute de pollution organique supérieure à 120 kg/j de DBO₅

Dans le premier cas, seul le paramètre DBO₅ doit respecter une performance en termes de concentration. Les deux autres paramètres (DCO et MES) doivent respecter un rendement minimum (Tableau 1).

Tableau 1 : Normes de rejet pour des stations recevant une charge inférieure ou égale à 120 kg/j de DBO₅

Paramètres	CONCENTRATION à ne pas dépasser	RENDEMENT minimum à atteindre
DBO ₅	35 mg/l	60 %
DCO		60 %
MES		50 %

Dans le deuxième cas, les trois paramètres sont soumis à des performances en termes de rendement et de concentration (Tableau 2).

Tableau 2 : Normes de rejet pour des stations recevant une charge supérieure à 120 kg/j de DBO₅

Paramètres	CHARGE BRUTE de pollution organique reçue en kg/j de DBO ₅	CONCENTRATION à ne pas dépasser	RENDEMENT minimum à atteindre
DBO ₅	120 exclu à 600 inclus	25 mg/l	70 %
	> 600		80 %
DCO	Toutes charges	125 mg/l	75 %
MES	Toutes charges	35 mg/l	90 %

Si le rejet s'effectue en zone sensible à l'eutrophisation, deux paramètres supplémentaires doivent être pris en compte dans la qualité de l'eau épurée : l'azote global et le phosphore total. La concentration maximale admissible dans le rejet de ces deux paramètres dépend de la charge brute de pollution organique reçue par la station d'épuration (Tableau 3).

Tableau 3 : Normes sur l'azote et le phosphore lors d'un rejet en zone sensible

Paramètres	CHARGE BRUTE DE POLLUTION organique reçue en kg/j de DBO ₅	CONCENTRATION MAXIMALE à ne pas dépasser	RENDEMENT minimum à atteindre
Azote global NGL	600 exclu à 6 000 inclus	15 mg/l	70 % (si charge ≥ 600 kg/j)
	> 6000	10 mg/l	
Phosphore total PT	600 exclu à 6 000 inclus	2 mg/l	80 % (si charge ≥ 600 kg/j)
	> 6 000	1 mg/l	

Pour certaines communes ou agglomérations, le respect de ces normes et notamment celles sur le phosphore les oblige à se doter de traitements complémentaires dans leur station d'épuration. Ces traitements sont appelés traitements tertiaires.

Cependant, ces traitements tertiaires peuvent également servir à affiner le traitement de l'eau afin de réaliser une réutilisation directe de celle-ci en sortie de station. Si, comme nous l'avons souligné dans la première partie, beaucoup de pays se sont tournés vers cette nouvelle ressource en eau, la France a attendu l'année 2010 pour faire paraître un premier arrêté relatif à l'utilisation des eaux usées urbaines traitées en irrigation agricole et d'espaces verts. Ce premier arrêté a ensuite été revu et corrigé pour aboutir à une nouvelle version datée du 25 juin 2014.

1.2.2. L'arrêté du 25 juin 2014

Le premier arrêté relatif à l'utilisation d'eaux usées urbaines traitées date du 2 août 2010. Il précisait les techniques d'irrigation autorisées lors d'une réutilisation : irrigation gravitaire, localisée ou par aspersion (seulement à titre expérimental). Il définissait aussi le contenu des programmes d'irrigation et de surveillance de la qualité des eaux usées traitées à réaliser tous les ans, ainsi que le programme de surveillance de la qualité des sols à réaliser au minimum tous les dix ans. Il fixait également les classes de qualité des eaux usées traitées, leurs contraintes d'usage et leurs contraintes de distance.

Dans l'arrêté révisé du 25 juin 2014, l'irrigation par aspersion n'est plus soumise à une phase d'expérimentation et peut être mise en œuvre selon des prescriptions techniques particulières et des règles d'information vis-à-vis du public lorsqu'il s'agit de l'irrigation d'espaces verts. Les contraintes d'usage (Annexe 1) ont été précisées comme les modalités d'irrigation de ces mêmes espaces verts en fonction des horaires d'ouverture au public, alors que des contraintes de distance ont été ajoutées dans le cadre d'une irrigation à proximité d'une activité de cressiculture. Les classes de qualité des eaux usées traitées n'ont, quant à elles, pas été modifiées (Tableau 4).

Tableau 4 : Classes de qualité des eaux usées traitées

Paramètres	Niveau de qualité sanitaire des eaux usées traitées			
	A	B	C	D
Matières en suspension (mg/l)	< 15	Conforme à la réglementation des rejets d'eaux usées traitées pour l'exutoire de la station hors période d'irrigation		
DCO (mg/l)	< 60			
Escherichia coli (UFC/100 ml)	≤ 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
Spoires de bactéries anaérobies sulfito-réductrices (abattement en log)	≥ 4	≥ 3	≥ 2	≥ 2

(Source : arrêté du 25 juin 2014)

2. Les traitements tertiaires

Selon l'objectif final prévu pour les eaux usées traitées, les critères de qualité ne sont pas les mêmes que lors d'un rejet direct en sortie de STEP. Ainsi, il y a une obligation de mettre en place un traitement tertiaire et de choisir le ou les procédés qui sont les plus adaptés vis-à-vis de la réutilisation désirée et de la qualité de l'effluent en sortie de station.

En France, l'irrigation agricole et l'arrosage d'espaces verts représentent les deux domaines de réutilisation des eaux usées urbaines traitées. Il est donc nécessaire de surveiller les paramètres présentés dans le tableau 4 précédent (MES, DCO, pathogènes,...). Connaissant les caractéristiques de notre effluent en sortie du traitement secondaire et la qualité d'eau nécessaire pour la réutilisation, il suffira de choisir les traitements tertiaires adaptés (Annexe 2).

Les traitements tertiaires permettent donc d'éliminer les substances non voulues pour répondre à un objectif de qualité prédéfini. Par exemple, lors d'une réutilisation en irrigation maraîchère (production de fruits et légumes sans traitement thermique industriel) il faut éliminer en priorité les pathogènes et garder des éléments nutritifs, alors que lors d'une réutilisation en milieu urbain ou pour une recharge de nappe, l'azote et le phosphore doivent être éliminés afin d'éviter tout risque d'eutrophisation (Dunglas, 2014). Dans la plupart des cas, la qualité d'eau requise pour une réutilisation des eaux usées traitées, est le niveau de qualité A (Tableau 4).

C'est en partant de ce niveau de qualité à respecter, qui est le plus contraignant, qu'une liste des différents traitements tertiaires possibles va être établie dans la suite de ce rapport.

2.1. Elimination des MES et de la matière organique

Plusieurs traitements tertiaires basés sur le principe de la filtration sont possibles pour abattre les matières en suspension et les matières organiques.

Les procédés les plus courants sont la microfiltration (MF), l'ultrafiltration (UF), la nanofiltration (NF), l'osmose inverse (OI) et la filtration sur milieu granulaire (sable, anthracite,...). L'infiltration-percolation peut également être utilisée comme traitement de finition (Boutin & al.,

2009). Selon le type de procédé utilisé et le paramètre considéré, les performances diffèrent mais sont pour la plupart supérieures à 70%, hormis pour l'infiltration-percolation (Tableau 5).

Tableau 5 : Performances (en %) des différents traitements tertiaires

	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				30 - 50
MES	95 - 98	96 - 99,9	40 - 60	90 - 98	1 à 8 mg/L	65 - 95

(Source : Boutin & al., 2009)

Cependant, la mise en place de ces procédés, qui abattent la pollution organique et les MES, est dépendante de la nature des ouvrages situés à l'amont. Si le traitement secondaire est un bioréacteur à membranes et que l'effluent à traiter est peu chargé, les paramètres DBO₅, DCO et MES en sortie se retrouvent en très faible concentration. La mise en place d'un traitement tertiaire n'est alors peut-être pas nécessaire, ce qui est rarement le cas lors d'un traitement secondaire par boues activées. Plusieurs configurations sont alors possibles pour obtenir une eau de qualité A à la fin du traitement tertiaire. L'abattement de la pollution dépend du traitement tertiaire utilisé et du paramètre considéré (Tableau 6).

Tableau 6 : Performance des différentes filières de traitements (BA + traitement tertiaire) permettant une eau de qualité A

	DBO ₅ (mg/L)	DCO (mg/L)	MES (mg/L)
MF	Résiduelle	Résiduelle	Résiduelle
UF	Résiduelle	Résiduelle	Résiduelle
Filtration lente sur milieu granulaire	< 15	< 60	< 15
Infiltration-percolation sur sable (h > 1,5 m)	< 15	< 60	< 15

(Source : Boutin & al., 2009)

Il est à noter que dans le cas d'une réutilisation en irrigation agricole, les procédés de nanofiltration et d'osmose inverse ne sont pas appropriés. Car même si leur capacité à abattre les populations bactériennes et virales est très importante, ils éliminent les ions et la matière organique qui rendent la réutilisation des eaux usées intéressantes car ils sont nécessaires à la croissance des plantes. Ces deux procédés restent, en revanche, très intéressants lors d'une réutilisation des eaux en milieu industriel.

2.2. Elimination de l'Azote et du Phosphore

Comme expliqué précédemment, une élimination poussée des nutriments comme le phosphore et l'azote doit seulement être mise en place pour certaines réutilisations. En effet, lors

d'une réutilisation des eaux traitées pour l'irrigation, il est judicieux de conserver les éléments nutritifs présents dans les eaux usées. Le concept alliant irrigation et fertilisation, nommé « fertirrigation », prend actuellement de plus en plus d'ampleur. Le principe de réutilisation participe grandement à son développement.

Cependant, pour les autres utilisations (nettoyage des voiries par exemple), l'élimination de la pollution azotée et phosphorée est indispensable afin d'éviter tout risque d'eutrophisation. Evidemment, il est nécessaire que les étapes de traitement en amont soient fiables afin que les traitements tertiaires optimisent l'élimination de la pollution.

2.2.1. Elimination de l'azote

Parfois, l'élimination souhaitée en azote n'est pas obtenue en sortie de station. Une étape de nitrification et/ou dénitrification avec apport de substrat carboné peut alors être ajoutée dans la filière de traitement. Cette étape placée généralement après le traitement biologique secondaire est appelée traitement tertiaire de l'azote. Les procédés associant traitement biologique et filtrant comme les biofiltres (Biofor de Degremont, Biostyr de Veolia) sont particulièrement efficace pour éliminer la pollution azotée résiduelle. Ils sont généralement utilisés pour une nitrification tertiaire. Pour une dénitrification tertiaire, un ajout de carbone soluble (méthanol ou acétate) est effectué pour apporter une source de carbone organique aux bactéries dénitrifiantes car elles sont hétérotrophes. Ce type de traitement permet d'abaisser au maximum la concentration en azote des eaux usées.

2.2.2. Elimination du phosphore

La déphosphatation est une étape clé dans les traitements tertiaires. En effet, l'utilisation massive et grandissante de phosphates dans les produits d'entretien et en agriculture pose de réels problèmes dans le milieu aquatique.

Une déphosphatation biologique peut être mise en place. La biomasse accumule alors le phosphore. Cette déphosphatation est souvent couplée avec le traitement biologique secondaire. Un traitement physico-chimique peut aussi être effectué. Dans ce cas, un ajout de chlorure ferrique permet aux ions phosphates de former un précipité de phosphate de fer, qui est ensuite éliminé par une étape de séparation. La recherche sur des nouveaux procédés pour diminuer efficacement les concentrations en phosphore en vue de sa récupération a été très active ces dernières années. Par exemple, le procédé Actiflo de Veolia permet une précipitation quasi-totale du phosphore (95%) grâce à un procédé tertiaire de clarification à grande vitesse.

Depuis peu, afin de proposer des solutions à des stations d'épuration plus ancrées dans un esprit de « développement durable », la précipitation du phosphore sous forme de struvite fait l'objet de nombreuses recherches. Ce composé issu des excédents d'azote ammoniacal et de phosphate possède d'excellentes propriétés fertilisantes. Sa précipitation peut être obtenue à partir des liqueurs, des lixiviats ou encore des boues très concentrées. Ce procédé permet aussi de réduire l'ajout de produits chimiques provoquant actuellement des surproductions de boues. Du magnésium en faible quantité doit par contre être ajouté pour favoriser la précipitation de la struvite. Le procédé le plus récent et le plus efficace permettant une élimination et une valorisation du phosphore a été mis en place par Veolia avec le procédé Struvia (Truc A., 2007).

2.3. Elimination des pathogènes

Les eaux usées en sortie de STEP contiennent une grande variété de microorganismes, des virus, des bactéries, des protozoaires et des helminthes. Ils proviennent de l'environnement et des matières fécales et sont pour certains pathogènes. Cependant, il est difficile de les évaluer individuellement, c'est pourquoi la présence de germes indicateurs est cherchée. Le tableau suivant montre la composition microbiologique d'une eau résiduaire classique et les organismes indicateurs de chaque groupe (Boutin et al., 2009).

Tableau 7: Composition microbiologique d'une eau résiduaire urbaine

Organismes	Concentration (unité / L)	Organismes indicateurs de pathogènes humains	Concentration maximale
(d'après WHO et al., 2006)		(d'après Asano et al., 2007)	
Virus Virus entériques Rotavirus	10 ⁵ – 10 ⁶ 10 ² – 10 ⁵	Virus bactériophages Coliphages somatiques Coliphages RNA-F	10 ⁴ UFP ⁹ / 100 mL
Bactéries Coliformes thermotolérants <i>Campylobacter jejuni</i> <i>Salmonella</i> spp. <i>Shigella</i> spp. <i>Vibrio cholerae</i>	10 ⁸ – 10 ¹⁰ 10 – 10 ⁴ 1 – 10 ⁵ 10 – 10 ⁴ 10 ² – 10 ⁵	Bactéries Coliformes thermotolérants <i>E. coli</i> Entérocoques intestinaux	10 ⁹ UFC ¹⁰ / 100 mL 10 ⁸ UFC : 100 mL
Protozoaires <i>Cryptosporidium parvum</i> <i>Entamoeba histolytica</i> <i>Giardia intestinalis</i> Helminthes <i>Ascaris lumbricoides</i> <i>Ancylostoma duodenale</i> / <i>Necator americanus</i> <i>Trichuris trichiura</i>	1 – 10 ⁴ 1 – 10 ² 10 ² – 10 ⁵ 1 – 10 ³ 1 – 10 ³ 1 – 10 ²	Protozoaires <i>Clostridium perfringens</i> Helminthes Œufs d' <i>Ascaris</i>	10 ⁵ UFC / 100 mL 10 ³ œufs / 100 mL

(Source : ONEMA)

Les procédés comme l'osmose inverse, l'ultrafiltration et la nanofiltration, permettent d'éliminer la plupart de ces pathogènes. Mais il peut y avoir une nouvelle contamination à l'aval. Il est donc nécessaire d'ajouter une étape de désinfection. Elle élimine et empêche tout développement de pathogènes lors de la réutilisation.

Les caractéristiques principales d'un procédé de désinfection sont les suivantes :

- Etre efficace sur les microorganismes pathogènes
- Ne pas engendrer la formation de sous-produits indésirables
- Etre non dangereux pour la santé et l'environnement.

2.3.1. Le lagunage tertiaire

Le lagunage tertiaire consiste à utiliser plusieurs lagunes appelées « lagunes de maturation ». Elles sont de faibles profondeurs (entre 0,8 et 1,2m) et permettent une désinfection des eaux. En effet, grâce à une faible profondeur, le rayonnement UV réalise la désinfection. La présence d'algues aux pouvoirs germicides peut aussi participer à cette désinfection. La durée de temps de séjour est un facteur très important. Plus le temps de séjour est long et plus l'élimination des microorganismes est notable (Boutin et al., 2009). Les bactéries pathogènes sont éliminées de 90 à 99 %. Par contre, l'élimination des virus est moins efficace. Il est nécessaire de surveiller le lagunage pour éviter toutes dégradations de la qualité à cause des développements d'algues et de végétaux où à la présence d'animaux. LA réutilisation des eaux usées de Clermont-Ferrand utilise comme traitement tertiaire, le lagunage (cf.3.1.1).

Tableau 8 : Avantages et inconvénients du lagunage tertiaire

<i>Avantages</i>	<i>Inconvénients</i>
<ul style="list-style-type: none"> - Sécurité par rapport au milieu récepteur - Efficacité de la désinfection correcte mais dépendante du temps de séjour - Pas de formation de sous-produits nocifs <ul style="list-style-type: none"> - Pas de besoin énergétique - Bonne intégration environnementale 	<ul style="list-style-type: none"> - Risque de dégradation de la qualité physico-chimique et bactériologique du rejet lié à la formation d'algues et de végétaux flottants <ul style="list-style-type: none"> - Investissement important - Efficacité de la désinfection dépendante de plusieurs facteurs (ensoleillement, fientes d'oiseaux, ...) <ul style="list-style-type: none"> - Emprise foncière importante - Exploitation pouvant être contraignante (lentilles d'eau, ...)

source : CG29-DEE-SATEA, 2008

2.3.2. La désinfection par chloration

La méthode la plus ancienne de désinfection est l'utilisation de chlore. Le chlore est injecté directement dans les eaux usées. Il peut être utilisé sous forme de chlore gazeux, hypochlorite de sodium et bioxyde de chlore. Cet oxydant très puissant permet l'élimination de la plupart des microorganismes pathogènes même à faible dose. En effet, il endommage les membranes des cellules. C'est une technique très facile à mettre en place et peu coûteuse. Toutefois, la désinfection des eaux usées par chloration peut avoir un impact négatif sur la faune et flore aquatique (toxicité du chlore résiduel). De plus, les réactions entre le chlore et les matières organiques restantes dans les eaux peuvent former des sous-produits organochlorés, parfois cancérigène.

Pour éviter ces effets non désirés, une étape de déchloration est ajoutée. Elle consiste en l'ajout de bioxyde de soufre (SO₂). Le temps de réaction entre lui et le chlore résiduel est très rapide et permet de bloquer les effets toxiques vis-à-vis de la vie aquatique. Par contre, cette réaction fait diminuer la concentration en O₂ dissous, elle augmente les coûts et ne permet pas l'élimination des sous-produits potentiellement cancérigène.

2.3.3. La désinfection par l'ozone

L'ozone est un gaz oxydant très puissant, qui permet de dégrader la matière organique et d'éliminer les principales sources pathogènes présentes dans l'eau. En effet, son potentiel d'oxydation est de 2,07. Il est nettement supérieur à celui du chlore qui n'est que de 1,35. Il peut oxyder les bactéries et les virus. Les propriétés de l'ozone sont les suivantes, il est désinfectant, désodorisant, respectueux de l'environnement et purificateur.

La désinfection par l'ozone se déroule comme suit. L'eau en sortie de STEP est stockée dans une cuve tampon. Elle sera ensuite pompée pour passer à travers un ou plusieurs filtres à tamis pour ensuite être introduite dans une « chambre d'impact ». C'est dans cette chambre que sera injecté l'ozone. Un mélange parfait entre l'ozone et l'eau est alors réalisé. C'est un générateur d'ozone qui produit l'ozone nécessaire au traitement. Il n'y a pas d'utilisation de produits chimiques. Il faut juste de l'air et de l'électricité. Environ 10 g/h/m³d'eau d'ozone est suffisant pour éliminer l'ensemble des pathogènes avec un temps d'exposition est d'une heure. A la sortie de ce traitement tertiaire, l'eau peut être rejetée dans le milieu naturel ou être réutilisée.

Comparé aux autres traitements de désinfection, l'ozone est très performant et très efficace pour l'élimination des virus. Il a une très bonne efficacité sur l'inactivation des virus. Cependant, il ne permet pas de détruire tous les micro-organismes présents dans l'eau comme par exemple les parasites cryptosporidium, giardia et toxoplasmose. De plus, en raison du coût élevé de ce type de

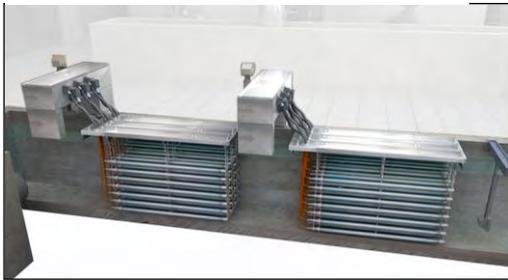
désinfection (équipements volumineux et cher) et la toxicité de l'ozone (mesures supplémentaires obligatoires), il est actuellement peu utilisé.

2.3.4. La désinfection par l'UV

Le procédé d'ultraviolet se place à la suite d'un traitement secondaire du type boues activées plus clarificateur. Les rayonnements UV sont des ondes lumineuses de longueur d'onde comprise entre 100 et 400 nm. Leur pouvoir germicide dépend de la longueur d'onde émise. Ce sont les UVc compris entre 200 et 280 nm qui sont les plus germicides.

La source d'émission UV utilisée en désinfection est la lampe à vapeur de mercure. Il s'agit de lampes à arc électrique qui provoque l'excitation des atomes de mercure, puis l'émission de radiations par retour à leur état fondamental.

Figure 1 : Exemple de lampe UV



Les UV permettent donc d'éliminer les bactéries et les virus. Ils éliminent même les formes les plus résistantes comme les spores bactériennes ou les kystes. Des recherches ont montrés que les UV détruisaient 1,8 fois plus de spores de *Clostridium perfringens* que le chlore (Whitby et al., 1985). La dose est alors définie par le produit de l'intensité UV par le temps d'exposition des germes aux rayonnements. L'efficacité de la désinfection par UV dépend des paramètres de fonctionnement et de la qualité de l'effluent. Les plus importants sont :

- **Le temps d'exposition** : Le temps d'exposition est fonction du débit et donc de la vitesse de passage de l'effluent dans l'installation. Il faut considérer le temps d'exposition moyen aux rayonnements UV qui est fonction de la conception hydraulique du chenal. Le volume du réacteur doit être utilisé au maximum, en évitant les zones mortes pour profiter au mieux de l'énergie UV.

- **L'intensité UV émise par les lampes** : L'intensité UV nominale est fonction du nombre de lampes allumées. L'intensité reçue par l'effluent diminue avec l'éloignement par rapport à la lampe, notamment par dissipation de l'énergie dans un volume plus grand.

- **Les matières en suspension** : Les rayons UV sont peu pénétrants de ce fait, les MES peuvent fournir une protection aux micro-organismes pour plusieurs raisons : le rayon n'atteint pas la bactérie libre parce qu'une particule lui sert de protection, la pénétration sera également incomplète ou nulle si la bactérie est adsorbée à une particule. Une teneur en M.E.S supérieure à 25 mg/l limite les performances de la désinfection par UV basse pression. Par contre, la filtration de l'effluent les améliore.

- **La turbidité** : Elle intègre les MES et les matières dissoutes. On peut conclure que plus le traitement d'épuration en amont de la désinfection UV est efficace, plus les performances de la désinfection sera grande.

Après un procédé par UV, la qualité de l'eau correspond à la norme A d'après la révision de l'arrêté du 25 juin 2014, la réutilisation des eaux est donc possible. Ainsi l'avantage principal de la désinfection par UV, est qu'il y a une absence de sous-produits toxiques et qu'il n'y a pas de stockage de produits dangereux. De plus, l'emprise au sol est contrairement à l'ozonation. La désinfection par UV est très efficace (+ de 99,99%) contre les salmonelles (fièvre typhoïde), salmonella enteritidis (gastroentérite), cholerae de vibrio (choléra), tuberculose de Mycobacterium (tuberculose), pneumophila de Legionella (Légionellose), virus de la grippe, de poliomyélite, et Hepatitis. Il s'agit du procédé le plus préconisé en désinfection.

Le tableau en Annexe 3, permet de comparer les quatre procédés d'élimination de pathogènes : lagunage, chloration, ozonation et ultraviolets.

Enfin, les eaux usées urbaines contiennent aussi des éléments traces métalliques et des micropolluants organiques. Ces éléments proviennent de la consommation, de la dégradation des matériaux des réseaux d'eau et des activités anthropiques. Ainsi, des procédés utilisant du charbon actif en grain ou en poudre peuvent être utilisés. Ils permettent d'éliminer efficacement ces types polluants. En effet, la structure microporeuse du charbon actif, permet de capter les molécules, même très fines.

3. La réutilisation : état des lieux des installations existantes

Nous avons vu que la réutilisation ne peut se faire qu'en imposant des traitements tertiaires aux eaux usées traitées. Pour appuyer nos propos, nous allons développer plusieurs exemples de réutilisation en France.

En France, les principales applications de réutilisation des eaux sont pour l'instant centrées sur l'irrigation en agriculture. Mis à part le projet de recyclage des eaux impulsé par Disneyland dans un cadre quasi-urbain, recevant du public certes, mais privé, l'utilisation d'eaux usées traitées pour un usage urbain est peu répandue et est même anecdotique. Ceci s'explique peut-être par le fait que la législation est encore assez contraignante car elle impose des contraintes de distance, de terrain ou encore d'horaires pour la mise en œuvre de l'arrosage dans des lieux publics. L'arrêté d'application publié en 2010 a aussi restreint les possibilités d'expérimentation.

Les principaux exemples de réutilisation en France concernent donc l'irrigation en agriculture et les espaces verts. Après avoir exposé quelques exemples de réutilisation des eaux urbaines, nous aborderons aussi deux exemples de réutilisation des eaux en industrie puis nous terminerons par un procédé créé par une entreprise française, HélioPur qui a déjà fait ses preuves à l'étranger.

3.1. Réutilisation en agriculture et espaces verts

3.1.1. *Projet de la Limagne Noire à Clermont*

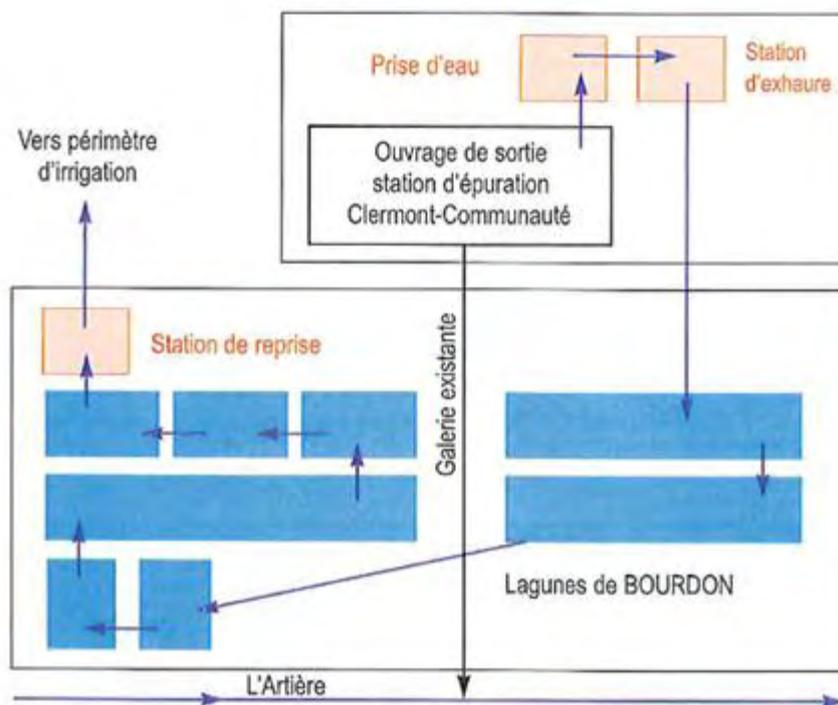
Le plus ancien projet de réutilisation des eaux et le plus important en France est celui de Clermont-Ferrand.

En effet, l'association Limagne Noire expérimente depuis les années 90 l'irrigation de plantation de maïs et de betterave avec de l'eau usée traitée provenant de la station d'épuration de

Clermont-Ferrand. Le périmètre d'irrigation s'élève désormais à 700 ha. L'absence de ressource souterraine (absence de nappes phréatiques dues à l'activité volcanique) et d'eau superficielle proche (Allier à plus 20 km) ont amené les agriculteurs à chercher des solutions pour ne pas perturber leur production en cas d'un futur manque d'eau. Ainsi, ils ont profité de la présence de bassins de lagunage d'une entreprise de sucrerie à côté de leur exploitation pour mettre en place une réutilisation.

Les eaux usées traitées proviennent de la station d'épuration à boues activées de Clermont-Ferrand qui a une capacité de 420 000 EH. En hiver, le traitement des eaux n'est pas modifié puisqu'il n'y a pas de réutilisation. Les eaux usées passent par un prétraitement puis le bassin à boue activée pour ensuite être directement rejetées dans l'Artière. Lors de la période d'irrigation, de mai à octobre, la filière de traitement est modifiée. L'effluent en sortie du bassin à boue activée n'est plus directement rejeté en rivière mais est envoyé dans les lagunes. Ces lagunes sont au nombre de 8 et représentent une surface de 13 ha ($V=312\ 000\ m^3$). Le temps de séjour des eaux usées traitées est d'environ 13 jours. Ce temps permet aux eaux d'atteindre la qualité requise pour l'irrigation (cf.2.3.1). En effet, ce séjour en lagune permet d'éliminer les parasites et les bactéries grâce à l'action des ultra-violets. Le volume total annuel moyen irrigué est de $1\ 260\ 000\ m^3$ (données STEU Clermont juillet 2008).

Figure 2: Schéma de circulation des eaux en période d'irrigation



(Source : Somival)

Comme il s'agissait du premier grand projet de réutilisation des eaux usées traitées, une étude sanitaire a été mise en place, pour être sûr qu'il n'y ait aucun risque pour la santé entre 1996 et 1999 par l'OBRESA (Observatoire régional de la santé). 15 000 personnes habitant près du site, dont les agriculteurs et les saisonniers travaillant à la castration du maïs, ont été suivis. L'irrigation se

faisant pas aspersion, la population est donc exposée à des risques d'inhalation de gouttelettes d'eau et les travailleurs à des risques d'inhalation et d'ingestions accidentelles. Des analyses de qualité des eaux ont aussi été réalisées. Elles ont montré que le lagunage mis en place permettait d'abattre significativement les bactéries (coliformes, entéroques et salmonelles). De plus, d'autres analyses ont mis en avant le fait, que l'eau de rivière précédemment utilisé pour l'irrigation avait la même quantité de bactéries que l'eau en sortie du bassin d'aération, soit l'eau avant le lagunage. Enfin la mise en place de cette réutilisation n'a pas augmenté le nombre de cas de maladie déclarée. Cette réutilisation agricole ne semble donc pas présenter de risques majeurs pour les travailleurs et la population. Depuis 1998, il n'y a eu aucun évènement à signaler et l'eau reste conforme à la qualité A (cf.1.2.2).

Ce projet permet donc de réduire l'impact des rejets de la station de Clermont-Ferrand sur la qualité de la rivière, car les quantités d'azote et de phosphore restant après le traitement des eaux sont valorisées par les cultures et ne dégradent plus le milieu aquatique. De plus, cela permet une sauvegarde des ressources en eau lors de la période estivale.

3.1.2. Irrigation du golf de Spérone à Bonifacio

La station d'épuration qui reçoit les eaux usées de la ville de Bonifacio traite les effluents d'une population équivalente à 15 000 habitants. La station est équipée d'un procédé de filtration membranaire. Une désinfection UV est mise en place pour les eaux destinées à être réutilisées. En effet, comme dis précédemment, les eaux usées nécessitent des traitements supplémentaires afin d'éliminer les micro-organismes qui peuvent engendrer des problèmes de santé. L'usine permet ainsi l'irrigation du golf de Spérone avec un débit de pompage d'eau traitée réutilisable de 160 m³/j. Beaucoup de golfs sont donc arrosés en France à partir d'eaux usées traitées.

3.1.3. La réutilisation en milieu urbain

Actuellement en France, il n'y a pas de réutilisation des eaux usées en milieu urbain comme l'arrosage des espaces verts ou de la voirie.

Les villes sont de très grandes consommatrices en eau et les utilisations de recyclage d'eaux usées pourraient être très variées et ainsi permettre de très fortes économies d'eau. Que ce soit pour alimenter des réservoirs anti-incendie, nos chasses d'eau, pour le lavage des rues, l'arrosage des parcs, l'alimentation de fontaines, le lavage des véhicules ou encore la climatisation d'immeubles. Avec des ressources dites abondantes en eau sur une grande partie du territoire français, les industriels français ont exporté leurs technologies à travers le monde mais ne les ont pas encore implantées en France. Seulement à partir du moment où le prix de l'eau potable augmentera fortement et que certaines régions manqueront d'eau, les méthodes d'arrosage changeront et se tourneront peut-être vers la réutilisation des eaux usées. Pourtant, dès à présent, le long du littoral près des zones touristiques ou conchylicoles, des traitements poussés existent pour satisfaire les exigences administratives et le souci des municipalités. Cette eau rejetée d'excellente qualité pourrait aisément avoir une utilité en zone urbaine. Pour l'instant, les possibilités sont réelles mais restent limitées : les espaces verts ouverts au public peuvent être arrosés avec des eaux de catégorie A et ceux non ouverts au public avec des eaux de catégorie B, à la seule condition d'utiliser des systèmes d'irrigations localisés ou enterrés. L'opinion publique et les élus des collectivités locales ont aussi un poids conséquent dans ces choix.

3.2. Exemples Industriels

L'eau est un des éléments essentiels à la production industrielle. Dans un contexte de raréfaction de la ressource et de durcissement de la législation, de nombreuses entreprises cherchent elles aussi à développer le recyclage de leurs eaux usées. Celles-ci peuvent être réutilisées dans les chaudières et les tours de refroidissement, ou comme eaux de lavage. Cette méthode leur permet aussi de gérer leurs coûts d'exploitation. Le recyclage permet donc à la fois d'économiser les ressources en amont, de diminuer le volume des rejets dans l'environnement et de gérer leurs coûts d'exploitation.

3.2.1. Station de Limay (78)

Depuis 2012, la station d'épuration de Limay permet de traiter les eaux usées des habitations provenant des communes de Limay, Follainville-Dennemont et Porcheville ainsi que les eaux usées industrielles (à hauteur de 40%) provenant de la ZI de Limay/Porcheville et de la zone portuaire. Cette station a été reconstruite en 2009 afin de répondre aux nouvelles exigences réglementaires. Elle s'inscrit maintenant dans une démarche Haute Qualité Environnementale (HQE) grâce à l'installation de pompes à chaleur, de panneaux photovoltaïques etc.... Elle est conforme aux normes européennes. Elle permet de rejeter dans le milieu naturel (la Seine) une eau de qualité similaire aux eaux de baignade et elle revend de l'eau traitée aux entreprises voisines.

La station d'épuration s'organise comme suit:

- Un prétraitement en deux phases: le dégrillage et le dessablage/déshuilage,
- Un traitement biologique,
- Filtration membranaire (permet de séparer l'eau propre et les boues) avec un bioréacteur à membranes qui permet une qualité d'eau adaptée aux usages industriels.

Ainsi, une certaine proportion de l'eau en sortie de STEP est réutilisée en industrie, permettant l'économie de la ressource en eau.

Tableau 9 : Caractéristiques de la station de Limay

Capacité de la station	60 000 eq/hab
Débit moyen	580 m ³ /h et 13 925 m ³ /j
Quantité d'eau réutilisée	900 m ³ /j
Qualité d'eau en sortie de STEP	MES : 5 mg/L ; DBO : 50 mg/L ; DCO : 50 mg/L ; N-NGL : 10 mg/L ; Pt : 0.5 mg/L

3.2.1. La COOPERL

La COOPERL, Coopérative Agricole spécialisée dans la production et l'abattage porcin, a été fondée en 1966 et possède deux des plus importants abattoirs porcins d'Europe. Le site de Lamballe, en Bretagne, compte 1300 employés pour une capacité de 140 000 tonnes/an (soit 60 000 porcs/semaine) dont 95% sont transformés sur place. Ces chiffres permettent de mesurer la taille de cette industrie, et par conséquent, le besoin de s'affranchir de rejeter dans la station d'épuration de

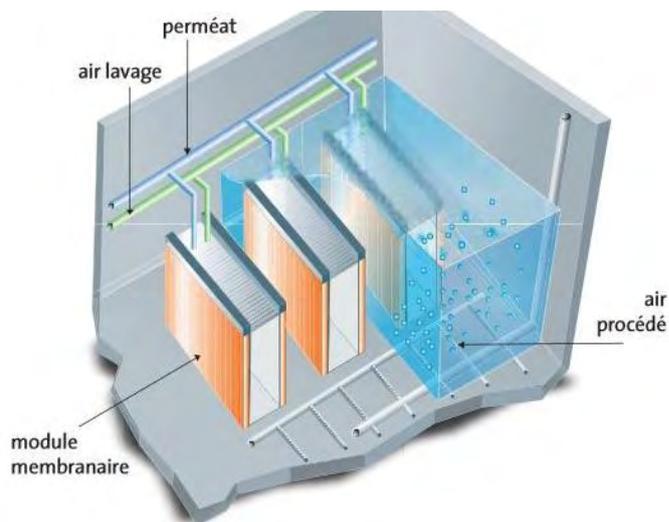
la ville. C'est pourquoi en 2002, cette industrie s'est équipée d'une première station de traitement des effluents avec des exigences concernant l'encombrement des installations et la production de boues, mais également d'une fiabilité et d'un fonctionnement simple des procédés.

Tout d'abord, elle choisit de s'allier à Veolia Eau, et installe une première filière de traitement comprenant une flottation physico-chimique, puis un réacteur biologique « Biosep™ », et enfin un traitement par osmose inverse pour un recyclage de très haute qualité.

La filière de traitement est donc constituée des éléments suivants :

- Un tamis rotatif, flottation à air dissous (DAF), bassin tampon et bassin anoxie pour le prétraitement,
- Un Bioréacteur à membrane, Biosep™, combinant boues activées et filtration membranaire qui comprend un bassin anoxie d'un volume de 600 m³, un bassin aérobie de 1030 m³, aéré par des aérateurs KORTING et des surpresseurs d'air et de deux lignes de filtration membranaire,
- une unité d'osmose inverse.

Figure 3: Schéma en 3D du procédé Biosep™



(Source Véolia)

Un schéma global du circuit des eaux dans l'entreprise est présenté en Annexe 4.

Une partie des eaux traitées en sortie du Biosep™ est rejetée dans le milieu naturel avant l'étape d'osmose inverse. Les effluents répondent bien entendu aux normes de rejets.

En 2006, l'entreprise construit une seconde ligne de traitement permettant d'augmenter la capacité de la station à 16 000 m³/semaine et 30 tonnes/semaine de DCO. L'unité d'osmose inverse permet d'obtenir une qualité d'eau très importante. En effet, elle permet d'obtenir des concentrations très faibles (Tableau 9) et par conséquent de pouvoir réinjecter les eaux dans les autres procédés de l'industrie.

Tableau 10 : Valeurs des paramètres DCO, NT et PT de l'effluent en sortie de l'unité d'osmose inverse

Caractéristiques de l'effluent de sortie	
DCO	10 mg/l
NT	1 mg/l
PT	0,1 mg/l

Grâce à ces unités de traitement tertiaire, la COOPERL couvre 60% de ses besoins en eau. Ainsi, l'économie pour le réseau public s'élève à 600 000 m³/an soit la consommation de 12 000 habitants.

Cette industrie est un bon exemple sur le fonctionnement des procédés actuellement envisageable dans le domaine industriel puisqu'il est simple d'utilisation (grande automatisation) et permet une très haute qualité d'eau de sortie.

3.3. Nouvelle technologie développée par Helio Pur

3.3.1. HélioPur Technologies

La technologie HélioPur a été créée par une entreprise française. Il permet d'éliminer les contaminants microbiens dans une eau en vue de sa réutilisation. Cette technologie s'adresse à tous les utilisateurs d'eau douce : collectivités, activités tertiaires, agriculteurs et industriels. Hélio Pur veut apporter des solutions nouvelles face aux problèmes de rareté saisonnière ou permanente d'eau douce ainsi qu'à la préservation des ressources naturelles. Les procédés développés par cette entreprise peuvent traiter entre 10 et 10000 m³ par jour.

En sortie des installations Helio Pur, l'eau traitée contenant la biomasse microalgale est réutilisée à des fins d'irrigation agricole ou d'arrosage d'espaces verts avec en prime une recharge des nappes et un apport organique pour les sols. Par exemple, il peut servir dans la réutilisation d'eaux usées issues d'un complexe hôtelier pour l'arrosage des jardins, les chasses d'eau des toilettes ou les piscines ou encore dans la réutilisation des eaux usées d'une petite agglomération en période estivale à des fins d'irrigation agricole, arrosage d'espaces verts et/ou le nettoyage de la voirie.

D'autres avantages de cette technologie :

- la récupération du carbone contenu dans les matières organiques sous forme de CO₂ tout d'abord, puis sous forme de biomasse microalgale après traitement dans l'installation
- la valorisation de l'oxygène produit par la photosynthèse au niveau des prétraitements aérobies afin de diminuer considérablement les besoins énergétiques lors l'aération.

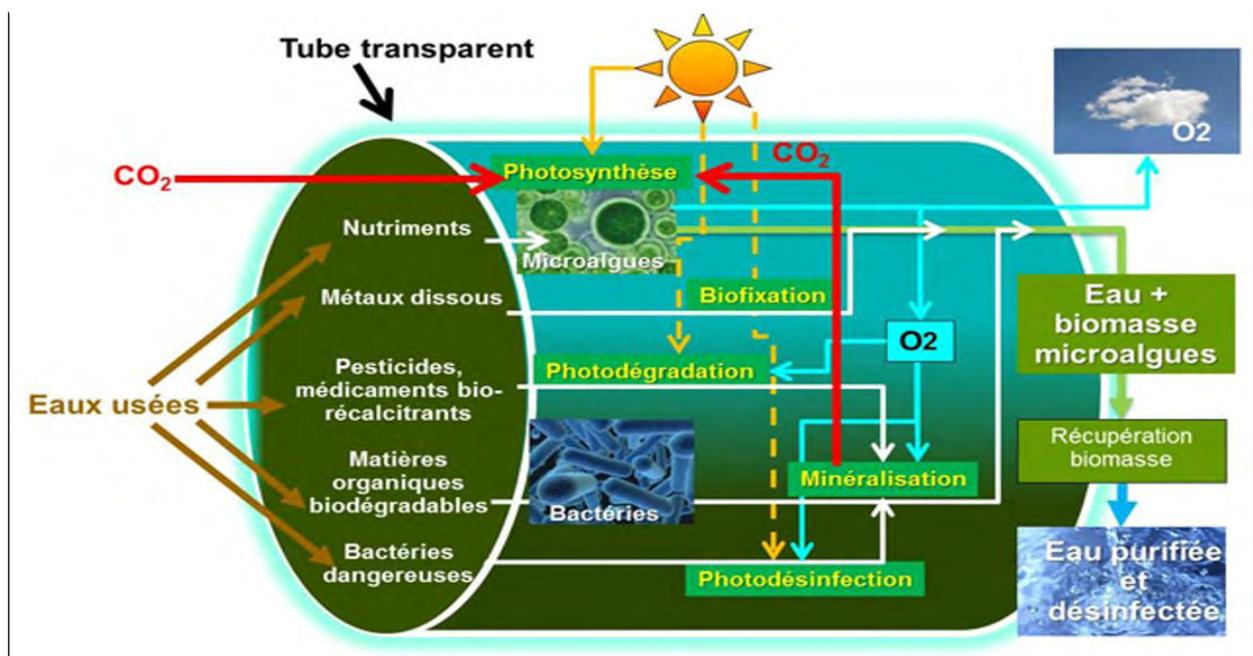
3.3.2. Explication du procédé

Cette nouvelle technologie intensifie les effets du soleil et le développement micro algues dans des structures tubulaires transparentes. Il permet donc d'éliminer une large gamme de composés et de pathogènes dangereux pour l'homme. HélioPur utilise le CO₂ comme seul réactif. Les installations de purification bio-solaire sont construites avec des matériaux économiques et à longue durée de vie. La consommation d'énergie est de l'ordre de 0,1 kWh par m³ d'eau traitée. La

production de CO₂ due à cette consommation d'énergie est largement compensée par la consommation de CO₂ pour la production de la biomasse et la valorisation de l'oxygène en sortie de procédé. La consommation de CO₂ est de l'ordre de 2 à 3 kg par m³ d'eau traitée. L'interface air/eau dans les structures tubulaires, favorisent la pénétration des rayons solaires et permet donc l'oxydation des composés organiques biodégradables et non biodégradables ainsi que le transfert des substances dangereuses dissoutes vers la biomasse phytoplanctonique.

Le procédé Héliopur utilise donc les microorganismes photosynthétiques pour éliminer des eaux usées les substances dangereuses. La technologie ne comprend aucune étape d'évaporation ou de concentration. Le CO₂ gazeux peut être amené sous forme de gaz de combustion (chaufferie, moteur thermique, groupe électrogène) en utilisant des carburants fossiles ou renouvelables (biomasse, biogaz) ou sous forme de gaz issus du traitement aérobie d'eaux usées ou de déchets organiques. Les Annexes 5 et 6 permettent de comprendre le cheminement des eaux dans le procédé ainsi que les réutilisations possibles.

Figure 4: Les mécanismes de la technologie Héliopur



(Source : Héliopur)

CONCLUSION

Dans le contexte actuel de la raréfaction de la ressource en eau utilisable par l'Homme, une des solutions pour la préserver tout en continuant à assurer nos besoins est de réutiliser les eaux en sortie de station d'épuration. Cependant, ces eaux usées traitées contiennent encore des concentrations non négligeables en germes et autres éléments indésirables, ce qui représente un frein à leur réutilisation directe.

Pour pallier à cela, les traitements tertiaires constituent des procédés de dépollution efficaces. De nombreuses techniques, mises en place à la sortie des stations d'épuration, sont désormais opérationnelles et permettent un traitement des eaux résiduaires urbaines adapté à l'utilisation finale de l'eau. Parmi elles, nous retrouvons des procédés de filtration mais surtout des procédés de désinfection éliminant la plupart des germes pathogènes.

Malgré ces techniques, la réutilisation des eaux usées traitées est encore peu développée en France et reste centrée sur l'arrosage des espaces verts et l'irrigation agricole. La législation dans ce domaine est récente mais tend à évoluer favorablement comme le montre l'arrêté du 25 juin 2014, qui annule, entre autre, la phase expérimentale pour l'irrigation par aspersion. L'industrie a aussi son rôle à jouer dans la préservation de la ressource en eau. Elle se dote de plus en plus de procédés membranaires tel que l'osmose inverse ou les bioréacteurs à membranes pour recycler leurs eaux, car ces derniers présentent des avantages certains et permettent de grandes économies d'eau.

Ainsi des techniques de traitements efficaces et complémentaires des eaux usées existent et permettent aujourd'hui la réutilisation des eaux dans de nombreux domaines.

Cependant, il est encore difficile de faire accepter ce nouveau levier aux professionnels concernés, en raison de contraintes techniques et matérielles, ainsi qu'à une population toujours sceptique vis-à-vis de cette ressource.

ANNEXE 1 : CONTRAINTES D'USAGE DES EAUX USÉES URBAINES TRAITÉES

TYPE D'USAGE	NIVEAU DE QUALITÉ SANITAIRE DES EAUX USÉES TRAITÉES			
	A	B	C	D
Cultures maraîchères, fruitières et légumières non transformées par un traitement thermique industriel adapté (excepté cressiculture (1))	+	-	-	-
Cultures maraîchères, 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.

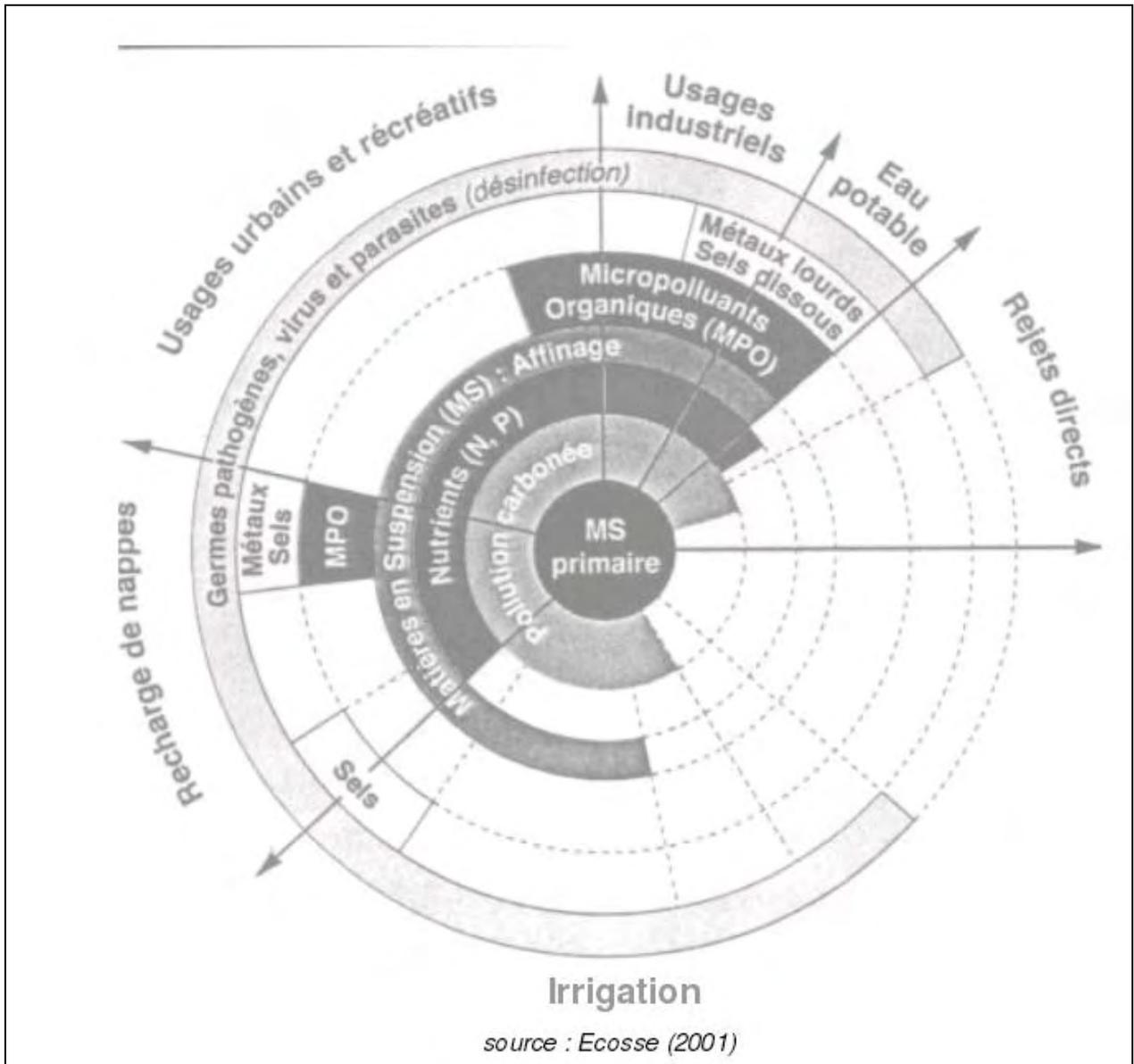
(6) Uniquement par irrigation localisée, telle que définie à l'article 2.

(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.

ANNEXE 2 : CERCLE DE L'ÉPURATION

Cette figure présente les différents paramètres à traiter en fonction de la réutilisation souhaitée.



ANNEXE 3 : COMPARAISON DE L'AVANTAGE ENTRE UNE DÉSINFECTION AU CHLORE, OZONE, LAGUNAGE ET PAR LES UV.

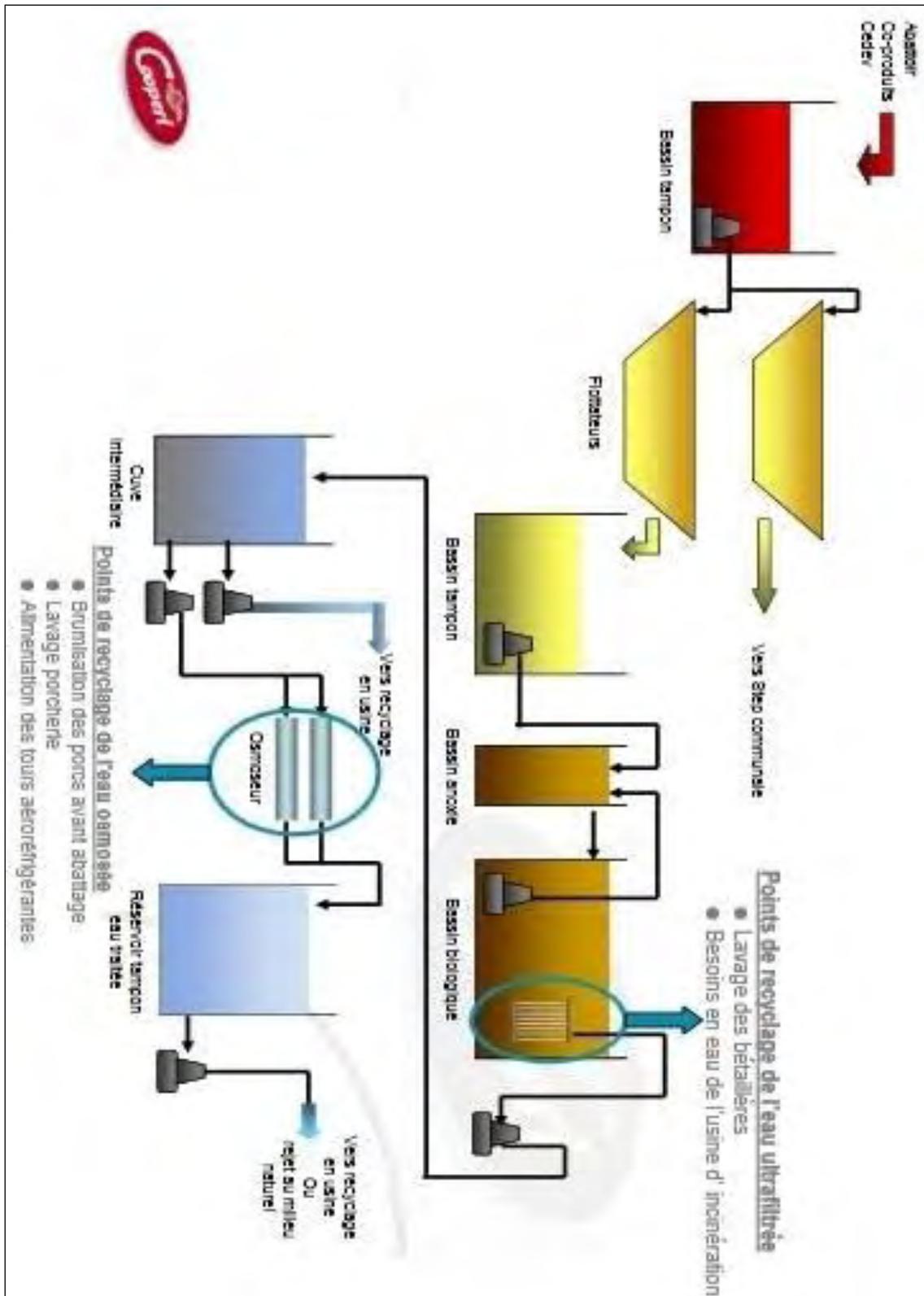
Tableau comparatif des principaux modes de désinfection des eaux usées(1)

	CHLORATION	CHLORATION DECHLORATION	OZONATION	RAYONNEMENT ULTRAVIOLET	LAGUNAGE
Inactivation bactérienne	bonne	bonne	bonne	bonne	bonne
Inactivation virale	faible	faible	bonne	bonne	faible
Réactivation possible	oui	oui	non	oui	non
Toxicité pour la vie aquatique	élevée	faible	faible	non	non
Formation de produits secondaires nuisibles	oui	oui	faible	non	non
Corrosif	oui	oui	oui	non	non
Risque pour la sécurité publique	oui	oui	non	non	non
Risque pour le personnel exploitant	élevé	élevé	modéré	faible	non
Transport requis	modéré	important	non	non	non
Complexité de la technologie	modéré	modérée	élevée	faible	non
Facilité de contrôle du procédé	bien connue	bien connue	en développement	en développement	impossible
Fiabilité des équipements	bonne	bonne	passable	bonne	pas d'équipement
Applicable à quelles stations d'épuration	toutes les tailles	toutes les tailles	grosses stations	petites et moyennes (de plus en plus pour les grosses)	petites et moyennes
Niveau de prétraitement requis	aucun(2)	aucun(2)	secondaire	secondaires (projets en cours pour primaires)	aucun
Entretien requis	minime	minime	élevé	variable	aucun
Coûts totaux	faibles	modérés	élevés	modérés	aucun ou faibles

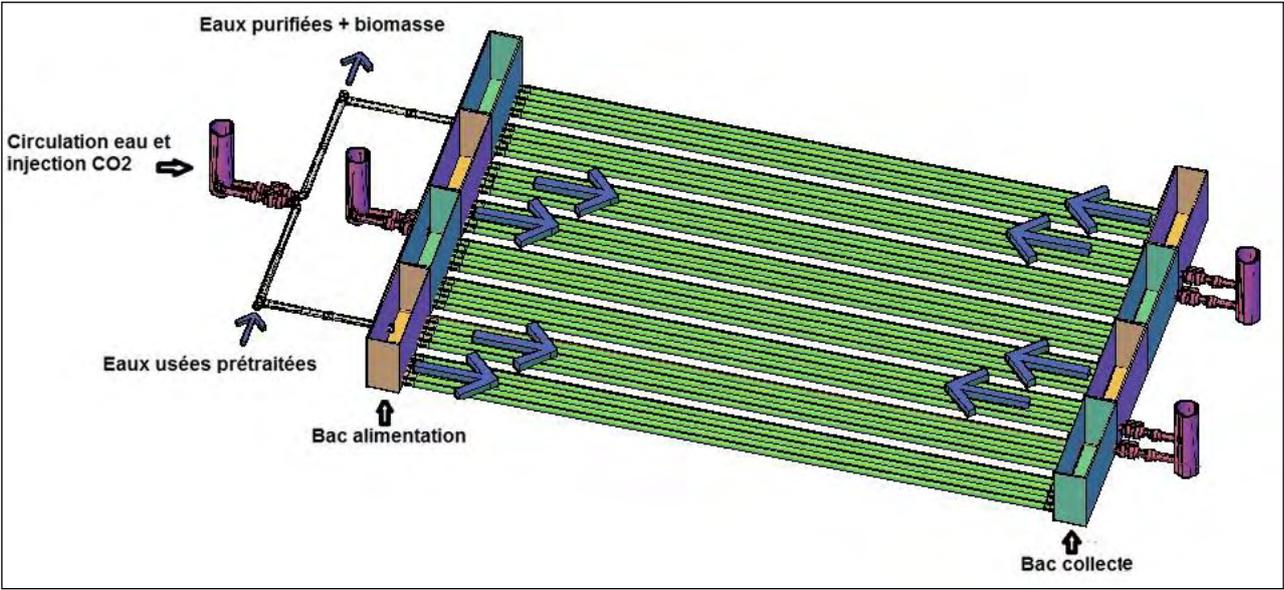
(1) : Adaptation d'un tableau tiré de RUDD, T. et L.M. HOPKINDON (1989).
(2) : Le risque de toxicité et la formation de produits secondaires nuisibles augmentent toutefois avec la contamination de l'eau usée.

Source : <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/eaux-usees/problematique.htm>

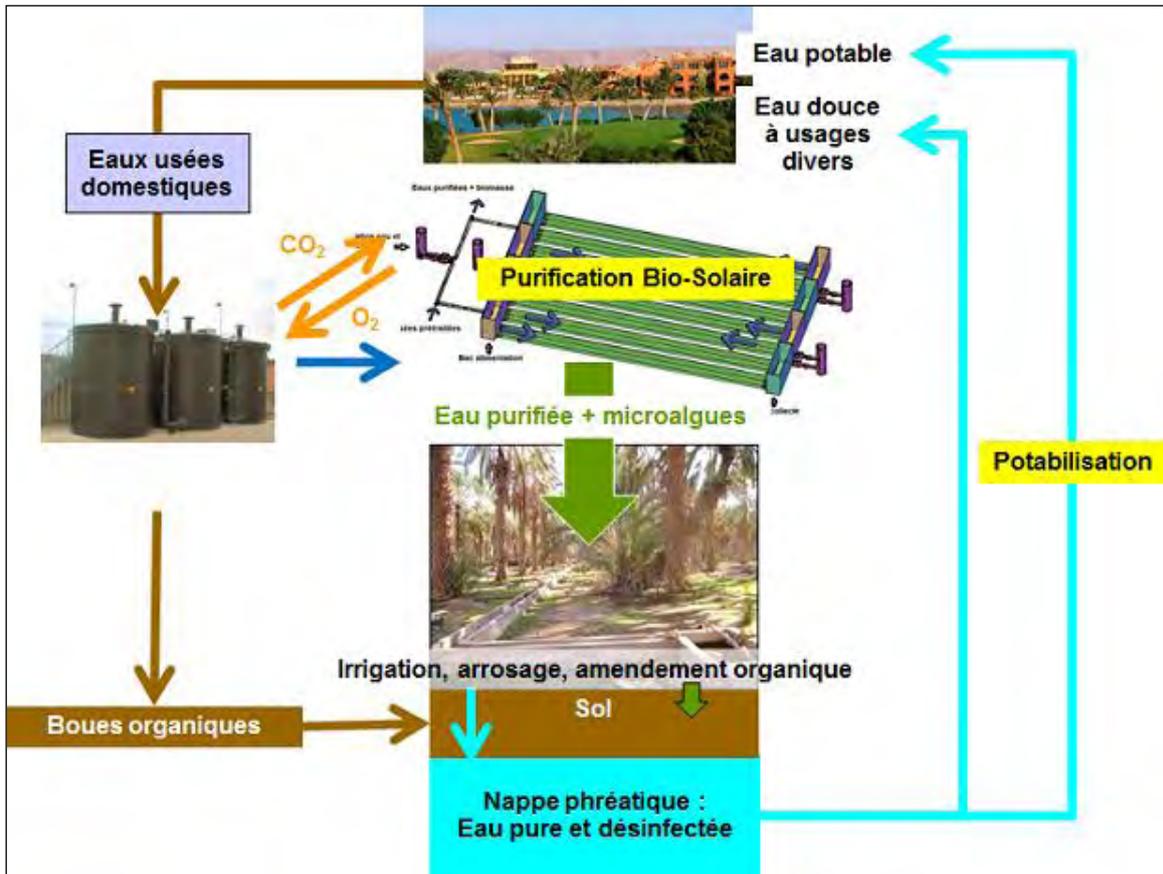
ANNEXE 4 : SCHÉMA DU TRAITEMENT DES EAUX DE LA COOPERL [G5]



ANNEXE 5 : SCHÉMA REPRÉSENTANT LE CHEMINEMENT DES EAUX DANS LE PROCÉDE HELIOPUR



ANNEXE 6 : SCHÉMA REPRÉSENTANT LES DIFFÉRENTES POSSIBILITÉS DE RÉUTILISATION AVEC LA TECHNOLOGIE HELIOPUR



BIBLIOGRAPHIE

AGENCE FRANCAISE DE DEVELOPPEMENT (AFD), BRL Ingénierie, (2011). *Réutilisation des eaux usées traitées – Perspectives opérationnelles et recommandations pour l'action*. Paris, AFD, 91p.

CONDOM, N., LEFEBVRE, M., VANDOME, L. (2012). *La réutilisation des eaux usées traitées en Méditerranée : retour d'expériences et aide à l'élaboration de projets*. Plan Bleu, Valbonne. (Les Cahiers du Plan Bleu 11).

DU PISANI, P. L., (2006). *Direct reclamation of potable water at Windhoek's Goreangab reclamation plant*. Desalination, vol. 188, issues 1-3. Eds. Elsevier, pages 79-88.

EUROPEAN WATER INITIATIVE MEDITERRANEAN (EUWI Med), (2007). *Mediterranean Wastewater Reuse Report*. 50p.

[Document visible à l'adresse suivante:

http://ec.europa.eu/environment/water/blueprint/pdf/med_final_report.pdf]

MINISTÈRE DES AFFAIRES SOCIALES ET DE LA SANTÉ, (2014). *Arrêté du 25 juin 2014 modifiant l'arrêté du 2 août 2010 relatif à l'utilisation d'eaux issues du traitement d'épuration des eaux résiduaires urbaines pour l'irrigation de cultures ou d'espaces verts*. JORF n°153, 4 juillet 2014, 9p.

MINISTÈRE DE LA SANTÉ ET DES SPORTS, (2010). *Arrêté du 2 août 2010 relatif à l'utilisation d'eaux issues du traitement d'épuration des eaux résiduaires urbaines pour l'irrigation de cultures ou d'espaces verts*. JORF n°201, 31 août 2010, 8p.

DUNGLAS, J., (2014). *La réutilisation des eaux usées*. Académie d'Agriculture de France

BOUTIN, C., HEDUIT, A., HELMER, J.M., (2009). *Technologies d'épuration en vue d'une réutilisation des eaux usées traitées (REUT). Rapport final*. ONEMA et Cemagref, 100p.

ALAIN TRUC, Traitement Tertiaires des Effluents Industriels, Techniques de l'Ingénieur – Alain TRUC, 2007

SITES INTERNETS CONSULTÉS

Les ressources en eau dans le Monde par le Centre d'information sur l'eau, août 2013 sur : <http://www.cieau.com/les-ressources-en-eau/dans-le-monde/ressources-en-eau-monde>

<http://veoliawatertechnologies.com/fr/media/references/cooperl-france.htm>

<http://www.veoliawatersti.fr/veoliawatersti/ressources/documents/1/23329,Biosep-brochure.pdf>

<http://www.industrie-techno.com/en-2013-valorisez-vos-eaux-usees.22487>

http://www.eau-loire-bretagne.fr/les_rendez

[vous_de_leau/les_rencontres/rencontres_2013/6_10eP_Eco_Eau_N_SCHNEBELEN.pdf](http://www.eau-loire-bretagne.fr/les_rendez/les_rencontres/rencontres_2013/6_10eP_Eco_Eau_N_SCHNEBELEN.pdf)

www.safewater.org

<http://www.lenntech.fr/recyclage-de-l-eau-pour-l-irrigation-agricole.htm#ixzz3JFrSLfds>

<http://www.solutionsforwater.org/wp-content/uploads/2011/11/Projet-Limagne-noire-plaquette.pdf>

<http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/eaux-usees/problematique.htm>

<http://www.heliopurtech.com/>

CONTACTS ÉVENTUELS

La SAUR

Responsable des traitements via Axelle Fourcet

Valorisation Eaux Usées :

Mr Eric Blin

Veolia Eau

Nicolas Picard

ECOFILAE

Rémi DECLERCQ - 04 67 16 64 72 remi.declercq@ecofilae.fr

Réutilisation des eaux non conventionnelles :

Mr Nicolas Condom

Projet IrriAlt'Eau (irrigation des vignes avec des EUT) :

Hernan Ojeda (directeur INRA Pech Rouge) : 04 68 49 44 08

Lionel Palancade (directeur d'Aquadoc) : 04 67 98 13 00

Helio Pur Technologies :

+ 33 (0) 4 86 39 05 88 / + 33 (0) 6 17 07 44 49

contact@heliopurtech.com