



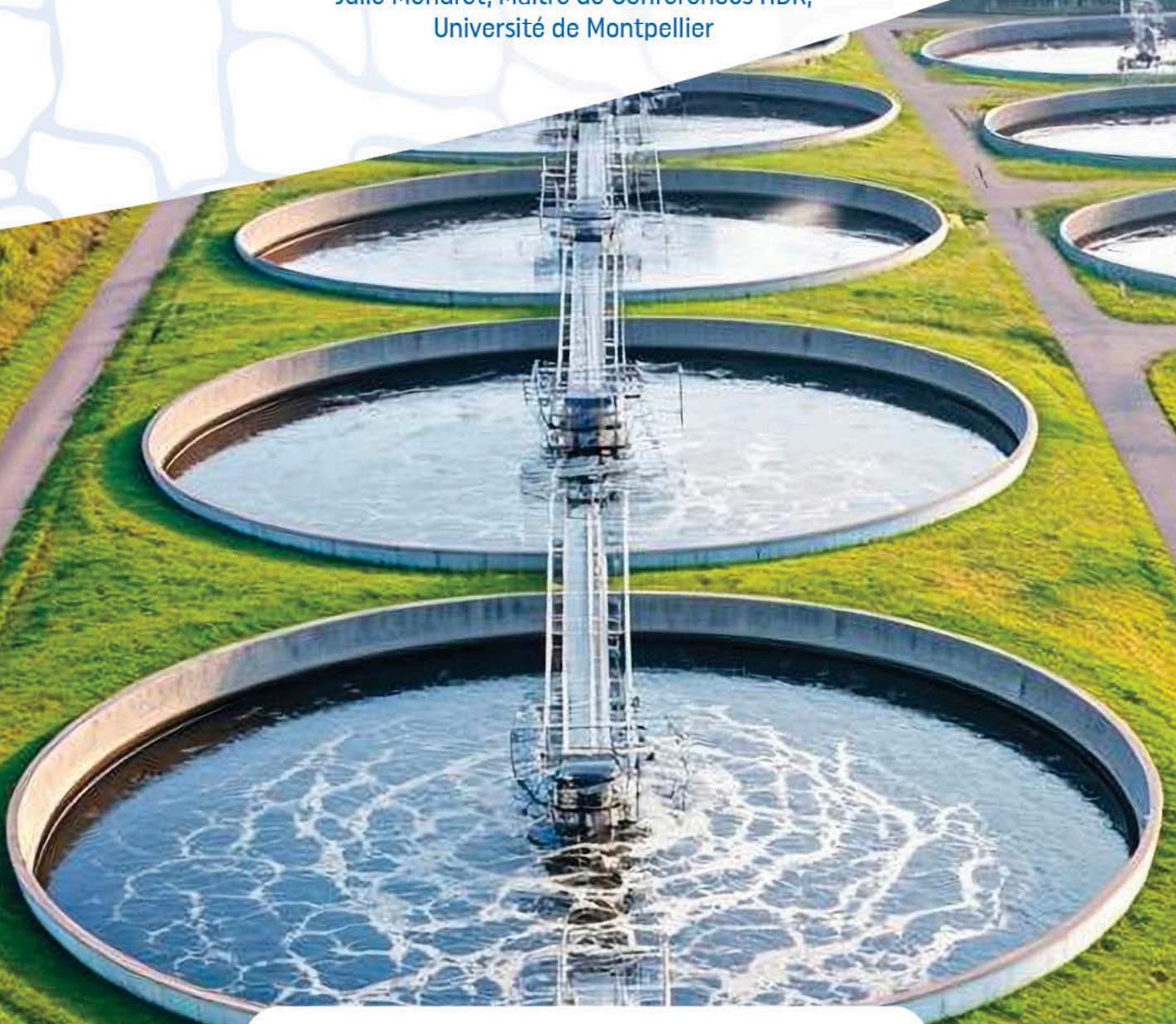
DÉPARTEMENT
DE LA
Réunion
departement974.fr

MERENREUT

BENCHMARK

La réutilisation des eaux usées traitées pour l'agriculture en Europe et en Australie

Julie Mendret, Maître de Conférences HDR,
Université de Montpellier



Institut
Européen des
Membranes



UNIVERSITÉ DE
MONTPELLIER

Table des matières

Introduction.....	5
1. Principe de la REUT.....	5
2. La réglementation en France et en Europe	6
3. La REUT, avantages et inconvénients	8
3.1. Avantages.....	8
3.2. Inconvénients, défis et préoccupations	8
4. La REUT dans le Monde	10
5. Cas concrets de REUT pour l'irrigation agricole en France	12
2.1. Introduction sur la REUT pour l'irrigation agricole	12
2.2 Cas de l'île de Porquerolles.....	13
2.3 Cas de l'ASA Limagne Noire	14
2.4. Le cas de Château-Renault.....	16
2.5. Le cas de Noirmoutier	20
6. Cas concrets de REUT pour l'irrigation agricole en Europe	21
6.1. Introduction	21
6.2. Cas de la Grèce.....	23
6.3. Cas du Portugal	24
6.4. Le cas de l'Espagne	27
7. La REUT pour l'irrigation agricole en Australie	29
7.1. Introduction	29
7.2. Le cas de Melbourne.....	33
Conclusion	35
Bibliographie.....	36

Introduction

La réutilisation des eaux usées traitées (REUT) est une pratique émergente et innovante dans le domaine de la gestion de l'eau. Elle s'inscrit dans une perspective de durabilité environnementale, économique et sociale, offrant une solution alternative aux défis croissants liés à la disponibilité limitée de l'eau douce. Cette approche vise à maximiser l'utilisation des ressources hydriques en recyclant les eaux usées après leur passage dans une station de traitement des eaux usées (STEU). Ce rapport propose un panorama de cas de REUT pour l'irrigation agricole en Europe et dans des zones de climat tropical comme l'Australie.

1. Principe de la REUT

La réutilisation des eaux usées fait référence à la récupération et à l'utilisation des eaux usées domestiques, industrielles ou agricoles, après avoir subi un traitement adéquat pour éliminer les contaminants et assurer la conformité avec les normes de qualité de l'eau. Ces eaux, une fois traitées, peuvent être utilisées pour divers usages tels que l'irrigation agricole, le nettoyage des voiries, l'hydro-curage des réseaux, la recharge des nappes phréatiques, les usages industriels non potables, voire même la consommation humaine directe dans certaines circonstances.

Dans une STEU classique, la filière de traitement appliquée permet généralement de répondre à la norme en vigueur pour les rejets dans le milieu naturel (en Europe la directive européenne n° 91/271/CEE du 21 mai 1991). Une filière classique est présentée sur la figure 1 pour une agglomération de plus de 2000 équivalent habitants (EH). Cette filière est soit équipée d'un bassin à boues activées suivi d'un clarificateur, soit un procédé hybride combinant ces deux étapes, le bioréacteur à membrane (option du haut sur la figure 1). Dans les zones rurales moins densément peuplées, des procédés extensifs sont plus largement rencontrés comme le lagunage, les filtres plantés de roseaux ou l'infiltration-percolation dans le sol.

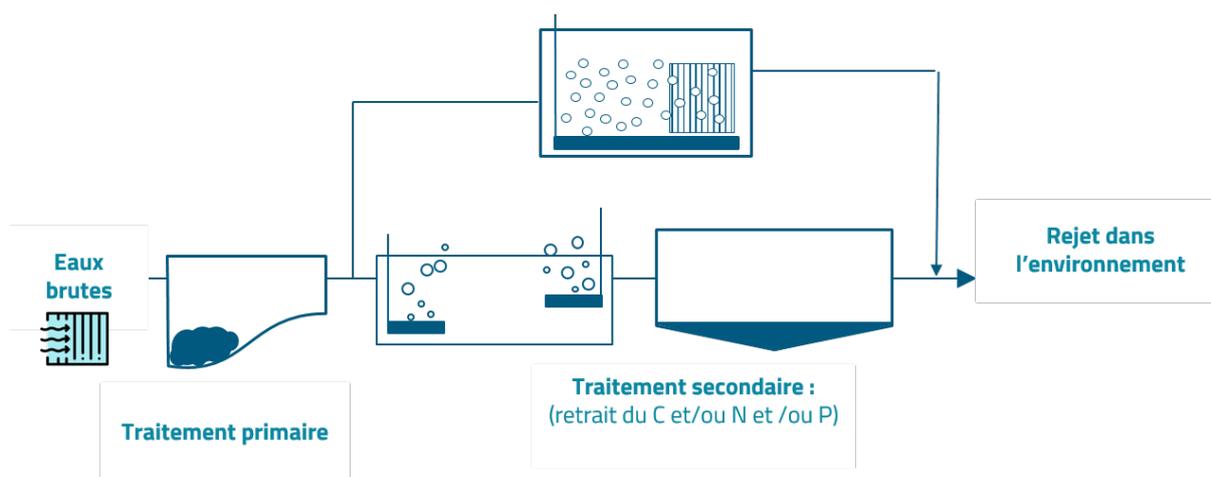


Figure 1. Filière classique d'une STEU (> à 2000 EH).

Bien souvent, pour pratiquer la REUT en accord avec la réglementation en vigueur (cf. partie 2), il est nécessaire d'appliquer un traitement dit tertiaire, plus ou moins poussé selon l'usage envisagé. Les technologies couramment utilisées incluent la filtration, la désinfection, la désinfection avancée par UV, l'osmose inverse, et d'autres procédés physiques, chimiques et biologiques (figure 2). Ces méthodes garantissent que les eaux usées traitées répondent aux normes de qualité requises, minimisant ainsi les risques pour la santé publique et l'environnement.

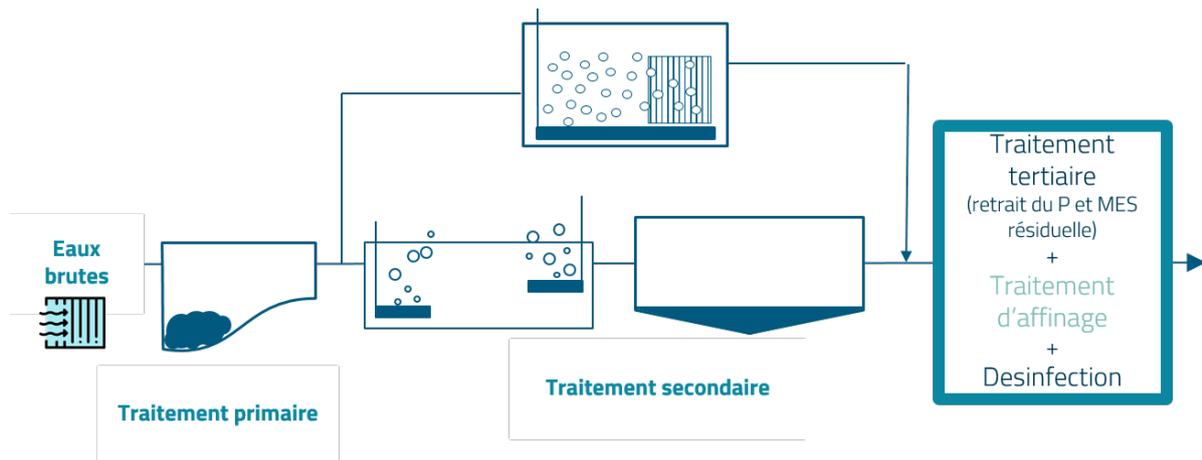


Figure 2. Filière classique d'une STEU (> à 2000 EH) avec un traitement tertiaire pour la REUT.

2. La réglementation en France et en Europe

En 2020, les instances européennes se sont saisies de la question de la REUT pour l'irrigation agricole en promulguant le règlement (UE) 2020/741 du Parlement et du Conseil du 25 mai 2020 relatif aux exigences minimales applicables à la réutilisation de l'eau. Ce règlement est directement applicable sur le territoire des États membres de l'UE, et fait partie intégrante du droit français à compter de son entrée en vigueur, qui était fixée au 26 juin 2023.

Le cadre réglementaire français a ainsi été adapté grâce au décret n°2023-835 du 29 août 2023 relatif aux usages et aux conditions d'utilisation des eaux de pluie et des eaux usées traitées qui codifie la procédure d'autorisation des projets de REUT dans le code de l'environnement et apporte des simplifications lorsque les projets respectent les exigences de qualité des eaux. L'arrêté du 18 décembre 2023 donne un cadre pour l'irrigation agricole. Il pose des requis minimaux de qualité (tableau 1) et de surveillance des eaux usées traitées (EUT) visant à être réutilisées à des fins agricoles en adoptant notamment une approche dite « multi-barrières » qui est une méthode permettant une meilleure gestion des risques. Le tableau 2 résume les barrières proposées dans l'arrêté.

Tableau 1. Niveaux de qualité sanitaire des eaux usées traitées pour la REUT selon la réglementation française.

Classe de qualité de l'eau de récupération	Objectif technologique indicatif	Exigences de qualité				
		E. coli (nombre/100 ml)	DBO ₅ (mg/l)	MES (mg/l)	Turbidité (NUT)	Autre
A	Traitement secondaire, filtration et désinfection	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 5	Legionella spp.: < 1 000 ufc/l lorsqu'il existe un risque de formation d'aérosols Nématodes intestinaux (œufs d'helminthes): ≤ 1 œuf/l pour l'irrigation des pâturages ou des fourrages
B	Traitement secondaire et désinfection	≤ 100	Conformément à la directive 91/271/CEE (Annexe I, tableau 1)	Conformément à la directive 91/271/CEE (Annexe I, tableau 1)	–	
C	Traitement secondaire et désinfection	≤ 1 000			–	
D	Traitement secondaire et désinfection	≤ 10 000	–			

Si cette réglementation stricte s'avère nécessaire sur les plans sanitaire et environnemental, les contraintes inhérentes à son application complexifient le montage des dossiers, voire mettent en péril les projets. Plusieurs d'entre eux ont ainsi avorté du fait de contraintes pour la mise en place (montage de dossier, contrainte de typologie de terrain, prescriptions spécifiques pour l'arrosage par aspersion...) et la mise en œuvre (exigence de traçabilité, suivi de la qualité d'eau, gestion du programme d'irrigation...).

Tableau 2. Exemple de barrières pouvant être mises en place selon la réglementation française.

Type de barrière	Application	Réduction des agents pathogènes (unités log)	Nombre d'équivalents barrières
Irrigation des cultures vivrières			
Irrigation localisée (sans stagnation de l'eau en surface et sans contact des parties comestibles avec les eaux usées traitées)	Irrigation de cultures basses (à au moins 25 cm au-dessus du sol)	2	1
	Irrigation de cultures hautes (à au moins 50 cm au-dessus du sol)	4	2
	Irrigation souterraine par goutte-à-goutte, lorsque l'eau ne remonte pas à la surface du sol par capillarité	6	3
Bâche résistante aux UV	Dans le cadre de l'irrigation par goutte-à-goutte, lorsque la bâche sépare les eaux d'irrigation des cultures irriguées	2 à 4	1
Inactivation naturelle des agents pathogènes	Inactivation naturelle favorisée par l'arrêt ou l'interruption de l'irrigation avant la récolte	0,5 à 2 par jour (selon les cultures et conditions météorologiques).	1 à 2
Lavage des produits avant leur vente aux consommateurs (1)	Lavage à l'eau potable	1	1
Désinfection des produits avant leur vente aux consommateurs (1)	Lavage avec une solution légèrement désinfectante et rinçage à l'eau potable	2	1
Pelage des produits avant leur vente aux consommateurs (1)	Pelage des fruits et légumes	2	1
Irrigation de fourrage frais et pâturage			
Contrôle de l'accès	Restriction de l'accès au champ irrigué pendant 10 jours en l'absence d'abattoir relié à la station de traitement des eaux usées et de 21 jours dans le cas contraire	2 à 4	2
Séchage au soleil des plantes	Les plantes fourragères et autres cultures sont séchées au soleil et récoltées avant consommation	2 à 4	2

7

Par ailleurs, le décret du 29 août 2023, qui abroge celui du 10 mars 2022, permet d'envisager de nouveaux usages pour la REUT que sont les usages urbains : nettoyage de voiries, hydrocurage de réseaux (nettoyage des canalisations à l'aide de jets d'eau sous haute pression), lutte contre les incendies...Ce décret d'août 2023 a été complété par deux arrêtés, publiés respectivement les 14 et 18 décembre 2023, énonçant les conditions de production et d'utilisation des eaux usées traitées pour l'arrosage des espaces verts et l'irrigation de cultures.

Les usages y sont strictement encadrés, notamment par des niveaux de qualité à atteindre, dans le prolongement des dispositions du règlement européen de 2020. Les niveaux de qualité établis sont classés de A à D, de la meilleure à la moins bonne, et les usages permis dépendent de la qualité des EUT disponibles. Une EUT de qualité A peut par exemple être utilisée pour irriguer la partie comestible de cultures vivrières consommées crues.

3. La REUT, avantages et inconvénients

3.1. Avantages

La réutilisation des eaux usées contribue à la préservation des ressources en eau douce, en réduisant la demande sur les sources conventionnelles pour la production d'eau potable. Elle peut ainsi permettre de limiter le phénomène de remontée du biseau salin en bordure littorale qui conduit à une contamination de l'eau douce par de l'eau saumâtre du fait de prélèvements en eau trop intensifs. En limitant le rejet d'eaux usées non traitées dans les milieux naturels, cette pratique contribue également à la protection des écosystèmes aquatiques et terrestres. Dans certains cas, l'utilisation d'eaux recyclées peut réduire les coûts associés à l'approvisionnement en eau, surtout dans les régions confrontées à une rareté croissante de cette ressource. Les eaux usées contenant des nutriments (azote et phosphore notamment), elles ont une valeur fertilisante qui peut conduire à une réduction de la consommation d'engrais de synthèse. Enfin, la réutilisation offre une alternative fiable en diversifiant les sources d'approvisionnement en eau, ce qui est particulièrement crucial dans les régions sujettes à la sécheresse.

3.2. Inconvénients, défis et préoccupations

Malgré ses avantages, la réutilisation des eaux usées traitées pose également des défis, notamment en matière de perception sociale, de réglementation et de garantie de la qualité de l'eau. Une communication efficace, des réglementations appropriées et une surveillance continue sont essentielles pour surmonter ces défis et promouvoir l'acceptation de cette pratique. Les obstacles à surmonter demeurent toutefois nombreux. L'acceptabilité sociale de cette pratique, souvent méconnue et sujette aux a priori de la part du grand public, en est un. Autre frein important, la REUT va devoir trouver son modèle économique, nécessitant certainement des incitations financières afin de rivaliser avec l'eau de rivière que les agriculteurs prélèvent à un prix autour de 10 à 30 centimes d'euros le m³.

La réutilisation des eaux usées n'est pas l'unique solution pour pallier le manque d'eau, c'est avant tout une solution dépendante du contexte local et qui implique par conséquent une prise en compte lors de la planification de la gestion de la ressource par les collectivités. Elle est par exemple très pertinente sur les zones littorales où certaines stations d'épuration rejettent leurs effluents en mer ce qui constitue une perte d'eau douce. En pratiquant la REUT, s'opère alors l'économie circulaire de l'eau avec comme bénéfices secondaires la diminution des prélèvements dans les nappes – plus vulnérables lorsque leur niveau est bas et qu'elles sont alors soumises à la pénétration d'eau salée qui peut les rendre impropres à la consommation – et l'amélioration de la qualité de l'eau dans les lieux de baignade ou de conchyliculture.

Dans les zones continentales, en revanche, les rejets de station d'épuration participent parfois de manière significative au soutien d'étiage – c'est-à-dire au maintien d'un débit minimum nécessaire pour le bon fonctionnement des écosystèmes aquatiques – et la REUT présente moins d'intérêt dans ce cas, voire pourrait avoir un impact environnemental négatif.

Après le traitement des eaux usées, la présence de certains sels, de polluants minéraux et organiques, ainsi que de micro-organismes pathogènes, est par ailleurs encore possible. L'importance des impacts négatifs associés sur les écosystèmes et sur la santé humaine dépend fortement des caractéristiques du sol, des plantes et de la qualité de l'eau usée traitée ainsi que des pratiques agricoles. Il est donc important que la REUT reste bien encadrée afin d'en faire une pratique sûre et durable via l'atteinte des seuils fixés.

Alors que le secteur connaît une évolution rapide à 'échelle mondiale, il apparaît nécessaire de mener des études scientifiques sur le devenir des polluants, des virus et parasites, au cours de l'irrigation agricole avec des eaux usées traitées. En Israël, où la REUT est pratiquée depuis les années 80, aujourd'hui à hauteur d'environ 80 %, une étude a montré que les molécules pharmaceutiques se retrouvent principalement dans le sol, les feuilles et racines de végétaux irrigués avec des eaux usées traitées, les fruits et tubercules étant plus faiblement contaminés (Ben Mordechay et al.). Récemment, à Murviel-les-Montpellier, une expérience sur deux années d'irrigation de cultures de laitue et de poireaux avec des eaux usées municipales traitées sans et avec ajout de quatorze contaminants à un niveau de concentration de 10 µg/L a été menée dans des conditions de culture en serre (Manasfi et al.).

L'objectif était d'étudier leur accumulation dans le sol et les feuilles afin d'évaluer les potentiels risques liés à la santé. Les résultats ont révélé une accumulation limitée des contaminants dans le sol et les feuilles des plantes, leurs niveaux de concentration étant respectivement dans la gamme de 1-30 ng/g et 1-660 ng/g. Dans l'ensemble, cette étude a confirmé des rapports antérieurs sur le risque minime pour la santé humaine lié à la consommation de légumes verts à feuilles crus, irrigués par des eaux usées domestiques traitées contenant des résidus de contaminants organiques.

Ces résultats confortent la pertinence de la mise en place de projets de REUT pour l'irrigation agricole comme MEREN REUT. En France, l'exemple réussi de la Limagne noire où des cultures céréalières sont irriguées avec des eaux usées traitées de la ville de Clermont-Ferrand depuis plusieurs dizaines d'années, a révélé une absence de contamination liée aux microorganismes pathogènes.

4. La REUT dans le Monde

Certains pays ou États – comme l'Australie, la Californie, Chypre, l'Espagne, la Floride, Israël, la Jordanie, Malte ou Singapour – ont pour objectif de satisfaire de 10 à 60 % de leurs besoins en eau par la réutilisation des eaux usées épurées. L'omniprésence des eaux usées permet d'envisager leur traitement sur l'ensemble des territoires à l'inverse du dessalement, autre solution pour pallier le manque en eau, cantonné aux zones côtières et qui se révèle très énergivore. En France, la REUT reste peu développée. En cause : un manque de sensibilisation du public et une réglementation très stricte dont la récente évolution pourrait permettre une impulsion de cette pratique.

Selon le contexte réglementaire local, la réutilisation des eaux usées connaît donc un développement inégal à l'échelle mondiale. Certains pays développés soumis à une sécheresse intense se sont tournés depuis quelques dizaines d'années vers la réutilisation des eaux usées : le sud des États-Unis (Californie, Floride, Texas, Arizona, par exemple), l'Australie, Singapour, Israël et les pays du golfe persique. L'État de Californie, pionnier en matière de réutilisation des eaux usées, a instauré au début du vingtième siècle la première réglementation en ce sens. Depuis, cette réglementation a évolué avec des traitements toujours plus poussés pour garantir une eau de très bonne qualité dont de nombreux pays se sont inspirés. Le tableau 4 présente un classement des pays leader en m³/jour où les États-Unis, l'Arabie Saoudite et l'Égypte apparaissent en tête de classement. Toutefois, en considérant la quantité d'eau réutilisée par habitant, le Qatar, Israël et le Koweït sont les mieux placés. Le Koweït, Israël et Singapour se placent aux premiers rangs si le critère considéré concerne le pourcentage d'eau réutilisée par rapport à la quantité d'eau totale utilisée. Enfin, si l'on considère les avancées technologiques, la Californie, Singapour et le Japon sont probablement les pays les plus novateurs.

Tableau 4. Pays leader pour la REUT en m³/jour (Jimenez et Asano, 2008)

Rang	Pays	m ³ /jour
1	USA	7 600 000
2	Arabie Saoudite	1 847 000
3	Egypte	1 780 821
4	Syrie	1 014 000
5	Israël	1 014 000
6	Espagne	821 000
7	Mexique	767 280
8	Chine	670 000
9	Japon	573 800
10	Tunisie	512 328

En Europe, les besoins en eaux différents entre Nord et Sud : les pratiques de réutilisation des eaux usées sont ainsi plus répandues dans les pays du Sud. Dans certains cas cependant, comme en Grèce et en Italie, une réglementation trop stricte freine cet usage, car elle entraîne des coûts trop élevés pour le suivi de la qualité de l'eau (74 paramètres à suivre selon la réglementation grecque). En Espagne, pays européen le plus actif dans ce domaine, plus de 150 projets de REUT ont été implantés ces dernières années. Si plus de soixante pays pratiquent la réutilisation des eaux usées à l'échelle mondiale, il est cependant difficile d'identifier lesquels réutilisent les plus gros volumes, en raison d'un manque de données normalisées.

Le cas de Singapour est mondialement connu et fait référence dans ce domaine. Du fait d'une densité de population très élevée, cette île de 699 km² a dû faire face à une pénurie en eau accrue et s'est tournée vers la réutilisation des eaux usées après un traitement de pointe associant microfiltration, osmose inverse et rayonnement UV. Cette eau, dénommée « Newater », est utilisée pour des applications industrielles et dans les tours de refroidissement mais une fraction est aussi mélangée avec de l'eau d'origine naturelle et alimente le réseau d'eau potable. De tels exemples de réutilisation directe pour la potabilisation sont rares, principalement en raison de barrières psychologiques. La station de traitement des eaux usées de Windhoek, en Namibie, est ainsi le seul exemple de réutilisation directe pour la potabilisation à grande échelle (21 000 m³/jour).

5. Cas concrets de REUT pour l'irrigation agricole en France

2.1. Introduction sur la REUT pour l'irrigation agricole

L'une des principales applications de la REUT est l'irrigation agricole, en particulier dans les pays à faible revenu et les pays arides ou semi-arides à revenu élevé. Les terres irriguées se trouvent généralement à proximité des zones métropolitaines où les eaux usées sont produites. Dans le monde, plus de 20 millions d'hectares de terres agricoles sont déjà irrigués avec des eaux usées traitées ou non traitées. Cette pratique devrait encore s'intensifier à l'avenir pour plusieurs raisons, notamment l'urbanisation croissante et la pénurie de ressources en eau. Cette pratique a évolué dans le temps. Dans les années 60, elle se concentrait sur l'irrigation de vergers (citronniers et oliviers en Tunisie), de cultures fourragères (maïs et soja aux Etats-Unis) ou bien encore pour la vigne (Argentine et Etats-Unis). Les nouveaux modes de traitement ont permis d'irriguer progressivement avec des EUT les cultures maraîchères consommées crues.

Les risques associés à la réutilisation de l'eau pour l'irrigation peuvent être divisés en trois catégories : i) les risques sanitaires associés aux consommateurs (y compris les animaux) de produits agricoles irrigués avec de l'eau recyclée ; ii) les risques sanitaires associés aux personnes exposées à l'eau recyclée (travailleurs, passants et résidents des communautés voisines) ; et iii) les risques pour l'environnement local, c'est-à-dire les eaux de surface, les eaux souterraines, le sol et les écosystèmes. Minimiser les risques sanitaires et environnementaux associés à la réutilisation de l'eau usée traitée est une tâche complexe qui nécessite une connaissance approfondie des processus, des pratiques et des chaînes de valeur.

L'irrigation consiste à appliquer de l'eau au sol afin de fournir l'humidité nécessaire à la croissance des plantes. L'irrigation permet d'augmenter le rendement des cultures et maintenir la stabilité de la production, elle est essentielle pour une agriculture économiquement performante dans les régions arides et semi-arides, tandis qu'elle est souvent nécessaire en complément dans les régions semi-humides et humides. Le tableau 5

présente la qualité des eaux usées traitées selon la réglementation européenne en lien avec la méthode d'irrigation recommandée.

Tableau 5. Qualité des eaux usées traitées selon la réglementation européenne en lien avec la méthode d'irrigation recommandée

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

2.2 Cas de l'île de Porquerolles

Depuis 1980, les eaux usées de Porquerolles sont purifiées de manière efficace, éliminant les contaminants et les agents pathogènes. Ces eaux traitées peuvent alors être réintroduites dans le cycle de l'eau, bénéficiant ainsi à l'ensemble de l'écosystème insulaire. Cette approche durable offre une solution précieuse en réduisant la dépendance à l'approvisionnement en eau douce tout en préservant les ressources naturelles locales. De plus, cette démarche contribue à atténuer les pressions sur les écosystèmes marins, en limitant le rejet direct des eaux usées dans la mer. La réutilisation des eaux usées traitées à Porquerolles incarne ainsi un modèle exemplaire de gestion intégrée de l'eau, favorisant la durabilité environnementale et la préservation des précieux écosystèmes côtiers.

Le maître d'ouvrage est le Parc National de Port Cros. Les partenaires sont Toulon Provence Méditerranée, SCP, réseau SMILO – sustainable islands, Agence de l'eau RMC. L'objectif est ici d'entretenir un verger méditerranéen de conservation variétale (figuier, grenadier, olivier). La filière épuratoire est rustique : station d'épuration par boues activées, débit traité 200 m³/j

en moyenne annuelle, pic estival à 400 m³/j, aux normes, suivie d'un traitement complet par lagunage (3 lagunes en série sur 1 ha, microphytes, mixte et macrophytes, temps de séjour 30 jours). Elle est suivie d'une station de pompage, d'un poste de filtration sur sable sous pression et d'un réseau de 26 bornes pour l'irrigation en goutte-à-goutte de 16 ha de verger.

Le cas de Porquerolles a permis un retour d'expérience sur 40 ans, prenant en compte les composantes qualité d'eau (salinité, pollution organique, microbiologie), qualité des sols (structure, risque de salinisation), performance du réseau hydraulique (pompage, filtration centrale, distribution), pilotage de l'irrigation à la parcelle (tensiométrie). Le système épuratoire efficace et robuste nécessite un entretien limité et permet d'atteindre une qualité d'eau compatible avec les exigences réglementaires de l'irrigation de vergers en goutte-à-goutte. La salinité de l'eau est compatible avec la production agricole, moyennant un dosage des apports et en prenant en compte une dose de lessivage pour éviter l'accumulation de sels. La principale maintenance concerne le faucardage régulier des lagunes à mettre en œuvre pour éviter leur envahissement par des végétaux aquatiques, et un curage ponctuel à anticiper.



Figure 3. La REUT pour l'irrigation de vergers à Porquerolles (illustration Cahier méthodologique La réutilisation des eaux usées traitées en Occitanie).

2.3 Cas de l'ASA Limagne Noire

Suite à quelques années de sécheresse, les agriculteurs de l'ASA Limagne Noire ont souhaité développer l'irrigation pour sécuriser les contrats de maïs et betterave ainsi que les rendements des autres cultures. L'augmentation des prélèvements dans les cours d'eau alentours semblant difficile, et en l'absence de ressource souterraine suffisamment productive, un projet de REUT a donc vu le jour.

Le projet est le suivant : en fin d'hiver, les eaux de la sucrerie sont épandues sur les terres agricoles plutôt que d'être traitées par la Station de Traitement des Eaux Usées (STEU) de Clermont. Ces épandages rechargent les sols et apportent des matières organiques. Pour réaliser ces épandages, des infrastructures sont nécessaires (station de pompage et réseau de

distribution). Ces mêmes infrastructures seront utilisées pour irriguer en été à partir des eaux de la STEU qui sont alors stockées dans les lagunes de la sucrerie. Le gestionnaire de la STEU est totalement neutre dans le projet ; le débit prélevé pour l'irrigation est inférieur à 10% des rejets de la STEU en été.

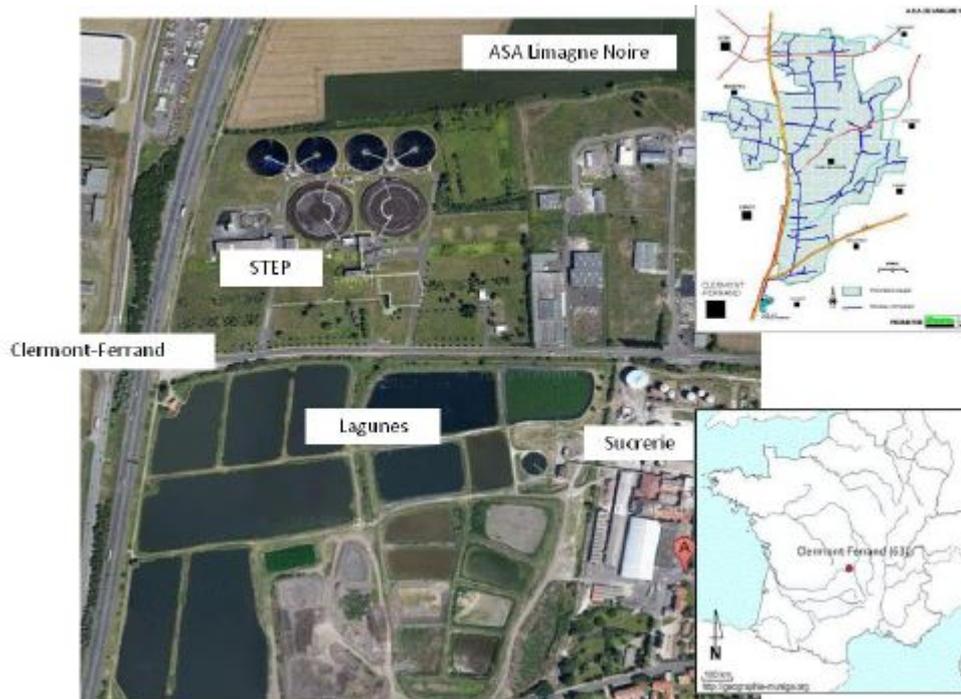


Figure 4. Situation du projet de REUT en ASA Limagne Noire (Source : Rapport ONEMA/IRSTEA Analyses coûts-bénéfices sur la mise en oeuvre de projets de réutilisation des eaux usées traitées)

Le lien entre la sucrerie, la STEU et les agriculteurs est l'ASA de la Limagne Noire, propriétaire des infrastructures (pompage et réseaux). L'ASA compte 50 adhérents, la surface irriguée est de 700 ha et la surface équipée de 1400 ha (la différence entre les deux correspond aux besoins des rotations culturales). L'ASA fonctionnant à l'équilibre budgétaire, elle répartit ses charges sur les agriculteurs. La sucrerie prend en charge une partie des coûts d'entretien et d'énergie, au prorata des volumes épandus dans l'ensemble des volumes transitant dans le réseau (volumes épandus de la sucrerie et prélèvements à la STEU). De 2000 à 2012, les volumes irrigués à partir des eaux traitées par l'ASA ont été en moyenne de 1,1 Mm³/an sur une période de mai à septembre sur 700 ha irrigués. Ils ont atteint 2,4 Mm³ en 2003. La moyenne des volumes épandus sur la même période est de 0,2Mm³. La sucrerie supporte donc 18% des dépenses d'entretien et des dépenses énergétiques (0,2/1,1). Elle prend également en charge les études annuelles d'élaboration du plan d'épandage sur les parcelles agricoles (10 000 €/an). Ces dépenses supportées par la sucrerie sont à comparer aux coûts de traitement de ses eaux par la STEU.

2.4. Le cas de Château-Renault

Château-Renault est une ville de 5 000 habitants située à 30 km au nord de Tours, dans un territoire à la vocation agricole affirmée. La station d'épuration est reconstruite en 2008-2009, sous la maîtrise d'œuvre de Safège Ingénieur - Conseils. Elle est dotée d'une filière de traitement à boues activées à très faible charge. Une lagune de 50 000 m³ assure un traitement tertiaire de finition, avec un temps de séjour de 8 à 10 jours (elle sert aussi de réserve d'eau pour la réutilisation des eaux usées traitées). Deux silos stockent les boues en vue de leur épandage agricole. La station est exploitée par Veolia, la délégation a été renégociée en 2010 pour 10 ans. Deux modes de fonctionnement sont mobilisés pour protéger la Brenne :

- de novembre à avril : rejet total en Brenne, le débit de la rivière suffit pour assurer une dilution ;
- de mai à octobre : réutilisation après traitement et possible rejet en Brenne résiduel limité à 40 m³/h.

Actuellement, la charge reçue par la station n'est que de 5 000 à 6 000 EH et 800 à 1 000 m³/jour, et n'est pas sujette à des variations saisonnières.

En période d'irrigation, les eaux usées traitées sont transportées par canalisation de relèvement jusqu'au bassin-lagune de 50 000 m³ situé sur un coteau à 1,5 km de la station d'épuration. Le bassin d'une profondeur de 5 mètres est pour partie construit en remblai, les matériaux extraits au centre ont été réutilisés pour la digue. L'étanchéité est assurée par une géomembrane et un fossé périphérique draine les eaux en cas de dysfonctionnement du bassin. Le volume utile pour l'irrigation est de 45 200 m³, compte-tenu du volume mort en fond de bassin. De la lagune, les eaux sont pompées et distribuées par un réseau enterré de 3 km circulant vers les exploitations agricoles et équipé d'une quarantaine de bornes hydrantes. La station de pompage, composée de trois pompes dont une de secours, est équipée d'un débitmètre à affichage instantané et d'un compteur totalisateur. Elle met le réseau de distribution en pression. Le système a été mis en service en 2010 après avoir été testé en 2009. L'eau fournie est de qualité B à la sortie de la lagune, suffisante pour l'irrigation de cultures céréalières par aspersion. Veolia assure l'entretien et la maintenance du dispositif et le supervise : suivi du débit d'alimentation, maintien de la pression du réseau, vérification de l'armoire électrique. En 2008-2009, le projet a coûté 2,66 millions d'euros pour la station d'épuration et 1,02 million d'euros pour le dispositif de réutilisation des eaux usées traitées. Les investissements ont été réalisés par la ville, aidée par l'agence de l'eau et le département d'Indre-et-Loire. La figure 6 présente les principaux éléments de la filière.

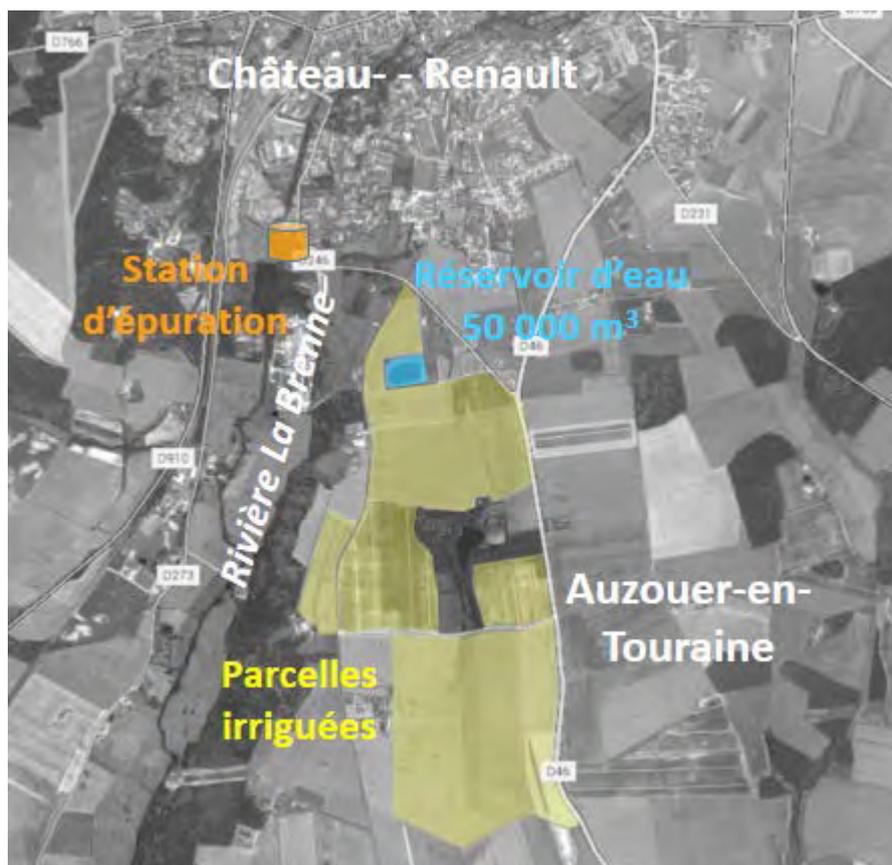


Figure 5. Composantes du projet de Château-Renault (Source : Google Earth, Cerema)

Un engagement par conventions biparties a été convenu. En 2007, une convention a été signée entre la commune et chaque agriculteur pour six ans. Tacitement reconductible, cette convention encadre les conditions d’approvisionnement en eaux usées traitées de mai à octobre pour l’irrigation de cultures céréalières. La commune fournit, gratuitement, de l’ordre de 130 000 m³ sur la saison d’irrigation, soit 700 à 800 m³/jour. Les agriculteurs-irrigants, de leur côté, doivent mettre en place chaque année les cultures en mesure de valoriser les quantités d’eaux traitées allouées. Ils établissent également avec l’ingénieur-conseil un programme d’irrigation. Désormais exigé par la réglementation, il est mis à jour avant le démarrage de chaque saison d’irrigation. Le programme liste les parcelles, les surfaces et les cultures concernées, ainsi que les périodes d’irrigation prévisionnelles. En 2012, par exemple, la superficie irriguée est pratiquement identique à celle de la campagne de 2011, soit 123,5 ha : au cours du printemps 78,8 ha de blé tendre ; en fin de printemps et au cours de l’été 44,7 ha de maïs-grain.

Les deux agriculteurs ont retenu une irrigation par aspersion. Ils ont chacun à leur charge l’acquisition, la mise en place et le déplacement de leur matériel d’irrigation. Chacun possède ainsi son propre canon-enrouleur qu’il connecte aux bornes hydrantes implantées en limite de parcelle. Un compteur d’eau est installé sur chaque arroseur pour la connaissance de leur

consommation et la répartition des frais financiers d’approvisionnement en énergie. Pour le fonctionnement, l’énergie nécessaire à la mise en pression du réseau d’irrigation est à leur charge. L’un d’eux, de l’exploitation agricole à responsabilité limitée (EARL) Gaudino, indique que cela représente un coût de 2 000 à 4 000 € par saison d’irrigation. Ils ont également rajouté à leurs frais 1 km de réseau d’irrigation. L’eau usée traitée est la ressource des agriculteurs : ils la gèrent ensemble, se répartissent les tours d’eau et adaptent leurs pratiques aux conditions climatiques et à la disponibilité de la ressource. L’irrigation est effectuée de nuit jusqu’en matinée.

Pour garantir cet approvisionnement en eau et le respect des limitations de rejets dans la Brenne, deux types de surveillance sont assurés, quantitative et qualitative. Du point de vue quantitatif, le délégataire Veolia assure un suivi en continu des débits entrant et sortant de la lagune et du niveau d’eau et de pression du réseau. Ces informations sont télétransmises au poste de supervision de la station d’épuration. Veolia veille à ce que le niveau d’eau dans la lagune ne descende pas en dessous de 1,50 mètre pour garantir la performance du traitement tertiaire. À cette fin, le technicien échange régulièrement par téléphone avec les deux agriculteurs pour anticiper les besoins en eaux usées traitées selon les conditions climatiques et le stade de développement des cultures. Du point de vue qualitatif, en complément de l’auto-surveillance de la station d’épuration encadrée par la réglementation, l’ingénieur-conseil de Veillaux-Environnement a été missionné par le délégataire pour assurer le suivi de la qualité des eaux distribuées et des sols. Les seuils de qualité et la fréquence d’analyse sont fixés réglementairement.



Figure 6. Le dispositif de production et de distribution d'eaux usées traitées. 1) La station d'épuration. 2) La lagune de traitement tertiaire et de stockage des eaux usées traitées. Arrivée d'eau épurée à l'extrémité opposée du bassin. Le 3 août 2015 : niveau d'eau bas à 1,78 m (4 m en début de saison d'irrigation). 3) Station de pompage au pied de la lagune. 4) Équipement de la station de pompage : 3 pompes pour la mise en pression du réseau irrigation. (Cerema, 2016).



5) Mise en pression du réseau d'irrigation. 6) Débitmètre de suivi instantané et cumulé des eaux consommées pour l'irrigation : prélèvement en cours pour l'irrigation à environ 60 m³/h. 7) Panneau de la station de pompage. 8) Synoptique de suivi du fonctionnement de la lagune de stockage par Veolia : débit en entrée, niveau d'eau dans le bassin, débit pompé, pression dans le réseau.

2.5. Le cas de Noirmoutier

Un autre cas emblématique de la REUT en France est celui de L'île de Noirmoutier, située sur la côte Atlantique. L'économie de l'île dépend à 70% du tourisme, et la population passe de 10 000 habitants à 80 000 en haute saison. D'autres activités maritimes telles que l'ostréiculture, la conchyliculture ou la production de sel sont également caractéristiques de l'île. Noirmoutier est également connue pour sa production de pommes de terre de culture précoce, très appréciée des consommateurs et des restaurateurs gastronomiques. Afin de soutenir cette culture relativement gourmande en eau tout en proposant un accès à l'eau potable de qualité lors des pics d'occupation de l'île, une politique de gestion de la ressource aquifère ambitieuse et novatrice a été mise en place dans les années 1980. Il s'agissait aussi de protéger l'écosystème local, et plus particulièrement les eaux de baignades qui étaient polluées par les rejets de la STEU locale. Il faut souligner que Noirmoutier n'a pas de ressources locales et s'approvisionne donc en eau douce grâce à un réseau de canalisations passant à l'intérieur du pont qui relie l'île au continent, situé à 70 km et qui ne peut pas dépasser un certain débit. En période estivale, ce débit n'était pas suffisant pour soutenir et la consommation humaine directe, et la production agricole.

En raison des pénuries chroniques d'eau et des restrictions croissantes sur le traitement et le rejet des eaux usées, les parties prenantes locales ont donc lancé un projet de réutilisation de l'eau, en créant un consortium tripartite qui rassemble l'opérateur (la SAUR), l'Association syndicale autorisée (ASA) en charge de l'irrigation et la commune. En 2005, un accord définit les responsabilités des différentes parties prenantes :

- Le producteur (la Commune) est propriétaire du système de récupération d'eau, y compris des lagunes, et met l'eau traitée à la disposition des irrigants. Le producteur est également tenu de garantir la qualité du traitement, en étudiant les données fournies par l'opérateur.
- L'utilisateur (l'ASA) possède le système d'irrigation (structure de pompage et réseau d'irrigation), et doit assurer son fonctionnement, sa maintenance et son renouvellement si nécessaire.
- L'opérateur des infrastructures (la SAUR) assure l'analyse de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau récupérée.

Cette démarche collaborative et le potentiel économique que représente l'activité de production de pomme de terre sont les deux facteurs émergents qui ont permis à ce projet de REUT de voir le jour. Actuellement, la production annuelle de pommes de terre est en moyenne de 10 000 tonnes. Or, le manque d'eau recyclée entraînerait une perte de 2 000 tonnes de production de pommes de terre par an et de 4 000 tonnes en cas de sécheresse. Ainsi, la REUT est devenue le principal levier pour le maintien de l'économie agricole locale, qui représente un chiffre d'affaires annuel d'environ 10 millions d'euros. Si l'on se penche sur l'analyse coût/bénéfice pour cette activité agricole, il est possible de conclure que :

- L'économie de coûts est d'environ 50% sur la facture d'eau. Ainsi, l'économie de coûts annuelle moyenne totale est d'environ 225 000 euros/an.
- La REUT a permis de prolonger la production de pommes de terre pendant la période estivale et donc d'augmenter les quantités produites de près de 40%.
- La production répond aux référentiels de commercialisation les plus rigoureux ce qui montre que les labels peuvent être calibrés pour intégrer la REUT. Ils pourraient même mettre en avant le fait que la production a un caractère durable, sans pour autant ternir l'image du produit de luxe.

De plus, sans la REUT, la collectivité aurait dû gérer le rejet continu des eaux usées traitées. Différentes analyses d'impact ont montré la nécessité d'inclure un traitement tertiaire, mais aussi de déplacer le point de rejet loin de la côte. Le tout aurait entraîné des coûts supplémentaires importants, estimés à environ 2 millions d'euros. Notons que le traitement tertiaire sur l'île de Noirmoutier permet de produire des EUT de qualités bactériologiques similaires à celle des eaux de surface. Enfin, les principaux avantages environnementaux sont la préservation des ressources en eau potable à usage domestique, et la réduction de la pollution rejetée dans la mer. Cela permet de réduire notablement les risques d'altération de la qualité de l'eau de mer pour la conchyliculture, la nage, la pêche à pied et la production de sel. Ces externalités positives sont difficiles à chiffrer, mais représentent des avantages comparatifs non-négligeables.

6. Cas concrets de REUT pour l'irrigation agricole en Europe

6.1. Introduction

La situation de la ressource en eau en Europe est complexe, car les ressources et les demandes en eau varient d'un pays et d'une région à l'autre. Un tiers des pays européens ont une disponibilité en eau relativement faible (moins de 5 000 m³/hab/an) et, en 2007, on estimait que la pénurie d'eau touchait au moins 17 % du territoire de l'UE. Plus récemment, l'Agence européenne pour l'environnement a indiqué qu'en 2014, treize districts hydrographiques méditerranéens étaient confrontés à des problèmes de stress hydrique (WEI (Water Exploitation Index) > 20 %), les districts hydrographiques espagnols et portugais, tels que le bassin hydrographique du Segura en Espagne, qui s'étend de Tarragone à Alicante, étant soumis à un stress hydrique grave, avec un WEI > 40 %.

Bien que les pays du sud, tels que l'Espagne et Malte, soient particulièrement touchés, les pays du nord, tels que la Belgique, le Danemark et le Royaume-Uni, font également partie du groupe à faible disponibilité. On prévoit que d'ici 2030, plus de la moitié des bassins fluviaux de l'UE seront touchés par la pénurie d'eau, et cette pression croissante sur les ressources en eau obligera à envisager de nouvelles options d'approvisionnement, telles que la réutilisation de l'eau usée traitée.

Environ 81 % de l'eau douce utilisée en Europe à des fins agricoles, potables et industrielles étant prélevée dans les eaux de surface et les eaux souterraines, des facteurs tels que la croissance démographique et le changement climatique augmentent la pression sur les ressources en eau à travers le continent. L'industrie est le plus grand préleveur d'eau en Europe (55 %), suivie par l'agriculture (24 %), bien que l'on prévoie une forte augmentation de l'utilisation agricole dans les années à venir. L'irrigation des paysages et l'arrosage des terrains de golf, souvent liés au tourisme, peuvent également nécessiter des volumes d'eau importants. De nombreuses utilisations industrielles et d'irrigation pourraient être satisfaites avec de l'eau recyclée, mais moins de 3 % des eaux usées urbaines sont réutilisées dans l'ensemble de l'Europe. L'eau est principalement utilisée pour l'agriculture dans les régions méridionales de l'Espagne (347 millions d'euros par an) et de l'Italie (233 millions d'euros par an).

Bien que l'Europe connaisse une pénurie d'eau croissante, elle ne représente qu'un faible pourcentage du marché mondial de la réutilisation (2,6 millions de m³/jour de capacité totale en 2006 contre 30 millions de m³/jour à l'échelle mondiale) et accuse un retard considérable par rapport aux Amériques et à l'Asie-Pacifique dans la mise en œuvre de solutions de REUT. Une étude du secteur réalisée en 2017 par Water Reuse Europe a permis d'identifier 787 projets de réutilisation répartis dans 16 pays, soit 437 de plus que lors de la précédente étude du secteur de la réutilisation de l'eau usée traitée en Europe réalisée en 2006. En termes de répartition géographique, 250 projets sont situés en Europe du Nord, dont 112, 36 et 28 en France, en Allemagne et aux Pays-Bas respectivement. En revanche, 537 projets ont été recensés en Europe du Sud, dont 361, 99 et 44 en Espagne, en Italie et en Grèce respectivement. Sur les 787 systèmes identifiés, 62 % sont situés dans des pays où l'eau est rare, comme l'Espagne et la Belgique. Ces systèmes sont particulièrement répandus le long des côtes, où les ressources en eau douce sont limitées et affectées par des problèmes environnementaux tels que la sécheresse et les prélèvements excessifs d'eau dus au tourisme et aux activités agricoles. Par exemple, 47 % des projets répertoriés sont situés le long de la côte méditerranéenne, dont plus de 200 sur la côte est de l'Espagne, dans les régions de Murcie, Valence, Tarragone et Barcelone. Il est à noter que 17 % des systèmes se trouvent sur des îles, notamment les îles grecques (16 sites), les îles Canaries (14) en Espagne, Chypre (8) et Noirmoutier ou La Réunion (2) en France.

Les projets identifiés couvrent à la fois les utilisations non potables et les utilisations potables indirectes dans toute la gamme des objectifs de réutilisation possibles, de l'irrigation agricole à l'irrigation paysagère, y compris les terrains de golf, des utilisations industrielles à l'augmentation des ressources d'approvisionnement en eau. Dans l'ensemble, la réutilisation agricole reste l'application de réutilisation de l'eau la plus courante en Europe (39 % des projets), suivie de la réutilisation industrielle (15 %) et de la réutilisation à des fins récréatives (11 %). La majorité des projets classés comme industriels (68 %) sont situés dans le nord de l'Europe.

6.2. Cas de la Grèce

Le tableau 6 présente les principaux projets de réutilisation des eaux usées traitées en Grèce, ainsi que la capacité des stations d'épuration, les zones irriguées et les principales cultures irriguées avec de l'eau recyclée.

Tableau 6. Principaux site de REUT en Grèce (Ilias et al., 2014)

Projet	Région	Capacité (m ³ /jour)	Surface irriguée (ha)	Type de culture
Thessalonique	Macédoine centrale	165 000	2500	riz, la luzerne, le maïs, coton etc.
Héraklion	Crète	9 500	570	raisin et olives
Livadiá	Grèce centrale	3 500		coton, maïs
Amfissa	Grèce centrale	400		oliviers
Nea Kalikratia	Macédoine centrale	800	150	oliviers
Hersonissos	Crète	4 500	270	oliviers
Malia	Crète	2 500	150	
Archanes	Crète	550	33	raisin et oliviers
Kos	Mer Egée	3 500	210	oliviers, citronniers etc.

Par exemple pour le site le plus important de REUT, à Thessalonique, les effluents secondaires de la station d'épuration (165 000 m³/jour) sont utilisés pour l'irrigation agricole de la zone Halastra-Kalohori. Environ 2 500 ha de cultures de printemps sont irrigués avec un mélange d'eau douce de la rivière Axios et d'eaux usées traitées (rapport 1:5) dans la région de Halastra-Kalohori (cf figure 7). Les valeurs de MES, DCO et DBO de l'eau mélangée étaient inférieures à 12, 18 et 2 mg/L. Ces valeurs sont très inférieures aux normes jugées acceptables par la commission européenne et bien inférieures aux normes jugées satisfaisantes par plusieurs réglementations et lignes directrices dans le monde, ainsi qu'à celles considérées comme sûres par les réglementations spécifiques à cette pratique. L'eau est ensuite utilisée pour irriguer environ 2 500 ha de riz, de maïs, de luzerne, de betterave sucrière et de coton. Les besoins en eau varient de 60 à 111 m³/ha/jour pour le coton et le riz. Les cultures irriguées avec de l'eau recyclée sont le riz, la luzerne, le maïs et le coton (Figure 8).



Figure 7. Canal d'irrigation et point de mélange des effluents de la station d'épuration de Thessalonique avec l'eau de la rivière Axios (Ilias et al., 2014).



Figure 8. Champs expérimentaux irrigués avec des eaux usées traitées à Thessalonique : à gauche du maïs et à droite du riz (Ilias et al., 2014).

6.3. Cas du Portugal

Au Portugal, le niveau de réutilisation des eaux usées traitées a connu une croissance significative au cours des dernières années, démontrant l'engagement du pays envers une gestion durable des ressources hydriques. Les avancées technologiques dans les systèmes de traitement des eaux ont permis d'obtenir des eaux usées traitées de qualité élevée, répondant aux normes environnementales et sanitaires rigoureuses. Cette eau traitée est de plus en plus utilisée dans divers secteurs, tels que l'agriculture, l'irrigation des espaces verts et même dans certaines applications industrielles. Cette démarche de réutilisation des eaux usées traitées contribue non seulement à préserver les ressources en eau douce, mais également à atténuer la pression exercée sur les sources naturelles. Le Portugal continue ainsi à jouer un rôle exemplaire dans la promotion de pratiques durables en matière de gestion de l'eau, reflétant sa volonté de garantir une utilisation responsable et efficace de cette ressource essentielle.

Concernant l'irrigation agricole, nous pouvons citer l'exemple de l'irrigation d'agrumes dans la région de l'Algarve. Pour les arbres fruitiers, tels que les agrumes, qui ne sont pas en contact direct avec l'eau d'irrigation, les risques de transmission peuvent être plus faibles que pour les légumes, qui poussent en contact direct avec le sol et l'eau d'irrigation. Les agrumes sont

originaires d'Asie du Sud-Est, mais sont présents dans le bassin méditerranéen depuis des siècles et font partie du régime alimentaire méditerranéen. Située à l'extrême sud du Portugal, la région de l'Algarve a un climat méditerranéen chaud et estival, selon la classification climatique de Köppen, et présente une zone côtière semi-aride. Les agrumes sont la principale culture de l'Algarve, avec une production de 368 000 t en 2020, dont 316 000 t d'oranges. Sur la zone côtière de la région de l'Algarve, où l'agriculture est le plus grand consommateur d'eau, et la pénurie d'eau est sévère pendant la plupart des mois de l'année. La station d'épuration de Faro, la capitale de l'Algarve a été construite en 1989 et améliorée en 2009 pour desservir entre 34 100 et 45 500 équivalents-habitants, en fonction des fluctuations de la population, principalement dues à la saisonnalité du tourisme (figure 9). Cette STEU est gérée par la responsable du traitement des eaux usées urbaines, Águas do Algarve, S.A. (AdA) du groupe Águas de Portugal, et se trouve à l'intérieur du parc naturel de Ria Formosa, une lagune côtière peu profonde où le tourisme et la récolte de coquillages sont des activités importantes pour l'économie régionale et nationale. La station d'épuration est dotée d'un traitement préliminaire avec un système de dégrillage automatique, suivi de l'élimination des huiles et des graisses par séparation mécanique. Il existe deux lignes de traitement secondaire biologique par procédé à boues activées, chacune d'entre elles étant composée d'un sélecteur anoxique, d'un réacteur aérobie/anoxique (type carrousel) et d'un décanteur circulaire. La désinfection finale est effectuée après la clarification à l'aide d'un système UV et l'effluent traité est déversé dans un canal de la Ria Formosa. Le système d'irrigation comprend deux tuyaux le long de chaque rangée d'arbres, avec un espacement entre les goutteurs de 0,75 m et un débit de 2 L/h (Figure 10).



Figure 9. Localisation de la STEU (WWTP sur l'image) et des cultures d'agrumes à Faro (Moreira da Silva et al.).

Le cas de Faro a montré que l'effluent traité présentait une teneur en matière organique plus élevée que l'eau souterraine utilisée auparavant conduisant à un effet positif sur le carbone organique du sol et sur sa rétention d'eau. Concernant l'azote et le phosphore, le rejet de l'effluent traité dans le Ria Formosa peut provoquer des phénomènes d'eutrophisation alors qu'utilisé en irrigation, il contribue à la ferti-irrigation du système et conduit à une diminution de l'utilisation d'engrais de synthèse. Avec le système d'irrigation au goutte-à-goutte, le risque de contamination est minime car l'eau d'irrigation n'entre pas en contact avec la partie aérienne de la plante.



Figure 10. Irrigation d'oranger par des eaux usées traitées, les tubes de goutte à goutte sont visibles, un de chaque côté des rangées d'arbres (Moreira da Silva et al.).

6.4. Le cas de l'Espagne

Les ressources naturelles en eau de l'Espagne sont estimées à environ 100 000 hm³/an, 74% correspondant aux eaux de surface et 26% aux eaux souterraines, tandis que la demande actuelle est estimée à 35 310 hm³/an (Ministère espagnol de l'agriculture, de la pêche et de l'alimentation, 2008). Malgré la réglementation existante, la répartition irrégulière des ressources en eau entre les régions provoque de graves déficit en eau pour une partie importante du territoire espagnol. Néanmoins, seul le bassin du du Segura présente un déficit structurel, car il est le seul dont les ressources potentielles ne peuvent pas couvrir ses demandes en eau. La demande actuelle en eau en Espagne est répartie entre différents secteurs (urbain, agricole, industriel, etc.), la demande agricole étant la plus importante (environ 24 094 hm³/an).

Le décret-loi royal 11/95 du plan national d'assainissement et de traitement des eaux (1995), élaboré dans le cadre de la mise en œuvre de la directive européenne 91/271/CEE, a été le principal outil de planification pour le développement en Espagne des différentes infrastructures concernant l'assainissement des eaux usées municipales. En 1996, le ministère de l'Environnement a élaboré son premier projet de réglementation sur la réutilisation des eaux usées traitées. Après des années de débats au sein de diverses commissions et forums, ce projet est devenu le décret-loi royal 1620/2007 sur la réutilisation des eaux traitées (2007), qui établit le régime juridique de la REUT.

Les principaux projets de récupération des eaux usées en Espagne sont concentrés sur la côte méditerranéenne et les îles. Valence et Murcie réutilisent 57% de l'ensemble des eaux usées traitées en Espagne, et les îles (Canaries et Baléares) réutilisent 23% de la quantité totale réutilisée au niveau national. D'autres projets se trouvent dans le centre et le nord de l'Espagne, par exemple à Madrid et à Vitoria, avec respectivement 5 hm³/an et 11,5 hm³/an (Pedrero et al.). Le bassin du Segura (Murcie) est le seul bassin espagnol dont les ressources naturelles en eau ne peuvent couvrir les besoins en eau. En Murcie, la réutilisation des eaux usées municipales traitées dans l'agriculture est particulièrement importante. Dans cette région, la surface des terres irriguées avec des eaux usées traitées est de 1600 ha.

A Alicante (région de Valence), la station de traitement des eaux usées Rincón de León est équipée d'une filière haute performance qui permet de dessaler les eaux usées (filière équipée de membranes d'osmose inverse) (figure 11). La station d'épuration de Rincón de León est l'une des trois installations de traitement fonctionnant dans la ville d'Alicante et dans les municipalités voisines. L'usine est conçue pour traiter 75 000 m³/jour. L'exploitant est EMARASA. Le débit journalier est d'environ 55 000 m³/jr. Les effluents de la STEU de Rincón de León sont utilisés pour des usages urbains, agricoles et récréatifs. Les principaux utilisateurs des effluents de la station d'épuration de Rincón de León sont l'Association d'irrigation d'Alicante (AGRICOOOP) et l'Association d'irrigation du Haut Vinalopó. Une partie de l'eau recyclée irrigue également la bande médiane d'une autoroute et un parc public (1 000 m³/jr Parc de la palmeraie d'Alicante).

AGRICOOOP a été fondée en tant qu'association d'irrigation au début de l'année 1996. Cette association utilise les eaux usées traitées pour l'irrigation agricole ainsi que pour l'arrosage d'un terrain de golf. La superficie totale des terres irriguées est de 1 104 ha. Le système d'irrigation qui prévaut aujourd'hui est l'irrigation au goutte-à-goutte. Les principales cultures sont les amandes (530 ha), les agrumes (94 ha), les tomates (450 ha), les grenadiers et les oliviers (30 ha). Le terrain de golf d'El Plantío s'étend sur 800 000 m². Les champs sont irrigués par aspersion, tandis que les arbres sont irrigués au goutte-à-goutte. ARALVI s'étend sur plusieurs municipalités (San Vicente del Raspeig, Mutxamel, Alcoraya, Rebolledo, Bacarot) et arrose également un terrain de golf. La zone agricole irriguée s'étend sur 2 040 ha. Les principales cultures sont les amandes (70 %), le raisin (8 %), les nectarines (5 %), les oranges (2 %) et les olives (1 %). Les 15 % restants ne sont pas cultivés actuellement. Le sol a une faible teneur en matière organique, ce qui facilite le contrôle du risque de salinisation et d'alcalinisation. Le terrain de golf d'Alenda a une superficie totale de 1 331 617 m². En été, il nécessite 1 500 m³/jr d'eau.

Un accord sur les coûts a été établi entre EPSAR (agence publique d'assainissement de la région de Valence) et les districts d'irrigation. L'accord précise que l'eau traitée par ultrafiltration (UF) et désinfection par rayons UV est fournie gratuitement aux districts d'irrigation. Cependant, l'eau recyclée produite par osmose inverse a un coût opérationnel de 0,016 euro/m³, que les districts d'irrigation paient directement à EPSAR. Ces fonds sont ensuite transférés par EPSAR à AMAEM, l'opérateur de l'usine de recyclage de l'eau, pour couvrir les coûts de traitement supplémentaires. Enfin, les districts d'irrigation couvrent les

coûts d'acheminement et de distribution de l'eau recyclée depuis l'usine de recyclage jusqu'à leurs champs d'irrigation.



Figure 11. Station de traitement des eaux usées de Rincón de León (source : SUWANU).

7. La REUT pour l'irrigation agricole en Australie

7.1. Introduction

En Australie, de nombreuses villes réutilisent leurs eaux usées pour l'agriculture. Cependant, beaucoup d'eaux usées sont encore déversées dans les rivières ou l'océan, en particulier dans les grandes villes côtières. De plus, l'expansion de l'agriculture est souvent limitée par un approvisionnement en eau inadéquat. En outre, l'augmentation de la population et les conflits d'usages de l'eau avec d'autres activités économiques représentent des menaces importantes pour la dépendance à l'égard des pratiques agricoles actuelles.

La réutilisation des eaux usées pour l'agriculture offre une solution pour soutenir et développer les productions agricoles. Actuellement, seuls 3 % des eaux d'irrigation proviennent d'eaux recyclées, et il s'agit principalement de petits projets locaux (National Water Grid Authority, 2023). Les projets de réutilisation à grande échelle, tels que le projet Western Corridor dans le Queensland, sont beaucoup plus efficaces et financièrement viables et méritent d'être explorés.

En l'absence d'un cadre ou d'un organisme réglementaire global pour l'utilisation de l'eau recyclée en Australie, chaque État et territoire adopte son propre cadre pour réglementer

l'utilisation des eaux usées recyclées. De nombreux États et territoires se réfèrent aux Australian Guidelines for Water Recycling 2006 du gouvernement fédéral comme base ou guide scientifique pour leurs directives respectives, mais seuls le New South Wales (NSW) et le South Australia (SA) adoptent les directives nationales en tant que législation principale sur la réutilisation des eaux usées traitées.

Les directives des États et territoires varient souvent en ce qui concerne les processus de demande et d'autres exigences telles que la documentation requise pour l'établissement de programmes de REUT. Certaines similitudes peuvent être trouvées concernant les seuils de qualité de l'eau et les usages ultérieurs de l'eau recyclée.

Un bilan de la REUT en Australie a été entrepris en 2003-2004 sous l'égide de l'Australian Academy of Technological Sciences and Engineering, l'une des quatre académies savantes d'Australie, sur la base d'une évaluation des données de REUT alors disponibles pour 2001-2002. L'étude a permis de constater que plus de 500 stations d'épuration australiennes recyclaient tout ou partie de leurs effluents. Une partie de cette eau était utilisée pour le fonctionnement des stations elles-mêmes, mais elle était également largement utilisée pour l'horticulture d'agrément, les jardins publics, les terrains de golf, les cimetières ainsi que pour l'agriculture et la sylviculture. Toutefois, le recyclage de l'eau était plus important dans les zones rurales et régionales, et provenait souvent de stations d'épuration relativement simples ne disposant que d'un traitement secondaire. Toute eau recyclée utilisée dans les espaces publics urbains était appliquée uniquement pendant la nuit, lorsque l'accès au public était fermé, afin de minimiser le contact humain avec l'eau pour des raisons de santé. L'utilisation était plus importante dans les villes de l'intérieur que dans les villes côtières, dont beaucoup continuent à rejeter les effluents traités dans l'océan. Cette situation est bien illustrée par les chiffres de la Nouvelle-Galles du Sud rurale, qui montrent que 50 % des STEU situées à l'ouest de la Great Dividing Range réutilisent l'eau, 20 % des STEU situées à l'intérieur des terres à l'est de la Great Dividing Range, mais seulement 2,5 % des STEU côtières, y compris celles de Sydney (Radcliffe, 2022).

La sécheresse du millénaire qui a sévi de 2001 à 2009, a donné une impulsion majeure à la REUT. Il s'agissait de reconnaître la nécessité de préserver plus efficacement les réserves d'eau potable en utilisant l'eau recyclée pour des utilisations finales pour lesquelles l'eau potable n'était pas nécessaire. Des systèmes de double réseau (eau potable et eau recyclée) ont été installés dans certains nouveaux lotissements de la capitale, l'eau recyclée étant distribuée dans des tuyaux violets destinés à l'usage du jardin, à la chasse d'eau des toilettes et au lavage des voitures. Le concept a été lancé par la station d'épuration installée dans le cadre du développement de la nouvelle banlieue de Rouse Hill, à l'ouest de Sydney. Cela a permis d'éviter les rejets potentiellement dommageables pour l'environnement de la station d'épuration dans la crique adjacente de Second Pond. En 1993, la NSW, par l'intermédiaire de son Comité de coordination de l'eau recyclée, a élaboré les directives pour l'utilisation urbaine et résidentielle de l'eau recyclée (aujourd'hui remplacées). Des programmes similaires ont été mis en place à Sydney, Melbourne et Adélaïde. L'industrie et l'agriculture utilisent de plus en plus d'eau recyclée. L'avancée de la sécheresse a également motivé l'installation d'usines de

dessalement par osmose inverse à Sydney, Melbourne, Gold Coast, Adélaïde et Perth, bien que la plupart d'entre elles, à l'exception de celles de Perth, aient été peu utilisées au départ, car elles ont été achevées vers la fin de la sécheresse. De même, trois stations d'épuration de Brisbane ont été construites avec des technologies de microfiltration, d'osmose inverse et d'oxydation avancée pour produire de l'eau recyclée purifiée destinée à la consommation, dans le cadre du programme de recyclage de l'eau du corridor occidental, l'eau devant être pompée à travers 200 km de canalisations vers le principal réservoir d'eau du sud-est du Queensland, le barrage de Wivenhoe, au nord-ouest de Brisbane. Après des tests de validation approfondis, le programme n'a été utilisé que pour l'eau de refroidissement des centrales électriques, en raison de la fin de la sécheresse et de la réapparition ultérieure de préoccupations politiques liées à la mauvaise acceptation par les communautés du mélange de l'eau recyclée avec l'eau des réservoirs de captage.

Le retour de précipitations plus importantes après la fin de la sécheresse du millénaire a conduit les politiques à se détourner de l'eau pour s'intéresser à d'autres sujets. L'augmentation des coûts d'investissement et d'exploitation des installations de double réseau a réduit l'expansion de ces installations. Certaines, dont celle exploitée par le conseil municipal de la Gold Coast à Pimpama-Coomera, ont été fermées en raison de la faible demande, des coûts de surveillance élevés et des multiples incidents de connexion croisée avec des canalisations d'eau potable. Dans la capitale de l'Australie occidentale, Perth, qui connaît depuis 1975 une tendance à long terme à la baisse des captages d'eau attribuable à une manifestation précoce du changement climatique, deux usines de dessalement totalisant 145 hm³ /an et un programme de réalimentation en eau souterraine recyclée de 28 hm³ /an fonctionnent à plein régime avec une capacité représentant environ 50 % de la consommation annuelle de Perth, qui est d'environ 270 hm³. La disponibilité et l'adoption de l'eau recyclée pour l'agriculture ont généralement impliqué des STEU de capitales ou de grandes villes régionales traitant principalement les eaux usées domestiques et comprenant des contrôles d'afflux de polluants industriels (déchets commerciaux) bien gérés pour produire de grands volumes d'eau grâce à un traitement tertiaire convenant à l'utilisation agricole commerciale. L'eau recyclée contient souvent des nutriments bénéfiques, mais les problèmes de salinité, de la présence de sodium, de contaminants et de nutriments doivent être gérés en tenant compte de la tolérance de la culture et de la méthode d'irrigation.

La sécheresse qui a sévi sur la côte est de l'Australie de 2018 à 2020 a suscité un regain d'intérêt pour la REUT. Une National Water Grid Authority a été créée en 2019 pour développer des réseaux de stockage et de distribution d'eau spécifiques à chaque région, qui contribueront à accroître la production agricole, à renforcer la sécurité de l'eau et à développer la résilience. L'Autorité vise à débloquer de nouvelles zones et opportunités pour l'agriculture, notamment par le biais de nouveaux projets d'eau recyclée, en soutenant les plans avancés par la National Farmers Federation (Fédération nationale des agriculteurs) pour faire du secteur agricole une industrie de 100 milliards de dollars australiens d'ici à 2030.

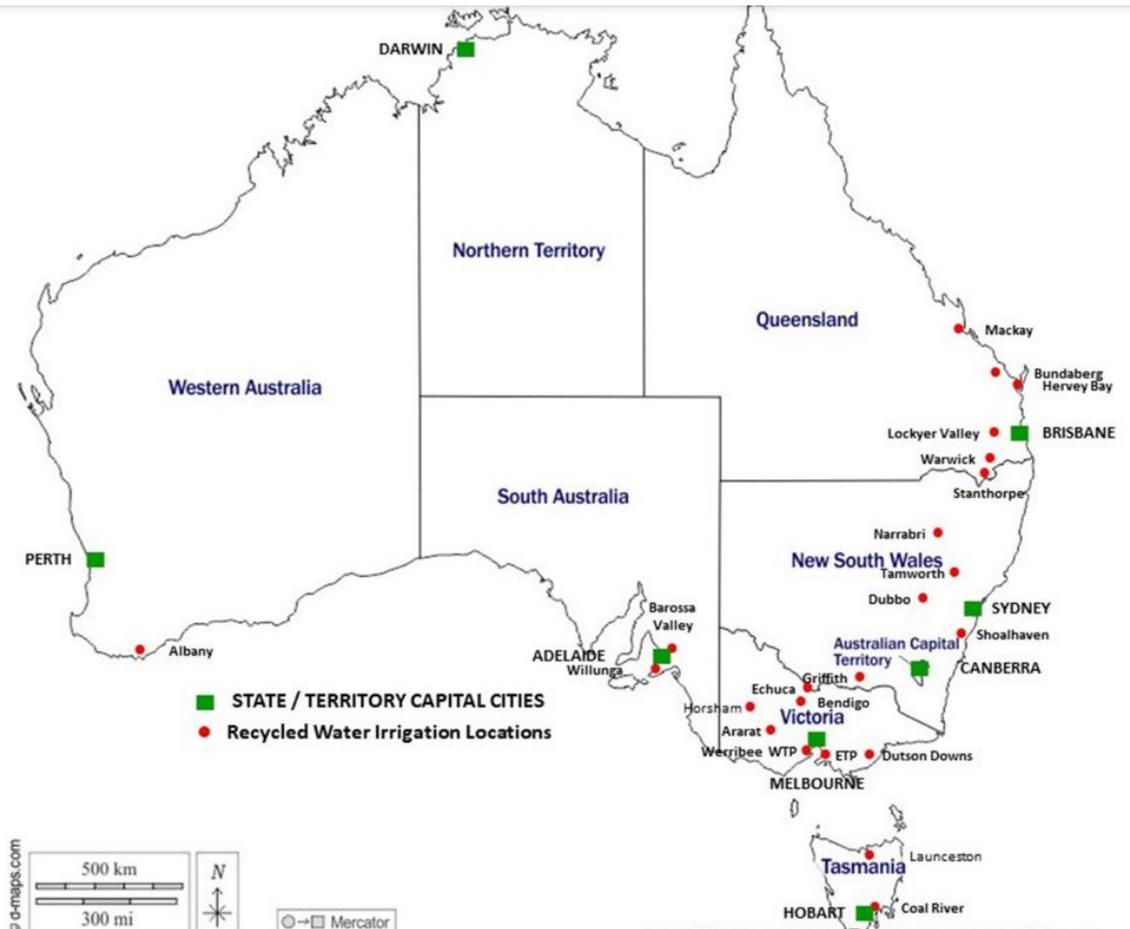


Figure 12. Les capitales des États et territoires australiens (carrés verts), ainsi que les villes régionales qui ont adopté l'eau recyclée produite par les stations d'épuration locales pour l'irrigation agricole (ronds rouges) (Source : Radcliffe, 2022).

Les principales villes dont l'irrigation agricole avec de l'eau recyclée sont présentées sur la figure 12. Adélaïde - population 1,376 millions d'habitants, et Melbourne - population 5,159 millions d'habitants ont adopté la REUT pour l'agriculture dans les zones proches de leurs principales stations d'épuration. Ces deux villes sont entourées d'un arrière-pays de terres agricoles de grande valeur adaptées à la production horticole, mais ces activités ont été progressivement déplacées plus loin, en particulier à Melbourne, en réponse à la demande accrue de terres de lotissement, ce qui a entraîné la nécessité d'un nouveau réseau d'irrigation pour soutenir la relocalisation. Sydney dispose de peu de terres libres adjacentes à la ville qui se prêtent à un développement important de l'agriculture. La principale zone de culture maraîchère et horticole à forte valeur ajoutée de la région côtière de Brisbane se trouve à l'ouest, dans la vallée de Lockyer, où il existe à la fois une demande d'eau d'irrigation supplémentaire et des terres fertiles inutilisées. Cependant, le pompage de l'eau recyclée impliquerait une distance de 80 km et une élévation de 100 m jusqu'aux zones d'irrigation. L'eau recyclée à Perth est principalement utilisée pour la recharge des aquifères, notamment

par la station d'épuration de Beenyup qui recharge 28 hm³ d'eau recyclée par an dans les aquifères de Leederville et de Yarragadee, qui constituent l'une des principales sources d'eau potable de Perth.

7.2. Le cas de Melbourne

La capitale de l'État de Victoria est Melbourne, située dans la baie de Port Phillip. Une étude environnementale a établi que la baie était remarquablement résistante aux polluants, principalement parce que les substances toxiques qui y pénètrent (métaux lourds, pesticides et produits pétrochimiques) sont en grande partie immobilisées dans les sédiments du fond marin. L'azote se renouvelle rapidement par minéralisation et nitrification dans les micro-organismes aquatiques et les organismes des fonds marins, ce qui conduit à une dénitrification importante plutôt qu'à une eutrophisation. Cependant, la capacité est limitée et a conduit à une politique de l'État visant à réduire la charge d'azote dans la baie provenant de sources diffuses (c'est-à-dire les eaux pluviales) et ponctuelles (stations d'épuration des eaux usées). La plupart des eaux usées de Melbourne sont traitées par son fournisseur d'eau, Melbourne Water Corporation, dans deux stations d'épuration, la Western Treatment Plant (WTP) à Werribee et la Eastern Treatment Plant (ETP) à Bangholme, qui déversent toutes deux leurs effluents dans la mer. Elles ont été modernisées ces dernières années afin de servir à l'irrigation des terres agricoles (figure 13). La station de Werribee a utilisé 13 hm³ d'eau recyclée de classe C en 2019-20 pour sa propre entreprise d'irrigation agricole (pâturages pour bovins et ovins), l'eau recyclée ayant remplacé l'effluent traité primaire utilisé sur les prairies avant 2006 où le processus d'irrigation par inondation fournissait un traitement secondaire de l'effluent. Les petits exploitants agricoles voisins ont reçu, par l'intermédiaire de Southern Rural Water, 4 hm³ d'eau de classe C pour compléter les prélèvements pour irrigation provenant de la rivière Werribee adjacente, en état de stress hydrique.

En 2005, pendant la sécheresse du millénaire, la chloration et la désinfection par UV ont été introduites pour fournir jusqu'à 8,5 hm³ par an d'eau recyclée de classe A aux cultivateurs, qui ont pu interrompre leurs prélèvements de la rivière Werribee, avec une eau recyclée plus salée pour les laitues, les brocolis, les choux et de nombreux autres légumes destinés à la consommation locale et à l'exportation. Plus de 20 millions de dollars australiens ont été investis dans un traitement supplémentaire de l'eau à la station d'épuration de Melbourne Water, avec une canalisation de raccordement au district d'irrigation de Werribee. Cependant, l'eau recyclée provenant de la station d'épuration de l'ouest a conservé une teneur élevée en solides dissous totaux (TDS) en raison de la part d'eaux usées industrielles ainsi que de l'infiltration d'eaux souterraines salines. La salinité de l'eau recyclée pourrait avoir un effet négatif sur la croissance des salades sensibles au sel, et des négociations ont été entamées (mais n'ont jamais abouti) pour que Melbourne Water traite les effluents avec la technologie d'osmose inverse afin de réduire leur concentration en sel. Il semble que les problèmes de salinité les plus aigus se soient produits pendant la sécheresse du millénaire, lorsque les

restrictions de l'utilisation de l'eau urbaine ont encore augmenté la concentration de l'effluent brut entrant dans la station d'épuration. Southern Rural Water fournit désormais des données mensuelles sur la salinité pour les utilisateurs d'eau recyclée. En 2020, l'eau présentait une moyenne de 1700 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Les prix de l'eau recyclée en 2020-21 ont été fixés pour un volume sous contrat à 0,36 AUD\$/ m^3 et pour l'eau sans contrat à 0,69 AUD\$/ m^3 .

L'ETP de Melbourne Water, qui traite 0,330 hm^3 /jour, a été modernisée en 2014, suite à des pressions réglementaires, en utilisant l'ozonation et la filtration biologique sur charbon actif pour produire de l'eau de classe A pour l'utilisation agricole dans l'Eastern Irrigation Scheme et pour le rejet dans l'océan. L'Eastern Irrigation Scheme est détenu et exploité contractuellement pendant 25 ans par TopAq, une filiale à 100 % de Trility Corporation, elle-même détenue à 100 % par le Beijing Enterprises Water Group (Trility, 2021b). Le système fournit 5 hm^3 /an d'eau recyclée aux maraîchers de la périphérie périurbaine de Melbourne, qui produisent du céleri, des poireaux, des brocolis et de la laitue, ainsi qu'une large gamme de légumes en grappes, notamment des oignons de printemps, du persil, des carottes hollandaises et des radis. Les niveaux de salinité sont deux fois moins élevés que ceux de l'eau recyclée provenant de la station d'épuration. Depuis juillet 2018, le rejet restant (par temps sec) déversé dans l'océan via un pipeline de 56 km jusqu'à Boags Rocks est d'environ 100 hm^3 /an. Comme il s'agit d'eau de classe A, ce volume peut être détourné pour l'irrigation des cultures adjacentes à l'oléoduc.

Les trois compagnies de distribution d'eau de Melbourne (City West Water, Yarra Valley Water et South East Water) sont approvisionnées en eau par la Melbourne Water Corporation. Cependant, elles exploitent également leurs propres petites stations d'épuration, dont certaines produisent de l'eau recyclée pour les équipements publics de banlieue ou pour les systèmes de troisième conduite dans les nouveaux lotissements. City West Water a fusionné le 1er juillet 2021 avec la Western Region Water Corporation, de plus en plus périurbaine, pour former Greater Western Water. Le prédécesseur, Western Water, desservait déjà 77 000 propriétés réparties sur 3 000 km^2 au nord-ouest de Melbourne, avec sept usines d'eau recyclée et quatre réservoirs d'hiver. Une grande partie de l'eau recyclée est utilisée dans les systèmes domestiques à tuyaux souples, mais 0,273 hm^3 a été fourni pour l'irrigation agricole en 2019-20. Western Water, en plus d'exploiter ses propres fermes, développe un système d'irrigation agricole de 116 millions de dollars australiens pour rendre l'eau recyclée de classe C disponible sur 4500 ha de fermes actuellement arides, à 15 km au sud de Bacchus Marsh. Le gouvernement du Commonwealth contribue à hauteur de 48 millions de dollars australiens. Avec 59 km de canalisations, le réseau connecté comprendra un total de 3,3 hm^3 de stockage, avec 1,4 hm^3 d'eau recyclée disponible en 2022. Cette quantité augmentera progressivement pour atteindre 19 hm^3 /an en 2050, en raison de l'augmentation prévue de la population de la banlieue (450 000 personnes). Pour protéger les sols et les eaux souterraines, les utilisateurs potentiels doivent préparer un plan de gestion des pratiques d'irrigation à partir d'eau recyclée, qui sera soumis à l'approbation de l'autorité de protection de l'environnement du Victoria avant que l'accès ne soit autorisé.



Figure 13. Canal transportant l'eau recyclée issue de Western Water (Source : Melbourne Water).

Conclusion

La réutilisation des eaux usées traitées représente une solution novatrice pour la gestion durable des ressources en eau. En intégrant cette approche dans les politiques de gestion de l'eau, les gouvernements, les entreprises et les communautés peuvent contribuer de manière significative à la préservation de l'environnement et à la sécurité hydrique à long terme.

La REUT pour l'irrigation agricole en Europe représente une pratique en croissance, motivée par la nécessité de gérer efficacement les ressources hydriques et de répondre aux défis posés par le changement climatique. Voici une synthèse des principaux points liés à cette pratique :

- L'Europe est confrontée à des pressions croissantes sur ses ressources en eau en raison de la croissance démographique, de l'urbanisation et des variations climatiques. La réutilisation des eaux usées traitées offre une solution durable pour répondre à la demande croissante en eau dans le secteur agricole.

- La mise en œuvre de la réutilisation des eaux usées traitées est encadrée par des normes et des réglementations strictes pour garantir la sécurité sanitaire et environnementale. Les normes de qualité de l'eau destinée à l'irrigation sont définies pour minimiser les risques pour la santé humaine et l'environnement.

- Les technologies de traitement des eaux usées ont considérablement évolué, permettant une purification efficace des eaux usées pour les rendre aptes à l'irrigation agricole. Les procédés courants incluent la filtration, la désinfection et l'élimination des contaminants spécifiques tels que les métaux lourds et les composés organiques.

- La REUT pour l'irrigation agricole peut offrir des avantages économiques, réduisant la pression sur les ressources en eau douce et fournissant une source d'eau alternative pour l'agriculture, souvent confrontée à des périodes de sécheresse.
- Malgré ses avantages, la réutilisation des eaux usées traitées soulève des préoccupations liées à la perception publique, à la sécurité sanitaire et à la durabilité environnementale. La sensibilisation du public, la gestion des risques microbiologiques et la surveillance continue sont essentielles pour garantir le succès de cette pratique.
- De nombreux pays européens ont mis en œuvre des projets pilotes et des initiatives visant à promouvoir la réutilisation des eaux usées traitées. Ces projets servent de modèles pour évaluer l'efficacité, les coûts et les avantages environnementaux de cette approche.

En conclusion, la réutilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation agricole en Europe émerge comme une stratégie viable pour répondre aux défis liés à la disponibilité des ressources en eau. Son adoption généralisée dépendra de la mise en place de réglementations efficaces, de la sensibilisation du public et de l'investissement dans des technologies de traitement avancées.

Bibliographie

Analyses coûts-bénéfices sur la mise en oeuvre de projets de réutilisation des eaux usées traitées (REUSE), ONEMA/IRSTEA, 2014.

Ben Mordechay et al., Pharmaceuticals in edible crops irrigated with reclaimed wastewater: Evidence from a large survey in Israel. *Journal of Hazardous Materials* 416, 2021, 126184.

Cahier Méthodologique, La Réutilisation des eaux usées traitées en Occitanie, 2023.

Illias et al., Wastewater Recycling in Greece: The Case of Thessaloniki, *Sustainability* 2014, 6, 2876-2892; doi:10.3390/su6052876.

Jiménez, B., and T. Asano. 2008. Water reclamation and reuse around the world. In B. Jimenez and T. Asano, eds., *Water Reuse: An International Survey of Current Practice, Issues and Needs*. London: IWA Publishing, pp. 3-26.

L'économie circulaire dans le petit cycle de l'eau : la réutilisation des eaux usées traitées, Institut National de l'Economie Circulaire, 2018.

Melgarejo et al., A case study of urban wastewater reclamation in Spain: comparison of water quality produced by using alternative processes and related costs, *Journal of Water Reuse and Desalination*, 06.1, 2016.

Mendret, J. Réutilisation des eaux usées : quels sont les pays les plus en pointe ? *The Conversation* 2019.

Mendret J. Manque d'eau : comment la réutilisation des eaux usées est devenue une priorité, The Conversation 2023.

National Water Grid Authority -National Review of Wastewater Reuse Opportunities for Agriculture Project Findings Report, Australian Government, 2023.

Pedrero et al., Use of treated municipal wastewater in irrigated agriculture—Review of some practices in Spain and Greece, Agricultural Water Management 97, 2010, 1233–1241.

Radcliffe, Current status of recycled water for agricultural irrigation in Australia, potential opportunities and areas of emerging concern, Science of the Total Environment 807 (2022) 151676.

Réutiliser les eaux usées traitées en agriculture pour préserver le milieu récepteur, l'exemple de Château-Renault, ONEMA, 2016