

La réutilisation des eaux usées traitées (REUT).

Eléments de méthodologie pour l’instruction de projets.

1. Contexte	3
11. L'AFD et la réutilisation des eaux usées traitées.....	3
12. Enjeux et pratiques des projets de réutilisation.....	3
2. Diversité des projets évalués.....	4
3. Les enjeux des projets de réutilisation des eaux usées traitées.....	7
31. Motivations et impacts.....	7
32. L'instruction des projets	7
4. Mode opératoire des projets de réutilisation	9
5. Les aspects sanitaires	10
7. Les indicateurs économiques et financiers.....	13
8. Exemples de modes opératoires de projets de réutilisation instruits par l'AFD.....	14
81. Etude économique et financière, d'organisation et de marché	14
82. Financement des stations d'épuration et des traitements nécessaires à la réutilisation	14
83. Approche globale des usages industriels de l'eau.....	15
9. En conclusion	15
Annexes.....	17
Annexe 1 : Modalités de financement des expériences évaluées	17
Annexe 2 : Indicateurs financiers	18
Annexe 3 : Indicateurs économiques.....	19
Annexe 4 : Les étapes d'instruction d'un projet de réutilisation des eaux usées traitées	20
Annexe 5 : Recommandations OMS.....	21
Irrigation par les eaux usées traitées.....	21
Non restrictives	21
Restrictives.....	21
Valeurs seuils.....	21
Synthèse des niveaux de surveillance du traitement des eaux usées par le nombre de Coli thermo résistants présent dans ces eaux après traitement.....	22
Réduction des pathogènes.....	23
Réduction des pathogènes atteints par divers traitements.....	23
Réduction des pathogènes atteignable par diverses mesures de protection :	24
Annexe 6 : France - Irrigation de cultures ou d'espaces verts par des eaux traitées urbaines	25
Niveau de qualité sanitaire des eaux usées traitées.....	25
Contraintes d'usages.....	25
Annexe 7 : Eléments de coûts de traitement des eaux usées.....	25
Valeurs indicatives minimales et maximales de divers types de traitement des eaux usées	25
Coûts de traitements : Valeurs moyennes relevées par l'OMS.....	25
Annexe 8 : Eléments de l'analyse des impacts économiques.....	25

1. Contexte

11. L'AFD et la réutilisation des eaux usées traitées

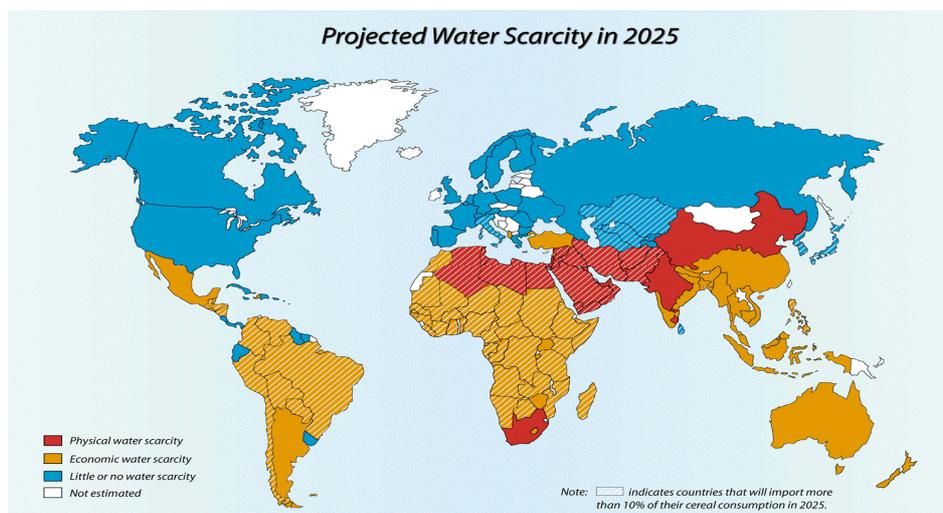
L'Agence Française de Développement s'intéresse à la réutilisation des eaux traitées (REUT) dans le cadre des financements qu'elle instruit. En effet, la réutilisation des eaux usées traitées peut contribuer à la gestion intégrée des ressources en eau et à la préservation de l'environnement dans les pays de sa zone d'intervention, qu'il s'agisse des pays arides et semi-arides d'Afrique et de la zone Méditerranée Moyen-Orient, ou des Départements français et Pays d'Outremer. De plus, la réutilisation est une des modalités de l'adaptation au changement climatique, dans les géographies menacées par le stress hydrique.

Or si les études de cadrage sont nombreuses, notamment en Méditerranée, les retours d'expériences sont encore parcellaires et les méthodes d'intervention ne sont pas établies, compte tenu de la diversité des situations constatées sur le terrain.

C'est pourquoi l'AFD a demandé au bureau d'études BRLi d'évaluer des expériences de terrain en **Europe** (France, Italie), en **Méditerranée** (Israël, Jordanie, Tunisie), et en **Afrique Subsaharienne** (Burkina Faso), en sélectionnant des **projets en activité depuis un nombre significatif d'années et suffisamment documentés**, et présentant un panel diversifié de recyclage des eaux. Sur cette base l'AFD propose d'en déduire certains éléments de doctrine, quant aux conditions de succès de ce type de projets.

12. Enjeux et pratiques des projets de réutilisation

Le recyclage des eaux usées, pour de nouveaux usages, après traitement, peut s'avérer une ressource en eau dite « non conventionnelle », en complément de la mobilisation des eaux de surface et souterraine. En effet, la tension sur les ressources en eau s'accélère, avec le développement des activités humaines et de la population mondiale, dans un contexte marqué par l'urbanisation croissante et les défis de l'accès à l'eau et à l'assainissement pour tous.



De plus, le rejet des eaux usées, même traitées, dans les rivières ou les mers, n'est pas toujours possible ou souhaitable. Le milieu récepteur est en effet parfois trop sensible pour pouvoir les accepter.

Le bilan hydrique de l'activité humaine

Le cycle des usages de l'eau par l'homme (Prélèvement-utilisation-rejet-dépollution-retour au milieu naturel) est inséré dans le cycle naturel de l'eau¹.

On estime que l'activité humaine prélève chaque année environ 3 800 milliards de m³, dont 70 % sont utilisés pour l'irrigation, 22 % pour l'industrie et 8 % pour les usages domestiques.

Moins du tiers des eaux usées industrielles et domestiques sont collectées, et un peu moins de la moitié des eaux collectées sont traitées, soit 160 milliards de m³. Au final, moins de 4 % des eaux dépolluées sont aujourd'hui réutilisées, laissant un gisement théorique inexploité important.

On peut distinguer :

⇒ **Les valorisations directes**, telles que l'irrigation agricole et forestière, l'arrosage des espaces verts urbains et des golfs, le nettoyage des espaces urbains et marchés, ou le recyclage des eaux grises d'un immeuble pour ses chasses d'eau² ;

On trouve également dans cette catégorie les valorisations industrielles (eaux de process et de refroidissement, lavage, recyclage,...).

⇒ **Les valorisations dites indirectes**, concernent en particulier la recharge de nappes souterraines, éventuellement utilisées ensuite pour l'irrigation, le soutien d'étiage des rivières ou des zones humides³.

2. Diversité des projets évalués

L'évaluation des projets de réutilisation par l'étude BRLi, a permis de préciser les éléments significatifs des opérations choisies pour leur caractère emblématique, ainsi que les déterminants de leur réussite. Ainsi, le **pourcentage d'eau épurée réutilisée** peut considérablement varier selon les projets (de 4 % à Clermont-Ferrand à 100 % à Amman). Les **traitements tertiaires** permettant la réutilisation sont très divers, de la désinfection par chloration ou ultra-violet au lagunage de finition, ou à la recharge de nappes, avant repompage. Les **objectifs de la réutilisation** sont également très divers, de l'arrosage de golfs en Tunisie, à l'irrigation d'appoint à Clermont-Ferrand ou classique à Amman ou Milan, jusqu'à l'agriculture d'exportation en Israël. **Elle semble cependant toujours permettre le maintien ou le développement d'une activité économique** (agriculture, golfs,...), avec la **création d'emplois directs et indirects**.

¹ Précipitation-ruissellement-infiltration-évaporation, qui traduit globalement la conservation des masses d'eau sur le globe.

² Très répandu au Japon.

³ Par ailleurs, le recyclage des eaux usées traitées en addition à de l'eau claire en vue d'augmenter le volume d'eau potable est aujourd'hui expérimenté, par exemple en Australie.

Principales caractéristiques des projets évalués

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

Selon l'étude, quatre des opérations évaluées peuvent avoir valeur d'exemple :

- ⇒ Jordanie – Maintien et développement de l'**irrigation agricole en aval de la nouvelle station d'épuration de Samra à Amman** : L'eau épurée dans la station bénéficie d'une **chloration finale** avant rejet dans le King Tahal Dam via la Zarka River, ce qui permet une **réutilisation sans traitement supplémentaire**, via des pompes dans le lac du barrage. **Les coûts d'épuration tertiaire sont dans ce contexte entièrement pris en charge par l'utilisateur eau potable de la ville d'Amman, au travers de la facture d'eau.** Les emplois directs maintenus sont de l'ordre de 3 500 et de 20 000 pour les emplois créés⁴. La volonté des autorités a permis de mettre en place cette opération intégrée (traitement-réutilisation) et une politique tarifaire adéquate.
- ⇒ Tunisie – **Arrosage des Golfs de Hammamet** : Deux sociétés privées de golfs utilisent les eaux usées traitées de la ville, après un traitement tertiaire dans des **lagunes aérées**. Cela permet d'éviter que les golfs ne pompent dans la nappe souterraine surexploitée. De plus la réutilisation des eaux usées traitées évite le rejet des eaux de la station d'épuration en mer, à proximité du littoral touristique. Ce **partenariat public-privé** a permis la **création de 170 emplois** et contribue à l'attractivité du site touristique. On notera que certains coûts d'investissement et de fonctionnement de la réutilisation sont pris en charge par les pouvoirs publics, qui considèrent que cet investissement public contribue à l'activité touristique

⁴ Sauf mention contraire, l'ensemble des chiffres sont issus des évaluations menées par BRLi.

- ⇒ Israël – **Irrigation agricole après recharge de nappe et transfert à l’aval de la station d’épuration de Shafdan à Tel-Aviv** : l’eau épurée de la station bénéficie d’un traitement tertiaire via la **recharge de nappe** dans sept bassins d’**infiltration** utilisés en alternance, et situés en dehors du périmètre de la station. L’eau de la nappe est ensuite pompée et transférée environ 100 km vers le sud, où elle est stockée dans des réservoirs de grande capacité. Une irrigation non restrictive y est pratiquée par plus de 4 000 exploitants privés, qui se dédient en majorité au maraîchage d’exportation. Le projet est justifié par la rareté de l’eau dans la région et est une référence technologique en matière de recharge de nappe. Il s’intègre dans une **politique nationale de production de ressources en eau non conventionnelles** (REUT, dessalement), et à ce titre la filière est largement subventionnée (foncier, premier établissement, coûts d’investissement du stockage et du transfert du centre vers le sud du pays,...).
- ⇒ Italie - **Irrigation agricole en aval de la nouvelle station d’épuration de San Rocco à Milan** : L’eau épurée dans la station bénéficie ensuite d’un **traitement UV** qui autorise une réutilisation agricole. Le projet permet la diminution des rejets directs dans le milieu naturel et le **maintien d’une agriculture dynamique, dans des conditions sanitaires satisfaisantes, qui n’existaient plus avant le projet, du fait de l’utilisation de l’eau polluée pour l’irrigation. L’ensemble des coûts sont couverts par le tarif de l’assainissement perçu auprès des milanais**. Le projet permet de conserver l’organisation hydraulique complexe qui pré existait depuis l’ère romaine.

Deux autres opérations, peut-être moins exemplaires, permettent cependant de tirer des leçons en fonction des aspects qu’elles mettent en lumière :

- ⇒ France – **Réutilisation partielle des eaux de la station d’épuration de Clermont Ferrand en irrigation d’appoint** : une association syndicale agricole (ASA) regroupant une cinquantaine d’agriculteurs, réutilise une partie des eaux de la station d’épuration de Clermont-Ferrand, après un **lagunage de finition** dans les bassins inutilisées d’une sucrerie située aux abords de la station d’épuration. Cette irrigation d’appoint concerne 700 ha. pour 800 000 m³ par an réutilisé.

Le projet d’**initiative privée** se justifie par la nécessité de mettre en place une irrigation d’appoint, afin de livrer à bonne date des maïs semence. Le projet a été rendu possible par un taux de **subventions publiques d’investissement** de 65 %, y compris européennes. Le dossier est également intéressant par la mise en place d’un **suiti épidémiologique** qui a été mené par l’observatoire régional de la santé, pendant la phase pilote de 50 ha. Techniquement, le projet reste très spécifique par la mise en commun d’ouvrages épuratoires entre la sucrerie et le traitement tertiaire.

- ⇒ Burkina Faso – **Périmètre de maraîchage de Kossodo en aval des lagunes d’épuration des eaux de Ouagadougou** : Celles-ci épurent actuellement 24 500 équivalent habitants, ce qui permet le maintien de 330 maraîchers dont l’activité pré existait, avec l’utilisation d’eau polluée.

L’importance d’une organisation institutionnelle claire et adaptée est illustrée par ce projet. L’Office national des eaux et de l’assainissement a été amené à assumer l’encadrement des maraîchers au titre des mesures d’atténuation des impacts sociaux de la station d’épuration, dont il est l’exploitant. La vulgarisation agricole qui

favoriserait la viabilité économique de l'activité en augmentant les rendements n'a pu se prolonger au-delà de la phase d'appuis externes liée à mise en place du projet.

De plus, la **qualité sanitaire de ces produits n'est pas encore considérée comme justifiant un prix de vente plus important** que celui des produits des agriculteurs d'autres périmètres informels, utilisant de l'eau usée non traitée.

⇒ Enfin, deux sites de recharge de nappes, en Tunisie, à Korba, expérimental pour la lutte contre le biseau salé (récent, et donc encore peu renseignés) et Nabeul, ancien, et avec une prise en charge totale des coûts par l'Etat, ne peuvent donner lieu à des conclusions opérationnelles à ce stade.

3. Les enjeux des projets de réutilisation des eaux usées traitées

L'examen des projets détaillés ci-dessus permet de comprendre certaines des **conditions d'émergence et de réussite des projets**, tant en terme de motivation des projets que d'approche méthodologique de leur instruction.

31. Motivations et impacts

L'objectif principal des projets est dans la majorité des cas le traitement des eaux usées, c'est-à-dire la protection du milieu récepteur. La nécessité de **restaurer les usages de l'eau** et de **préserver la santé des utilisateurs** d'eaux usées, non traitées avant le projet, n'est souvent qu'un **objectif secondaire des projets**.

La réutilisation des eaux usées traitées peut cependant résulter d'une politique nationale en la matière (Israël, Jordanie) ou de la volonté de promoteurs de projets privés (golfs de Hammamet, association d'agriculteurs de Clermont – Ferrand)

Lorsqu'elle est mise en œuvre, la réutilisation permet très souvent de **maintenir** ou de **développer** des **activités économiques** et des **emplois**. Par ailleurs, les projets de réutilisation peuvent contribuer au **maintien de la biodiversité**⁵ et contribuer à répondre à des situations de **stress hydrique**.

32. L'instruction des projets

L'instruction des projets de réutilisation devrait s'articuler autour des principaux thèmes suivants :

1. **Vérifier l'existence d'une volonté politique** : Celle-ci est nécessaire pour mettre en œuvre une politique publique de réutilisation qui réponde aux contraintes institutionnelles, sanitaires et financières de ce type de projets et permettre de mettre en place une organisation adaptée.
2. **Confirmer l'existence effective d'une demande en eau réutilisée** : L'analyse du marché de la réutilisation considérée ne doit pas se limiter à constater un besoin, mais doit aboutir à **confirmer l'existence d'une demande pérenne et solvable** pour cette ressource non conventionnelle. L'analyse de la **volonté de réutiliser doit**, de plus, **inclure l'examen de l'acceptabilité socio culturelle** de ce type de projets.

⁵ Cas de la lagune de Korba en Tunisie.

3. **Mettre en place des normes sanitaires adaptées à l'usage des eaux réutilisées, et un suivi sanitaire :** Il est impératif de respecter les normes établies par l'OMS concernant la présence d'agents pathogènes⁶ dans l'eau réutilisée. De plus l'Organisation décline une méthodologie pour faire évoluer ou mettre en place des réglementations sanitaires nationales (cf. infra). Dans certaines situations, notamment lorsque le respect des normes sanitaires ne pourra pas être garanti, on pourra envisager de **compléter le dispositif par une surveillance épidémiologique de la population exposée**, sous l'égide du ministère en charge de la santé.

Ce dispositif supplémentaire de suivi, qui peut parfois apparaître redondant, relève du principe de précaution. Il contribue également à une meilleure acceptabilité de la réutilisation par les populations concernées.

4. **Déterminer la technique de réutilisation en fonction de la qualité sanitaire nécessaire à l'usage final.** Le traitement tertiaire de désinfection peut être intégré au dispositif de la station d'épuration (cas de Amman et Milan), ou faire l'objet d'un **équipement séparé spécifique avec une maîtrise d'ouvrage séparée** (cas de Shafdan). Le dispositif technique inclut non seulement le traitement tertiaire de désinfection, mais également les réseaux de transfert et de distribution de l'eau réutilisée ;
5. **Vérifier la fiabilité de la chaîne de production d'eau usée traitée et prévoir un dispositif de réaction rapide aux incidents de traitement.** Un **dispositif d'alerte des dysfonctionnements** de la station d'épuration doit être mis en place, et un **dispositif externe de contrôle sanitaire** doit exister ;
6. **Trouver les conditions de l'équilibre économique et financier** de la réutilisation : L'équilibre financier du dossier est parfois difficile à obtenir, et doit être étudiée au cas par cas. De plus, il peut être difficile de faire la part de ce qui ne relève que du dispositif de réutilisation. On retiendra que :
 - ⇒ **les bénéfices environnementaux** pour le milieu naturel induits par la réutilisation, peuvent **justifier la contribution financière publique, au titre des externalités positives du projet**. Le projet privé de Clermont-Ferrand a ainsi bénéficié de plus de 60 % de subvention, y compris de l'Union européenne.
 - ⇒ **le tarif de l'assainissement** perçu auprès de populations urbaines productrices d'eaux usées, peut **inclure l'amortissement de l'investissement et le fonctionnement du traitement tertiaire** nécessaires à la réutilisation.

⁶ Les agents pathogènes sont les virus, bactéries ou parasites hydriques que l'on peut retrouver dans l'eau insuffisamment traitée. Les risques associés aux différents pathogènes sont liés à leur durée de vie dans l'environnement, tandis que les risques associés aux éléments chimiques sont liés à leur transfert vers les eaux de consommation, ou leur exportation vers les plantes qui seront ensuite consommées.

Au minimum, il est souhaitable que la volonté de payer permette de couvrir les coûts d'exploitation, les remboursements des prêts résiduels et les provisions pour renouvellement.

Ainsi, les modalités de financement des projets de réutilisation peuvent être synthétisées par le tableau suivant :

	Type de financement	Principale source de financement	Finalité du financement
Investissement	Subventions	Etat	Externalités positives (préservation de l'environnement, adaptation au changement climatique)
	Autofinancement	Producteurs d'eaux usées puis revenus du projet pour le remboursement	Application du principe pollueur/payeur via le tarif de l'assainissement
	Prêts concessionnels	Bailleurs de fonds/ Etat	Externalités positives (préservation de l'environnement, adaptation au changement climatique)
	Prêt à taux de marché	Secteur privé	Diminution du coût des facteurs (golfs, espaces verts résidentiels, création de valeur foncière,...)
Fonctionnement	Autofinancement	Revenus du projet	Equilibre financier de l'activité (agriculture, maraichage, golfs,...)
	Prêt à taux de marché		
Maintenance/ Renouvellement	idem investissement	idem investissement	

La clé de répartition du plan de financement entre la puissance publique, au titre de la gestion de la ressource en eau, le pollueur au titre du principe pollueur-payeur et l'utilisateur final de l'eau recyclée, est donc définie en fonction de chaque situation.

4. Mode opératoire des projets de réutilisation

Les projets de réutilisation impliquent une **pluralité d'acteurs issus des mondes des collectivités locales, de l'assainissement, de l'agriculture et de la santé**. Le rôle dévolu à chacun des intervenants doit être clair et l'organisation retenue pour la réutilisation, devra également fixer les **relations financières et contractuelles entre chacun de ces intervenants**.

Outre la **puissance publique qui édicte les normes, met en place la régulation et le contrôle sanitaire**, on distingue de l'amont vers l'aval du cycle de l'eau usée, :

1. **Les producteurs d'eaux usées**, que sont les habitants des centres urbains, qui **paient une redevance d'assainissement** pour la collecte et l'épuration. Il peut participer par cette redevance au recouvrement des coûts de la réutilisation ;

2. **Le propriétaire de la station d'épuration**, souvent une collectivité territoriale, doit **autoriser la fourniture d'eau usée traitée**, à l'entité responsable de la réutilisation ;
3. **L'exploitant de la station d'épuration** des eaux usées est en général différent du propriétaire de la station. Il doit quant à lui garantir **la fourniture et la qualité** de l'effluent traité, en vue d'un traitement supplémentaire (tertiaire) avant réutilisation.
4. **Le responsable de la production d'eaux usées traitées à réutiliser** met à disposition de l'eau à recycler auprès de l'utilisateur final. Le dispositif technique peut être complexe car il inclut non seulement le traitement tertiaire de désinfection, mais également :
 - ⇒ Les réseaux de transfert et de distribution de l'eau réutilisée ;
 - ⇒ La télégestion qui peut être relativement sophistiquée dans certains cas ;
 - ⇒ Le dispositif de surveillance sanitaire interne ;
 - ⇒ L'exploitation, l'entretien et la maintenance.

Il peut s'agir du ministère en charge des ressources en eau ou de l'agriculture, ou encore d'une autorité autonome ou d'une agence spécifique, lorsque la complexité technique du dispositif le justifie.

Il doit équilibrer le plan de financement du projet, qui doit inclure la couverture de l'ensemble des coûts d'investissement, d'exploitation, de maintenance et de renouvellement, et s'assurer du recouvrement des coûts.

5. **L'utilisateur et bénéficiaire final** proprement dit. Le bénéficiaire final doit être consulté tout au long de l'instruction du projet, informé des risques sanitaires de l'activité et des dispositions prises pour les minimiser. L'instruction du projet doit également prendre en compte l'acceptabilité sociale de la réutilisation. De plus, **l'activité économique permise par la réutilisation doit être bénéficiaire ou équilibrée pour le bénéficiaire.**

5. Les aspects sanitaires

Première préoccupation des autorités, en vue de la mise en place des projets de recyclage, l'OMS⁷ préconise de mettre en œuvre des mesures permettant de respecter un seuil de risque de 10^{-6} DALY par personne et par an⁸, pour la réutilisation des eaux usées traitées en irrigation directe. Cela conduit à prévoir pour les agents pathogènes une concentration des œufs d'helminthes, inférieur à 1 œuf par litre en moyenne annuelle et à un abattement de $6 \log^9$, pour les virus, bactéries et protozoaires.

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

⁷ Guideline for the safe use of wastewater, excreta and grey water OMS 2006.

⁸ DALY (Disability-Adjusted Life Years) : Années de vie ajustées sur l'incapacité: le somme des années de vie potentielle perdues en raison d'une mortalité prématurée et des années de vie productives perdues en raison d'incapacités.

⁹ Soit une division de la concentration de pathogènes par un million (10^{-6}).

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

On trouvera en annexe des tableaux issus des documents de l'OMS, résumant les niveaux d'abattement des germes pathogènes en fonction des types de culture et d'irrigation, des mesures de protection prises, et le détail de la réduction des agents pathogènes selon le traitement des eaux usées mis en œuvre.

Les recommandations de l'OMS constituent également une **méthodologie de prise en compte du risque sanitaire**. Ainsi, la démarche à prendre en compte, tant pour l'établissement de réglementations nationales que pour les projets de réutilisation, est la suivante :

1. Recherche et mise en évidence des risques sanitaires pour les consommateurs, les travailleurs et leur famille, et les riverains.
2. Etablissement d'objectifs de santé publique, afin de développer des réglementations pertinentes ;
3. Mise en œuvre des mesures de protection de la santé, considérées comme une combinaison de mesures incluant le traitement des eaux et prenant en compte les circonstances socioculturelles, économiques et environnementales.
4. Suivi et évaluation des systèmes, incluant la validation de la mise en œuvre, le suivi opérationnel en routine, et enfin la vérification.

En ce qui concerne plus spécifiquement la réutilisation des eaux usées traitées (quelque soit le traitement de ces eaux) il convient donc :

- ⇒ d'évaluer les risques en fonction de la qualité des effluents,

Le contenu du volet sanitaire des projets doit **tenir compte du type de réutilisation** (golf, espace verts, irrigation, utilisation industrielle,..), de l'environnement dans lequel il est mis en œuvre (présence de publics ou de résidents ponctuels ou permanents) et du dispositif utilisé (réinjection dans la nappe, irrigation par aspersion ou goutte à goutte).

- ⇒ de suivre la qualité physico chimique et microbiologique de ces effluents après traitement et avant réutilisation ;
- ⇒ de traiter les eaux à réutiliser pour approcher de la réduction de la pollution bactériologique de 6 log ;
- ⇒ de favoriser l'utilisation de ces eaux selon les types de culture (non alimentaires, d'aliments à cuire) et les moyens d'arrosage favorables à un moindre risque (goutte à goutte) ;
- ⇒ d'accompagner ces projets par des actions d'éducation sanitaire en direction
 - des travailleurs pour réduire les risques lors de leur activité professionnelle (médecine du travail lorsqu'elle existe, campagnes radio,...) ;

- de la population pour favoriser une meilleure hygiène alimentaire (le lavage vigoureux, la désinfection au chlore, le pelage des fruits et légumes réduisent chacun le niveau de pollution de 1 ou 2 log).

Dans certains cas, **ces mesures pourront être complétées par un suivi épidémiologique des populations exposées**. Cela consiste à mesurer en continu la fréquence de survenue (incidence) d'une ou plusieurs maladies hydriques – le plus souvent les diarrhées – afin d'être alerté en cas d'augmentation brutale (épidémie) ou de dégradation progressive de la situation sanitaire.

Un tel dispositif est complexe à mettre en place. Il faut en effet définir avec précision quelle est la population exposée, mais aussi la ou les maladies retenues (diarrhée, avec ou sans fièvre, par exemple). Les données peuvent être ensuite collectées via les services de santé (mais les adultes consultent rarement pour un épisode diarrhéique) ou via un dispositif *ad hoc*, basé sur l'interrogatoire à intervalle régulier de travailleurs exposés, par exemple. L'interprétation des données ainsi collectées est délicate, les phénomènes observés pouvant être dus à d'autres causes que l'exposition aux eaux usées. Dans tous les cas, la conception du dispositif de surveillance épidémiologique doit être faite avec les services du ministère en charge de la Santé qui devront ensuite en assurer la gestion.

Compte tenu des contraintes exposées ci-dessus, **la surveillance épidémiologique paraît avoir sa place dans les situations où le respect des normes de traitement des eaux usées est sujet à caution**. Dans ces cas là, la surveillance de la population exposée représente un **filet de sécurité** permettant de détecter précocement la survenue d'un éventuel problème sanitaire.

L'encadré ci-dessous présente ainsi un exemple de dispositif de surveillance sanitaire mis en place, dans le Département français de la Réunion, au niveau communal.

A la Réunion, avant la mise en place du recyclage de la ville du Port pour l'arrosage d'un espace vert public, les autorités ont demandé à l'observatoire régional de santé de réaliser un suivi épidémiologique, portant sur le constat du déclenchement de gastroentérites aiguës (GEA) dans la population concernée. Les objectifs de la surveillance sanitaire¹⁰ sont :

- ⇒ Identifier des phénomènes inhabituels (augmentation anormale du nombre cas de GEA) en lien avec la réutilisation des eaux usées épurées ;
- ⇒ Décrire les cas suspects de GEA ;
- ⇒ Suivre les évolutions spatio-temporelles et ainsi contribuer à l'évaluation des mesures de contrôle pouvant être prises.

Le suivi se met en place à partir de la confrontation du signal donné par les médecins présents dans le périmètre concerné (généralistes, médecins du travail, médecins scolaires,...) et préalablement informés, avec les données du réseau de médecins sentinelle¹¹ de l'ensemble de l'île.

Il est ensuite relié à la série des prélèvements réguliers qui sera réalisé par l'équipe technique de la station d'épuration, en sortie de station de traitements et en sortie du réseau de distribution, grâce aux analyses microbiologiques de ces prélèvements, par le laboratoire agréé.

¹⁰ Source : Protocole de surveillance sanitaire – document de travail – juin 2009

¹¹ Ces médecins sentinelles surveillent la grippe, les diarrhées aiguës et la dengue et le chikungunya en cas d'épidémies.

Avant la mise en service de la station d'épuration, le réseau de surveillance est mis en place et l'état épidémiologique initial est défini pendant 18 mois. Le suivi épidémiologique est opérationnel pendant un an dans un premier temps

7. Les indicateurs économiques et financiers

De nombreux indicateurs peuvent permettre de guider l'évaluation des projets¹², lorsque nécessaire (cf. annexes 2 et 3).

Les indicateurs économiques devraient refléter la prise en compte des externalités positives du projet et en particulier de l'amélioration des conditions de vie et de travail rendue possible par l'utilisation d'eau usée traitée en lieu et place d'eau usée brute. La recherche d'une valeur économique de l'eau réutilisée passe par la définition des principaux indicateurs suivants :

- ⇒ Le volume d'eau réutilisé par utilisateur ;
- ⇒ Le nombre d'emplois directs créés ou maintenus grâce au recyclage ;
- ⇒ La consommation énergétique par m³ d'eau recyclée produite et l'existence de politiques de maîtrise de l'énergie visant à optimiser le bilan carbone de l'opération ;
- ⇒ La valeur ajoutée par m³ qui peut permettre de classer les variantes ;
- ⇒ Le coût d'opportunité de l'eau (à quelle utilisation a-t-on renoncé en mettant en œuvre ce projet de réutilisation ?) souvent difficile d'approche, d'autant que le prix de comparaison de l'eau potable ou de l'eau produite est souvent subventionné ;
- ⇒ Le coût des dégâts évités tels la perte d'emplois ou d'activités économiques

Les indicateurs financiers habituels de ratios d'investissement et de frais d'exploitation par m³ réutilisé ou par bénéficiaire, devraient également inclure deux indicateurs qualitatifs reflétant :

- ⇒ La qualité du montage financier et du recouvrement des coûts : niveau des subventions d'investissement éventuelles et des redevances perçues pour la réutilisation ;
- ⇒ L'existence de **financements permettant le suivi technique, financier et sanitaire du dispositif de réutilisation.**

¹² L'étude BRLi a retenu 8 thèmes représentés par un ensemble de 37 indicateurs.

8. Exemples de modes opératoires de projets de réutilisation instruits par l'AFD

L'AFD a commencé à instruire le financement de plusieurs projets de réutilisation, ou a été amené à participer aux réflexions préalables les concernant. Il a semblé intéressant pour montrer la diversité des situations à appréhender, de développer brièvement ci-dessous, le contenu de ces projets, et l'approche de l'AFD¹³.

81. Etude économique et financière, d'organisation et de marché

A la Réunion, une commune dont les espaces verts de loisirs en bord de mer sont très étendus, souffre d'un déficit de ressources en eau sur son territoire. Elle envisage donc de réutiliser l'eau traitée dans une nouvelle station d'épuration en cours de construction et a demandé à un bureau d'études techniques de concevoir le process de traitement tertiaire adéquat pour cet usage, et de réaliser les dossiers d'autorisation sanitaire. L'AFD après discussion avec la commune, a proposé d'ajouter une composante financière et d'organisation à l'étude de faisabilité technique et sanitaire : il s'agira de **préciser la viabilité économique et financière du projet en fonction de ses modalités de financement, du marché de l'eau réutilisée et de l'organisation de la maîtrise d'ouvrage et de l'exploitation du projet** :

- Quel est le marché (clients, volumes, tarifs,...) du projet ?
- Quels sont les implications financières pour la commune et comment les optimiser (phasage de l'installation, mode de comptabilisation budgétaire, mode d'exploitation,...) ?
- Quelles sont les implications tarifaires pour les usagers et comment les minimiser ?
- Quel mode de gestion du projet est le mieux à même de permettre une gestion technique et budgétaire la plus performante possible ?

82. Financement des stations d'épuration et des traitements nécessaires à la réutilisation

L'environnement hydrique des Territoires Palestiniens est peu favorable. En Cisjordanie, les ressources annuelles renouvelables s'établissent à 390 m³ par habitant et par an (ce qui est inférieur au seuil critique de 500 m³ par habitant et par an), les nappes partagées avec Israël sont surexploitées et leur qualité est menacée par un traitement des eaux usées insuffisant. Dans la bande de Gaza, la situation est encore plus préoccupante : les prélèvements intensifs ont entraîné une progression du biseau salé et 90 à 95% de la nappe côtière est aujourd'hui constituée d'eau saumâtre. L'Autorité Palestinienne, avec l'appui des bailleurs de fonds, souhaite donc développer la réutilisation des eaux usées à la fois pour augmenter la disponibilité en eau et pour protéger la ressource.

Ainsi, dans le nord de la Cisjordanie, l'AFD finance la construction d'une station d'épuration et d'un dispositif de réutilisation des eaux usées, dans une zone où l'agriculture est l'activité de base des populations. Les études détaillées de ces infrastructures sont en cours de lancement et s'attacheront notamment à déterminer la faisabilité et les caractéristiques techniques, sociales et financières du système de réutilisation.

Dans le nord de la bande de Gaza, l'AFD participe, au coté d'autres bailleurs de fonds, à un projet de construction de station d'épuration d'une capacité de 36500 m³/j. Un dispositif de

¹³ Résumés produits par les chefs de projets AFD : A. Rotbardt, C. Robert et C. Brenière.

réutilisation des eaux usées sera également mis en place. Les eaux usées seront d'abord infiltrées dans la nappe puis pompées et utilisées à des fins agricoles. Ce système permettra ainsi de compléter le cycle d'épuration de l'eau et favoriser le développement économique de la zone.

83. Approche globale des usages industriels de l'eau

Au Maroc, L'office Chérifien des Phosphates (OCP) a fait le choix de réutiliser les eaux usées traitées des villes proches de ses sites miniers pour le lavage des roches phosphatées très consommateur en eau. Ainsi, dans le cadre de conventions tripartites, signées avec l'opérateur national (ONEP) et les communes concernées, l'OCP s'engage à construire et exploiter trois stations d'épuration de respectivement 5 Mm³/an à Khouribga, 2 Mm³/an à Youssoufia et 3 Mm³/an à Benguérir. Les communes s'engagent quant à elle à laisser l'OCP réutiliser la totalité de leurs eaux usées, alors que l'ONEP doit les collecter et les acheminer vers les stations d'épuration.

Une de ces stations est en cours de construction et les deux autres sont en projet. Elles doivent toutes délivrer une eau dont la qualité est compatible avec la norme internationale des eaux de baignades. Pour cela elles utilisent une filière classique de boues activées à laquelle s'ajoute un traitement par membrane et une désinfection au chlore. Elles comprennent aussi une unité de traitement des boues avec une valorisation du méthane.

Les facteurs qui ont conduit à la réussite de ce projet industriel méritent d'être soulignés :

- ⇒ L'initiative à l'origine du projet vient du consommateur (l'OCP) qui a cherché à répondre à sa demande en eau et non des producteurs d'eaux usées que sont les communes. L'OCP s'est tourné vers cette solution originale pour satisfaire un besoin d'eau supplémentaire, qu'il n'aurait probablement pas été autorisé à prélever dans le milieu naturel.
- ⇒ C'est l'utilisateur qui maîtrise le traitement et donc la qualité de l'eau dont il a besoin. L'OCP envisage de confier l'exploitation de ses stations à des opérateurs après un appel d'offre.
- ⇒ Le dimensionnement du projet a été conditionné par la quantité d'eaux usées disponibles. En effet, les EUT produites ne couvrent pas les besoins des laveries de l'OCP qui doivent être alimentées par un complément d'eau en provenance de barrages.
- ⇒ Le financement de ce traitement des eaux usées est réalisé entièrement sur le budget industriel. Les usagers de l'assainissement sont donc exonérés de payer l'épuration de leurs eaux.

9. En conclusion

On a essayé de montrer ici que les projets qui aujourd'hui fonctionnent de manière satisfaisante, ont réuni un certain nombre de préalables :

- ⇒ la volonté politique ;
- ⇒ l'existence d'une « vraie » demande ;
- ⇒ un équilibre financier, qui peut passer par la **participation du secteur privé** lorsqu'une rentabilité est possible (golfs) ou des subventions publiques prenant en

compte les externalités positives des projets de réutilisation, lorsque la rentabilité financière n'est pas au rendez-vous.

L'instruction des projets, au-delà de la faisabilité technique, doit prendre en compte la spécificité des projets de réutilisation : la robustesse du suivi sanitaire, l'acceptabilité du système par les bénéficiaires finaux, la multiplicité des acteurs, la contractualisation des relations entre intervenants.

En ce sens, un projet de réutilisation peut être plus complexe à mettre en place qu'un autre. Les premiers exemples de modes opératoires expérimentés par l'AFD, montre la diversité des solutions qui sont mis en œuvre.

Elles montrent aussi que l'obstacle souvent mis en avant des normes sanitaires et de l'équilibre financier, peut trouver des solutions opérationnelles.

Annexes

Annexe 1 : Modalités de financement des expériences évaluées

	Type de financement	3 Hammamet Golf	4 Clermont Ferrand	5 Ouaga Kossodo	6 Amman Samra	7 Tel Aviv Shafdan	8 Milan San Rocco
Investissement	Subvention		Etat Europe Divers (65 %)	Bailleurs de fonds (AFD,BM) Etat via ONEA	Etat (60 %)	Etat	
	Autofinancement		ASA pour le remboursement des prêts				Aire Métropolitaine (66 %)
	Prêt concessionnel		Crédit Agricole (CA)				
	Prêt à taux de marché	Secteur privé			Secteur privé (prêt sur 12 ans)	7 municipalités	Joint Venture Aire métropolitaine/co nstructeur
Fonctionnement	Autofinancement		ASA	Agriculteurs ONEA	BOT 25 ans financé via le tarif de l'eau	Tarif de l'eau Agriculteurs	Joint Venture Aire métropolitaine/co nstructeur contrat de 9 ans
	Prêt à taux de marché						
Maintenance/ Renouvellement	idem investissement		ASA	Agriculteurs ONEA	BOT 25 ans financé via le tarif de l'eau	Tarif de l'eau Agriculteurs	Joint Venture Aire métropolitaine/co nstructeur
Solidité des montages financiers entre Subvention Tarif Service de la dette		système privé	solide	Assainissement déficitaire Compensé par volet eau potable	BOT	Très solide mais non transparent	Joint Venture

Annexe 2 : Indicateurs financiers

Les expériences évaluées permettent de retenir 9 indicateurs financiers, dont deux paraissent particulièrement pertinents.

INDICATEURS FINANCIERS									
Montant en euros		1 Tunis Nabeul	2 Tunis Korba	3 Hammamet Golf	4 Clermont Ferrand	5 Ouaga Kossodo	6 Amman Samra	7 Tel Aviv Shafdan	8 Milan San Rocco
FIN 1	Montant de l'investissement des ouvrages d'épuration	n.c.	n.c.	n.c.	30 M euros	9.85 M	180 M us\$ 133 M euros	200 M us\$ 148 M euros	89 M
FIN 2	Ratio d'investissement des ouvrages d'épuration par m ³	n.c.	n.c.	n.c.	1.6 euros	10.9 euros	1.4 euros	1.2 euros	0.9 euros
FIN 3	Frais d'exploitation annuels par m ³ des ouvrages d'épuration	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	n.c.	0.1 euros
FIN 4	Montant de l'investissement des ouvrages de REU	20 000	700 000	privé	5,3 M euros	0.2 M	0	n.c.	1 M
FIN 5	Ratio d'investissement des ouvrages de REU par m ³	0.17 euros	1.40 euros	n.c.	6.6 euros	0.2 euros	0.0 euros	n.c.	0.1 euros
FIN 6	Frais d'exploitation annuels par m ³ des ouvrages de REU	0.08 euros	0.04 euros	n.c.	0.13 euros	marginal	0.0 euros	0.2	0.01 euros
FIN 7	Politique mise en œuvre pour limiter les dépenses d'énergie sur l'ensemble	non	non	non	non	non	Turbine sur différence de niveaux & méthanisation	non	non
FIN 8	Solidité des montages financiers entre Subvention Tarif Service de la dette	montage très fragile	assez solide	système privé	solide	Assainissement déficitaire Compensé par volet eau potable	BOT	Très solide mais non transparent	Joint Venture
FIN 9	Financement des suivis : 0 - 3	0	1	?	3	3	3	3	3

Annexe 3 : Indicateurs économiques

Les expériences évaluées permettent de retenir 9 indicateurs économiques, dont trois paraissent particulièrement pertinents.

INDICATEURS ECONOMIQUES									
		1 Tunis Nabeul	2 Tunis Korba	3 Hammamet Golf	4 Clermont Ferrand	5 Ouaga Kossodo	6 Amman Samra	7 Tel Aviv Shafdan	8 Milan San Rocco
ECO 1	nb bénéficiaire assainissement	50 000	10 000	30 000	250 000	15 000 eqh	2 300 000	2 500 000	1 050 000
ECO 2	nb bénéficiaire REU	30	50	2 entreprises	51	330	2 390	4 300	35
ECO 3	Volume réutilisation / utilisateur	4000 m3/an	10 000 m3/an	650 000	15 686	2 727	33 598	29 767	334 286
ECO 4	Consommation énergétique / m ³	sans info	sans info	sans info	sans info	sans info	sans info	sans info	0.07 kWh/m3
ECO 5	Valeur ajoutée : euros/ m ³				1.66	0.34	0.40 - 1.12	> 4.50	0.09
ECO 6	Nb emplois directs créés			30		0	20 000	100 000	0
ECO 7	Maintien des emplois	30	50		60	330	3 500	0	35
ECO 8	Coût d'opportunité de l'eau	sans objet	sans objet	coût du maintien propreté de la plage	Celui d'une culture plus valorisante si conditions pédologiques et climatiques acceptables	utilisation optimale	Prix de m ³ eau potable	Prix de m ³ eau potable	Epuration du milieu naturel
ECO 9	Coût des dégâts évités	intrusion marine	intrusion marine	pollution du site	REUT : disparition d'exploitations en raison de cultures en sec insuffisamment rémunératrices; + pollution du milieu récepteur si on y inclut l'épuration	épidémie population	perte de production agricole	perte de production agricole perte de toute activité économique	pollution du site - mauvaise image du site milanais

Annexe 4 : Les étapes d'instruction d'un projet de réutilisation des eaux usées traitées

(source : étude BRLi)

- ⇒ Analyse préalable, la REUT étant souvent une composante d'un projet à finalité plus globale de dépollution des eaux usées
- ⇒ Politique sectorielle et de la gestion des ressources en eau
- ⇒ Cadre institutionnel et mode opératoire : maîtrise d'ouvrage et maîtrise d'œuvre, cadre réglementaire permettant la réutilisation
- ⇒ Etude d'impact vis-à-vis du milieu, évaluation du risque sanitaire, contexte sociologique
- ⇒ Montage organisationnel,
- ⇒ Validation et étude du process technique et des dispositifs aval
- ⇒ Etude et validation des protocoles de suivis techniques et sanitaire
- ⇒ Evaluation économique et financière

Annexe 5 : Recommandations OMS

(source : OMS in étude BRLi)

Irrigation par les eaux usées traitées

Non restrictives

situation A : adaptée aux légumes racine. Abattement des pathogènes de 7 log obtenu par la combinaison traitement (4 log) + délai avant récolte + lavage à l'eau propre.

Situation B : adapté aux légumes feuille. Abattement des pathogènes de 6 log obtenu par la combinaison traitement (3 log) + délai avant récolte + lavage à l'eau propre.

Situation C : adapté aux cultures hautes et production aérienne, sans ramassage à terre de produits : abattement de 6 log, obtenu par la combinaison traitement (2 log) + irrigation goutte à goutte.

Situation D : adapté aux cultures basses et production aérienne, sans ramassage à terre de produits : abattement de 6 log, obtenu par la combinaison traitement (4 log) + irrigation goutte à goutte.

Situation E : adapté à toutes cultures. Abattement de 7 log obtenu uniquement par traitement

Restrictives

Situation F : agriculture intensive en travail manuel : abattement de 4 log par traitement, 3 log étant assurés par la restriction des cultures.

Situation G : agriculture hautement mécanisée : abattement de 3 log par traitement, 4 log étant assurés par la restriction des cultures.

Situation H : Assainissement autonome ou situation similaire : traitement par fosse sceptique (1 log) suivi d'un épandage souterrain (6 log).

Valeurs seuils

Valeurs -seuils de vérification de la concentration en E. Coli en fonction des niveaux de traitement requis

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

Synthèse des niveaux de surveillance du traitement des eaux usées par le nombre de Coli thermo résistants présent dans ces eaux après traitement

Type d'irrigation	Option*	Nb de log de réduction	Seuil de Coli / 100 ml
non limitée	T+DO+L, racines	4	$\leq 10^3$
	T+DO+L, feuilles	3	$\leq 10^4$
	T+GàG croissance rapide	2	$\leq 10^5$
	T+GàG croissance lente	4	$\leq 10^3$
	T seul	6 ou 7	$\leq 10^1$
limitée	T culture intensive	4	$\leq 10^4$
	T culture mécanisée	3	$\leq 10^5$
	T irrigation sous terrain	0,5	$\leq 10^6$

*T= traitement des eaux ; DO = die-off ; L = lavage des produits, GàG = goutte à goutte

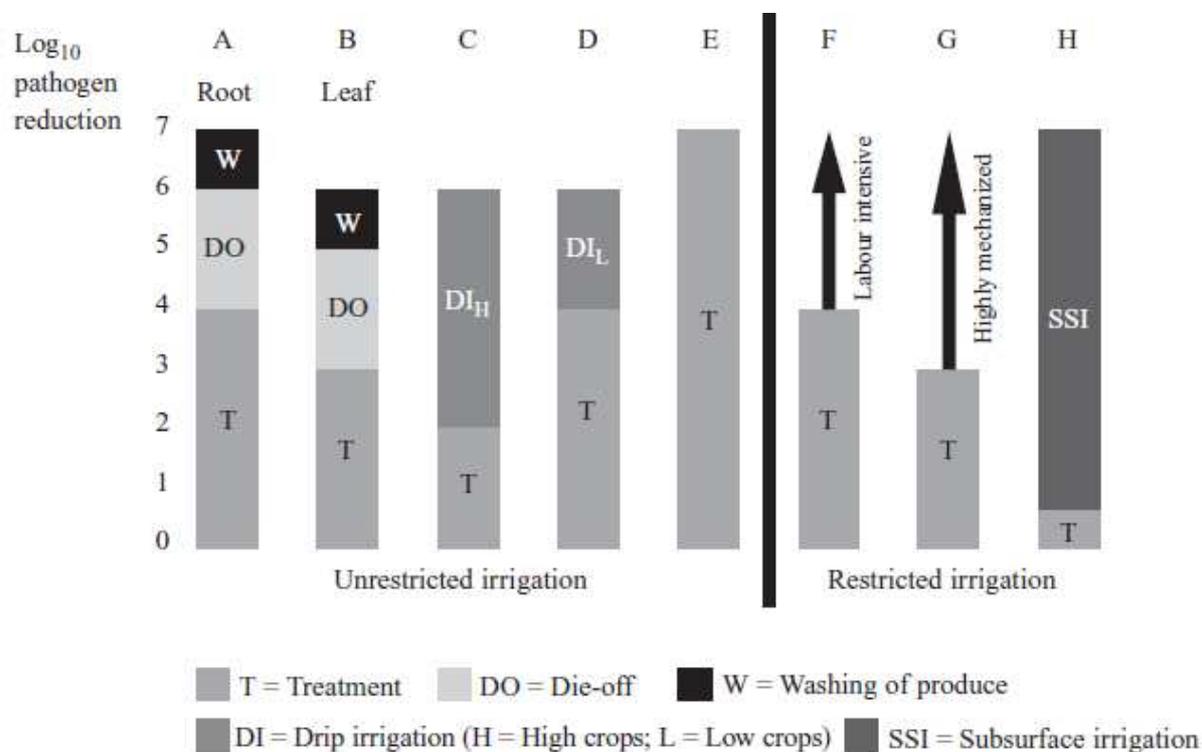


Figure 4.1

Examples of options for the reduction of viral, bacterial and protozoan pathogens by different combinations of health protection measures that achieve the health-based target of $\leq 10^{-6}$ DALY per person per year

Réduction des pathogènes

Réduction des pathogènes atteints par divers traitements

Table 5.2 Log unit reduction or inactivation of excreted pathogens achieved by selected wastewater treatment processes

Treatment process	Log unit pathogen removals ^a			
	Viruses	Bacteria	Protozoan (oo)cysts	Helminth eggs
Low-rate biological processes				
Waste stabilization ponds	1-4	1-6	1-4	1-3 ^b
Wastewater storage and treatment reservoirs	1-4	1-6	1-4	1-3 ^b
Constructed wetlands	1-2	0.5-3	0.5-2	1-3 ^b
High-rate processes				
<i>Primary treatment</i>				
Primary sedimentation	0-1	0-1	0-1	0-<1 ^b
Chemically enhanced primary treatment	1-2	1-2	1-2	1-3 ^b
Anaerobic upflow sludge blanket reactors	0-1	0.5-1.5	0-1	0.5-1 ^b
<i>Secondary treatment</i>				
Activated sludge + secondary sedimentation	0-2	1-2	0-1	1-<2 ^b
Trickling filters + secondary sedimentation	0-2	1-2	0-1	1-2 ^c
Aerated lagoon + settling pond	1-2	1-2	0-1	1-3 ^c
<i>Tertiary treatment</i>				
Coagulation/flocculation	1-3	0-1	1-3	2 ^b
High-rate granular or slow-rate sand filtration	1-3	0-3	0-3	1-3 ^b
Dual-media filtration	1-3	0-1	1-3	2-3 ^{b,d}
Membranes	2.5->6	3.5->6	>6	>3 ^{b,d}
<i>Disinfection</i>				
Chlorination (free chlorine)	1-3	2-6	0-1.5	0-<1 ^b
Ozonation	3-6	2-6	1-2	0-2 ^c
Ultraviolet radiation	1->3	2->4	>3	0 ^e

Sources: Feachem et al. (1983); Schwartzbrod et al. (1989); Sobsey (1989); El-Gohary et al. (1993); Rivera et al. (1995); Rose et al. (1996, 1997); Strauss (1996); Landa, Capella & Jiménez (1997); Clancy et al. (1998); National Research Council (1998); Yates & Gerba (1998); Karimi, Vickers & Harasick (1999); Lazarova et al. (2000); Jiménez et al. (2001); Jiménez & Chávez (2002); Jiménez (2003, 2005); von Sperling et al. (2003); Mara (2004); Rojas-Valencia et al. (2004); WHO (2004a); NRMCC & EPHCA (2005).

^a The log unit reductions are log₁₀ unit reductions defined as log₁₀(initial pathogen concentration/final pathogen concentration). Thus, a 1 log unit reduction = 90% reduction; a 2 log unit reduction = 99% reduction; a 3 log unit reduction = 99.9% reduction; and so on.

^b Data from full-scale plants.

^c Theoretical efficiency based on removal mechanisms.

^d Data from tests with up to 2 log units initial content; removal may be greater than that reported.

^e Data from laboratory tests.

Réduction des pathogènes atteignable par diverses mesures de protection :

Pathogènes (bactéries, virus, protozoaires)

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

Œufs d'helminthes

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

Annexe 6 : France - Irrigation de cultures ou d'espaces verts par des eaux traitées urbaines

(Source : Arrêté du 2 août 2010-Jo du 31 août 2010)

Niveau de qualité sanitaire 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		
Demande chimique en oxygène (mg/l)	< 60			
Entérocoques fécaux (abattement en log)	≥ 4	≥ 3	≥ 2	≥ 2
Phages ARN F-spécifiques (abattement en log)	≥ 4	≥ 3	≥ 2	≥ 2
Spoires de bactéries anaérobies sulfitoréductrices (abattement en log)	≥ 4	≥ 3	≥ 2	≥ 2
<i>Escherichia coli</i> (UFC/100 ml)	≤ 250	≤ 10 000	≤ 100 000	-

Contraintes d'usages

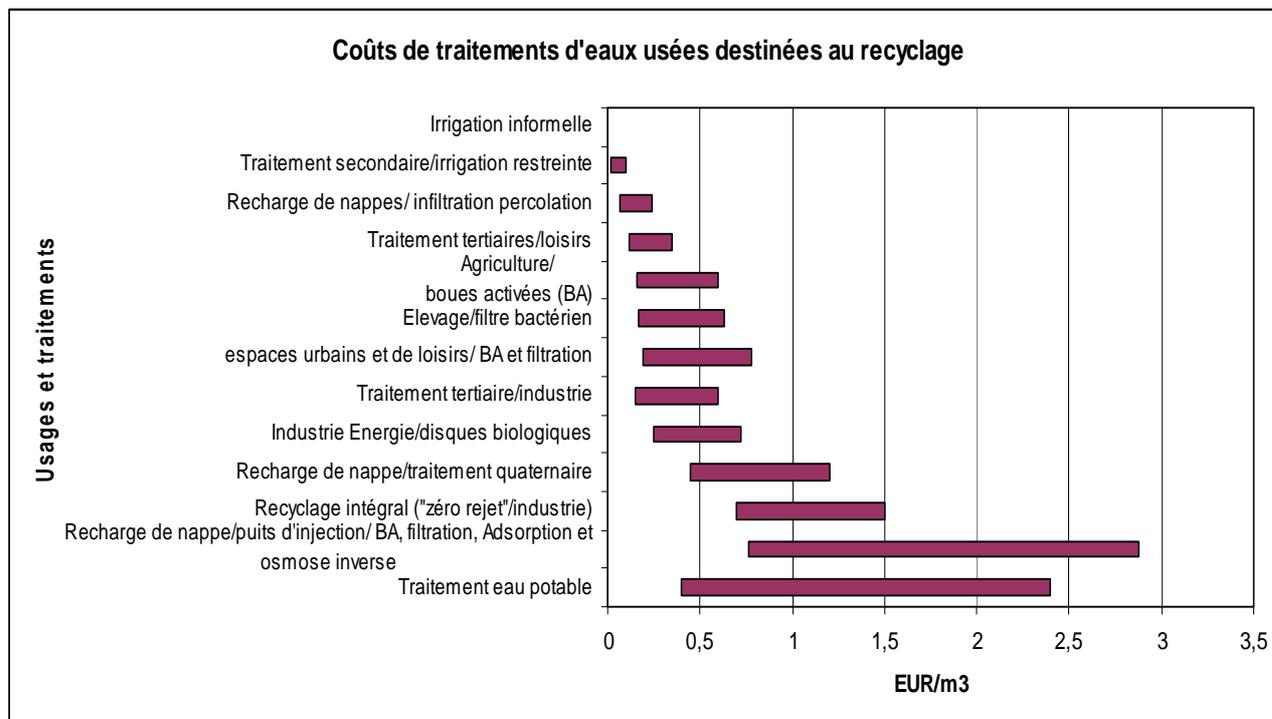
TYPE D'USAGE	NIVEAU DE QUALITÉ SANITAIRE DES EAUX USÉES TRAITÉES			
	A	B	C	D
Cultures maraîchères, fruitières et légumières non transformées par un traitement thermique industriel adapté	+	-	-	-
Cultures maraîchères, fruitières, légumières transformées par un traitement thermique industriel adapté	+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

+ : autorisée, - : interdite.
(1) Sous réserve du respect d'un délai après irrigation de dix jours en l'absence d'abattoir relié à la station d'épuration et de vingt et un jours dans le cas contraire.
(2) Irrigation en dehors des heures d'ouverture au public.
(3) Uniquement par irrigation localisée, telle que définie à l'article 2.

Annexe 7 : Eléments de coûts de traitement des eaux usées

Valeurs indicatives minimales et maximales de divers types de traitement des eaux usées

(Valeur traitement eau potable pour comparaison) Sources : EUWI 2007 et Labre 2008 synthétisées par l'auteur (sur la base 1USD= 1EUR)



Coûts de traitements : Valeurs moyennes relevées par l'OMS

Table 9.1 Economic considerations for different wastewater treatment systems

System	Land requirements			Power for aeration		Sludge volume			Costs	
	(m ² /inhabitant)	Installed power (W/inhabitant)	Consumed power (kWh/inhabitant per year)	Liquid sludge to be treated (litres per inhabitant per year)	Dewatered sludge to be disposed of (litres per inhabitant per year)	Construction (US\$/inhabitant)	Operation and maintenance (US\$/inhabitant per year)			
Primary treatment (septic tanks)	0.03-0.05	0	0	110-360	15-35	12-20	0.5-1.0			
Conventional primary treatment	0.02-0.04	0	0	330-730	15-40	12-20	0.5-1.0			
Advanced primary treatment (chemically enhanced)	0.04-0.06	0	0	730-2500	40-110	15-25	3.0-6.0			
Facultative pond	2.0-4.0	0	0	35-90	15-30	15-30	0.8-1.5			
Anaerobic pond + facultative pond	1.2-3.0	0	0	55-160	20-60	12-30	0.8-1.5			
Facultative aerated lagoon	0.25-0.5	1.2-2.0	11-18	30-220	7-30	20-35	2.0-3.5			
Complete-mix aerated lagoon + sedimentation pond	0.2-0.4	1.8-2.5	16-22	55-360	10-35	20-35	2.0-3.5			
Anaerobic pond + facultative pond + maturation pond	3.0-5.0	0	0	55-160	20-60	20-40	1.0-2.0			
Anaerobic pond + facultative pond + high-rate pond	2.0-3.5	<0.3	<2	55-160	20-60	20-35	1.5-2.5			
Anaerobic pond + facultative pond + algae removal	1.7-3.2	0	0	60-190	25-70	20-35	1.5-2.5			
Slow-rate treatment	10-50	0	0	-	-	8-25	0.4-1.2			
Rapid infiltration	1.0-6.0	0	0	-	-	12-30	0.5-1.5			
Overland flow	2.0-3.5	0	0	-	-	15-30	0.8-1.5			
Constructed wetlands	3.0-5.0	0	0	-	-	20-30	1.0-1.5			
Septic tank + anaerobic filter	0.2-0.35	0	0	180-1000	25-50	30-50	2.5-4.0			
Septic tank + infiltration	1.0-1.5	0	0	110-360	15-35	25-40	1.2-2.0			

System	Land requirements (m ² /inhabitant)	Power for aeration			Sludge volume			Costs	
		Installed power (W/inhabitant)	Consumed power (kWh/inhabitant per year)	Liquid sludge to be treated (litres per inhabitant per year)	Dewatered sludge to be disposed of (litres per inhabitant per year)	Construction (US\$/inhabitant)	Operation and maintenance (US\$/inhabitant per year)		
UASB reactor	0.03-0.10	0	0	70-220	10-35	12-20	1.0-1.5		
UASB + activated sludge	0.08-0.2	1.8-3.5	14-20	180-400	15-60	30-45	2.5-5.0		
UASB + high-rate trickling filter	0.1-0.2	0	0	180-400	15-55	25-35	2.0-3.0		
UASB + maturation ponds	1.5-2.5	0	0	150-250	10-35	15-30	1.8-3.0		
UASB + facultative aerated pond	0.15-0.3	0.3-0.6	2-5	150-300	15-50	15-35	2.0-3.5		
UASB + overland flow	1.5-3.0	0	0	70-220	10-35	20-35	2.0-3.0		
Conventional activated sludge	0.12-0.25	2.5-4.5	18-26	1100-3000	35-90	40-65	4.0-8.0		
Activated sludge + extended aeration	0.12-0.25	3.5-5.5	20-35	1200-2000	40-105	35-50	4.0-8.0		
Conventional activated sludge + tertiary filtration	0.15-0.30	2.5-4.5	18-26	1200-3100	40-100	50-75	6.0-10.0		
Low-rate trickling filter	0.15-0.3	0	0	360-1100	35-80	50-60	4.0-6.0		
High-rate trickling filter	0.12-0.25	0	0	500-1900	35-80	50-60	4.0-6.0		
Rotating biological contactor	0.1-0.2	0	0	330-1500	20-75	50-60	4.0-6.0		

UASB, Upflow anaerobic sludge blanket

Source: Adapted from von Sperling & Chernicharo (2005).

Annexe 8 : Eléments de l'analyse des impacts économiques

Source : Etude BRLi.

<i>La REUT conduit à considérer l'eau comme une ressource à valoriser et non plus seulement comme un déchet à évacuer. La notion de bénéfices à évaluer va constituer le fil conducteur des questions à se poser</i>		
	Thème principal	Données détaillées à recueillir
Investissements	Ouvrages d'épuration, de désinfection ; stockage et distribution des EUT	Génie Civil, conduites, pompes, filtres, appareils de régulation, automatismes
	Charges financières du projet	Subvention, emprunts (taux, durée), aides particulières
Coûts de fonctionnement	Pour tous les ouvrages identifiés	O&M, Energie, Personnel, intrants ; fiches d'intervention fréquentes et exceptionnelles
Eléments divers à collecter	population	Celle du Bassin Versant de la station d'épuration ; Celle concernée par la REUT ; Perspectives démographiques ; % des ménages sous le seuil de pauvreté
	Volumes d'eau	Volumes d'eau utilisés par tête d'habitant ; volumes entrant et sortant de la station d'épuration ; Rejetés au milieu naturel ; distribués selon usages
	Eau et population	Besoins en eau potable par habitant ; tarification eau potable ; redevance assainissement ; niveau de recouvrement ; capacité des usagers à payer
Spécificités de la REUT	Pour toutes les formes de REUT	Recettes attendues ; connaissance de la pénurie et impact de la REUT sur cette pénurie ; nombre d'emplois créés ; Chiffre d'affaires et valeurs ajoutées ; bénéfices non marchands ; dépenses évitées ; dommages économiques associés à un traitement insuffisant des EU ; avantages perdus ou auxquels on a renoncé
	REUT en agriculture	Surfaces agricoles irriguées ; besoins en eau par type de culture ; revenu agricole par ha et par culture ; valeur ajoutée par ha ; pérennité agricole ; dynamique du secteur : nombre de bénéficiaires ; accompagnement professionnel ; gains de superficies cultivées ; évolution de l'activité agricole à court terme et moyen terme ; redevance eau agricole
Description organisationnelle	Par type d'ouvrage ou par projet	Maîtrise d'ouvrage identifiée ; opérateur identifié ; structure de distribution Eaux Usées Traitées ou de service
	Formation du personnel	Pour la station d'épuration ; pour la gestion administrative du projet ; pour la protection du Milieu Naturel