

LA RÉUTILISATION DES EAUX USÉES TRAITÉES EN MÉDITERRANÉE : RETOUR D'EXPÉRIENCES ET AIDE À L'ÉLABORATION DE PROJETS

Nicolas Condom, Marianne Lefebvre, Laurent Vandome





LA RÉUTILISATION DES EAUX USÉES TRAITÉES EN
MÉDITERRANÉE : RETOUR D'EXPÉRIENCES
ET AIDE À L'ÉLABORATION DE PROJETS

Conception de la couverture : Plan Bleu

Photos © Photaki.com

Mise en page : Plan Bleu

Notice légale

Les appellations employées dans le présent document et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part du Plan Bleu aucune prise de position quant au statut juridique des pays, territoires, régions ou villes, ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites.

Droits de copyright

Le texte de la présente publication peut être reproduit en tout ou en partie à des fins pédagogiques et non lucratives sans autorisation spéciale de la part du détenteur du copyright, à condition de faire mention de la source. Le Plan Bleu serait reconnaissant d'avoir un exemplaire de toutes les publications qui ont utilisé ce matériel comme source. Il n'est pas possible d'utiliser la présente publication pour la revente ou à toutes autres fins commerciales sans demander au préalable par écrit la permission au Plan Bleu.

Pour des fins bibliographiques, citer le présent volume comme suit :

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

ISBN : 978-2-912081-30-8

Imprimé sur les presses numériques NEXPRESS SE 3600 de IPB Office Solutions
Papier CyclusPrint 130 et 250

© 2012 Plan Bleu



Plan Bleu
Centre d'activités régionales du PNUE/PAM
15, rue Beethoven, Sophia Antipolis
06560 Valbonne
France
www.planbleu.org

Table des matières

Remerciements	5
Résumé exécutif	7
Introduction	11
Contexte : les enjeux du développement de la REUT en Méditerranée	11
Objectifs de l'étude	11
Périmètre de l'étude et méthodologie	11
La réutilisation des eaux en Méditerranée : une diversité de ressources et d'usages	13
Typologie ressources-usages	13
La réutilisation d'eaux usées et d'effluents bruts	13
La réutilisation des eaux usées traitées en Méditerranée : paradigme et usages	14
Moteurs, contexte et objectifs stratégiques pour les projets de REUT	17
Les moteurs	17
Les facteurs contextuels : typologie et illustrations	18
Les risques et bénéfices de la REUT	23
Les objectifs stratégiques en relation avec les moteurs et le contexte	23
Les stratégies traditionnelles et parfois concurrentes	26
Les freins, les contraintes et les facteurs d'échec potentiels	27
Analyse économique et financière	29
Evaluation économique et financière : principe	29
Analyse coût-bénéfice (ACB) : objectifs et méthodologie	30
Analyse coûts-bénéfices privée	32
Analyse coûts-bénéfices sociale	33
Projet de REUT et scénarii alternatifs	38
Aller de l'avant : tirer les leçons de l'existant pour changer de paradigme	43
Connaître les facteurs de réussite	43
Lever les freins	43
Adopter une approche adaptée pour évaluer le potentiel d'un projet	45
Annexes	48
Annexe 1 Apports méthodologiques pour l'analyse économique	48
Annexe 2 Apports méthodologiques pour l'analyse de la viabilité financière	52
Annexe 3 L'évaluation de projets de REUT : informations et questionnements utiles	55
Liste des abréviations	57
Glossaire	58
Bibliographie	61
Liste des illustrations	63

Remerciements

Publication réalisée sous la direction de Hugues Ravenel, directeur du Plan Bleu par intérim, et coordonnée par Gaëlle Thivet, chargée de mission eau au Plan Bleu.

Auteurs

Ce cahier a été élaboré à partir d'une étude réalisée par le cabinet de conseil et formation Ecofilae (Nicolas Condom, Marianne Lefebvre et Laurent Vandome).

Comité de pilotage de l'étude

L'étude a été réalisée dans le cadre du programme « Environnement et Eau » du Centre de Marseille pour l'intégration en Méditerranée (CMI) avec une implication de ses différents partenaires :

- Agence française de développement (AFD), Frédéric Maurel et Alain Rotbardt
- Banque européenne d'investissement (BEI), Monica Scatasta
- Banque mondiale, Nicolas Kotschoubey (Consultant)
- Centre de Marseille pour l'intégration en Méditerranée, Nathalie Abu-Ata (Banque mondiale/CMI) et Jocelyne Vauquelin (AFD/CMI)
- Plan Bleu, Gaëlle Thivet

Comité de lecture

Gaëlle Thivet et Dominique Legros (Plan Bleu)

Réalisation

Cartographie : Auteurs et Jean-Pierre Giraud (Plan Bleu)

Bibliographie et documentation : Hélène Rousseaux

Conception graphique et réalisation : Isabelle Jöhr

L'Agence espagnole de coopération internationale pour le développement a soutenu la réalisation de ce rapport.



Les analyses et les conclusions de ce rapport ne reflètent pas nécessairement le point de vue officiel de l'Agence espagnole de coopération internationale pour le développement.

Résumé exécutif

Contexte, objectifs et démarche de l'étude

La réutilisation des eaux usées (*wastewater reuse*) consiste en l'utilisation d'eaux usées plus ou moins traitées dans un objectif de valorisation (usage bénéfique).

Les projets de réutilisation des eaux usées traitées (REUT) participent à la gestion intégrée des ressources en eau et à la préservation de l'environnement. Ils sont particulièrement stratégiques dans les pays arides et semi-arides de la région méditerranéenne où la pression sur les ressources en eau est forte. De plus, il y a concurrence entre les différents usages de l'eau, a fortiori dans un contexte de changement climatique.

Simple sur le principe, la REUT est pourtant complexe à mettre en œuvre comme l'attestent les difficultés rencontrées dans la mise en place des projets. A la croisée des problématiques de gestion de la ressource en eau, de l'assainissement, de l'environnement, de l'agriculture et de la santé publique, une approche intégrée, multidisciplinaire et spécifique à chaque situation est nécessaire.

Profiter des retours d'expériences en région méditerranéenne pour proposer des grilles d'analyse des projets et des outils méthodologiques d'aide à la décision, tel est l'objectif principal de ce rapport réalisé dans le cadre du programme « Environnement et eau » du Centre de Marseille pour l'intégration en Méditerranée.

Ce rapport résulte d'un travail de synthèse d'une vingtaine de rapports récents de différentes natures (rapports réalisés ou commandités par des organisations internationales, monographies nationales de pays méditerranéens, rapports prospectifs, etc.) auxquels s'ajoutent de nombreuses références bibliographiques.

S'articulent dans ce rapport :

- une démarche méthodologique et analytique visant à identifier et hiérarchiser les critères d'analyse techniques et économiques adaptés à la problématique de la REUT ;
- une démarche descriptive critique des expériences conduites en région méditerranéenne en soulignant notamment les impacts négatifs et positifs des projets ;
- une démarche d'aide à la décision avec proposition d'une « checklist » utilisable par des commanditaires ou des bailleurs dans les phases initiales de projets de REUT.

Le propos est étayé par de nombreuses illustrations tirées de situations réelles rencontrées dans les pays méditerranéens.

La réutilisation des eaux en Méditerranée : une diversité de ressources et d'usages

A l'échelle méditerranéenne, la REUT par irrigation sur des surfaces agricoles reste l'usage prépondérant et en fort développement car le secteur agricole prélève une part très importante des ressources en eau conventionnelles (65 % en moyenne à l'échelle de l'ensemble des pays méditerranéens, et plus de 80 % dans les pays du Sud et de l'Est), d'une part, et que la proportion d'eaux usées traitées au regard du volume total potentiellement réutilisable reste à ce jour minime pour la plupart des pays, d'autre part. Par ailleurs, pour les pays ayant un faible niveau d'équipement d'assainissement, l'irrigation d'eaux usées (brutes) est une pratique très ancrée, donc le risque de rejet (*'yuk factor'* = dégoût) de pratiques de REUT (qui assure des garanties sanitaires supérieures) est moindre. Enfin, le potentiel fertilisant est important.

La REUT sur les espaces verts et les golfs est une pratique en fort développement. La REUT pour la recharge des aquifères reste une pratique peu réglementée mais en forte progression dans les pays ayant une bonne maîtrise historique de la REUT (Espagne, Israël, Tunisie).

Les usages urbains et industriels restent localisés. Les usages domestiques (recyclage des eaux grises) et la potabilisation d'eaux usées traitées ne sont pas référencés.

Moteurs, contexte et objectifs stratégiques pour les projets de REUT

C'est la combinaison de moteurs, d'éléments contextuels et d'objectifs définis par les acteurs qui conduit à l'élaboration de stratégies de mise en place de projets de REUT.

Les moteurs (*drivers*) sont relatifs à des évolutions structurelles lourdes. On peut citer l'aggravation du déficit hydrique, l'urbanisation ou le développement de l'agriculture irriguée. Ils sont partagés par l'ensemble des pays.

Les facteurs contextuels expliquant l'émergence ou non de projets de REUT sont spécifiques à chaque pays ou situation locale : ils sont relatifs à la situation politique, économique, réglementaire, sanitaire, au type d'agriculture, au volume disponible de la ressource en eau ou encore aux performances d'assainissement.

Parmi les objectifs élaborés par les acteurs (décideurs, usagers, groupes de pression, etc.) dans un contexte donné et au vu des moteurs, on retrouve l'amélioration de la situation sanitaire, la préservation de la ressource en eau potable, la protection de l'environnement, le développement économique de l'agriculture et du tourisme.

Freins et facteurs de réussite pour les stratégies de REUT

L'efficacité des stratégies mises en œuvre pour le développement de projets de REUT est variable selon les contextes.

Dix freins principaux ont été répertoriés :

- la difficulté pour les acteurs de comprendre cette problématique complexe (enjeux croisés relatifs à l'eau, l'alimentation, la santé et l'environnement) ;
- des réglementations inadaptées au contexte local ;
- la compétition avec d'autres ressources en eau (notamment conventionnelles) ;
- la difficulté de combiner l'offre (ressource) et la demande (usages) dans l'espace et le temps ;
- des filières d'assainissement inadaptées ou incomplètes ;
- les risques de salinisation des sols et de pollution des eaux ;
- l'absence de procédures de contrôle ou de capacité analytiques ;
- une politique tarifaire inadaptée (avec fort subventionnement des ressources en eau conventionnelles) et des capacités financières limitées ;
- un déficit de connaissances et compétences techniques et ;
- une perception par les populations qui, selon les contextes, peut être fortement négative et conduire à un rejet.

A *contrario*, parmi les gages de réussite, on retient :

- une approche intégrée, multidisciplinaire et multisectorielle, concertée entre les acteurs et coordonnée au niveau des institutions ;
- une prise en compte, dès les étapes initiales de la conception du projet, des usages potentiels au regard des aspects quantitatifs et qualitatifs de la ressource en eaux usées ;

- une intégration de la REUT dans le cadre plus global d'une politique de gestion intégrée des ressources en eau.

Analyse économique et financière

Les analyses coûts-bénéfices

L'analyse économique d'un projet de REUT contribue à déterminer si le projet doit être mis en place, en comparant les coûts et bénéfices. L'analyse financière vise, elle, à déterminer si le projet peut être financé et comment. Dans ce rapport, l'accent est mis sur l'analyse économique de type analyse coûts-bénéfices (ACB).

Des indicateurs pour valoriser les coûts et bénéfices pour les différents acteurs de la filière de REUT (intervenant au niveau de la source, du traitement, du stockage, de la distribution ou de l'utilisation finale de l'eau) sont proposés. Le renseignement de ces indicateurs est utile pour la mise en place d'une ACB privée qui permet de mesurer la rentabilité d'un projet pour un investisseur. Les coûts privés incluent les coûts de l'investissement initial (coût de construction ou mise à niveau de l'usine de traitement et du réseau) et les coûts d'exploitation et de maintenance. Les bénéfices potentiels pour un investisseur sont l'augmentation des volumes d'eau vendus et la réduction de coûts liés à l'évacuation des eaux usées non réutilisées. De plus, l'utilisateur final (l'irrigant par exemple) peut bénéficier d'une augmentation des rendements grâce à la fertilisation organique, et d'une augmentation de la sécurité de l'approvisionnement en eau. Ces éléments sont susceptibles d'influencer positivement le consentement à payer pour l'eau de l'utilisateur.

L'ACB sociale mesure l'utilité sociale d'un projet, en incluant les coûts et bénéfices supportés par les agents extérieurs au projet en raison de la mise en place de celui-ci (externalités positives et négatives). Parmi les externalités positives et négatives sur la santé et sur l'environnement, et les enjeux sociaux susceptibles d'être associés à un projet de REUT, on peut citer par exemple : les impacts sur la contamination des sols et de l'eau souterraine, sur les débits des cours d'eau, sur le maintien d'une agriculture périurbaine et sur les paysages, sur l'approvisionnement en eau potable, les bénéfices agronomiques de long terme liés à la fertilisation organique, les émissions de gaz à effet de serre liés au traitement de l'eau et la pollution visuelle et olfactive générée par les bassins de décantation.

Ces externalités sont très rarement évaluées dans le cas des projets développés en Méditerranée, ce qui en fausse l'évaluation économique. Cette synthèse présente des méthodes permettant d'estimer les externalités et les impacts qualitatifs.

Projets de REUT et scénarii alternatifs

Une typologie des scénarii de développement de la REUT est proposée. Elle intègre l'ensemble de la filière, de la source à l'usage : i) réutilisation non contrôlée, ii) assainissement, iii) REUT par irrigation, iv) REUT par irrigation et recharge de nappe, v) REUT large incluant les usages domestiques et l'eau potable, vi) dessalement. Elle permet d'analyser les situations de réutilisation rencontrées suivant les pays, d'identifier un modèle d'évolution possible pour la maîtrise de la réutilisation, et de comparer les scénarii de réutilisation entre eux pour mener une analyse coûts-bénéfices.

Cette typologie permet également d'identifier la situation sans projet (situation contrefactuelle) par rapport à laquelle un scénario de développement doit être comparé sur 25 à 30 ans (durée de vie de l'investissement). L'évolution des risques en cas de non réalisation du projet doit être analysée : risques d'ordre sanitaire, évolution des compétitions entre les différents usages des ressources en eaux conventionnelles, risques environnementaux (salinisation des nappes, baisse de niveau des nappes, dégradation des hydrosystèmes), risques sociaux liés au développement de conflits d'usages de l'eau en aval, risques agricoles liés à la réutilisation d'eaux non traitées ou à la diminution des ressources en eau, et risque touristique lié à la pollution générée par les eaux rejetées.

Sur la base des situations rencontrées, six comparaisons de scénarii de développement de la REUT sont proposées¹. Pour chacun de ces comparatifs, une grille d'analyse détaille les différents types de coûts et bénéfices privés et sociaux à prendre en compte ainsi que les indicateurs permettant leur évaluation quantitative ou qualitative.

¹ Assainissement v/s non assainissement, ii) REUT par irrigation v/s irrigation par des eaux usées brutes, iii) REUT par irrigation v/s assainissement sans irrigation, iv) REUT par irrigation v/s irrigation traditionnelle par ressources en eaux conventionnelles, v) REUT tous usages (y/c domestique et eau potable) v/s irrigation + recharge + industrie, vi) REUT v/s dessalement et transfert d'eau.

Aller de l'avant : changer de paradigme

Sur la base des réussites et échecs constatés, différentes recommandations pour lever les freins et envisager des projets de REUT durables peuvent être formulées :

- adopter une démarche holistique et pluridisciplinaire en articulant l'approche ressource-usage ('top-down') avec l'approche usage-ressource ('bottom-up') ;
- choisir un modèle d'assainissement avant tout adapté à l'usage en envisageant la séparation des flux -notamment domestiques et industriels à l'amont- et en considérant la gestion des boues ;
- considérer le système irrigué (eau-sol-plante-homme) comme faisant partie intégrante de la filière d'assainissement et de valorisation et l'adapter en conséquence en repensant, lorsque cela est possible, les pratiques agronomiques et d'irrigation (évolution des systèmes de cultures, des équipements et doses d'irrigation...) ;
- adopter des mesures de réduction et de contrôle des risques sanitaires, environnementaux ou de rejet du projet ;
- étudier l'ensemble des dimensions économiques en évaluant toutes les externalités par des analyses coûts-bénéfices privées et sociales et mettre en place une politique tarifaire adaptée ;
- mettre en place des programmes de formation et de sensibilisation spécifiques à chaque groupe d'acteurs pour accroître leur niveau de compréhension, de compétence et, in fine, d'acceptation des projets ;
- adopter une approche « projet » adaptée et phasée permettant successivement de clarifier la situation, évaluer le bilan d'eau, identifier les scénarii possibles, évaluer la faisabilité du projet, puis sa viabilité avant de planifier et organiser le projet.

Introduction

Contexte : les enjeux du développement de la REUT en Méditerranée

La réutilisation des eaux usées (REU) consiste en l'utilisation d'eaux usées plus ou moins traitées dans un objectif de valorisation (usage bénéfique).

Les projets de réutilisation des eaux usées traitées (REUT) participent à la gestion intégrée des ressources en eau et à la préservation de l'environnement. Ils sont particulièrement stratégiques dans les pays arides et semi-arides de la région méditerranéenne où la pression sur les ressources en eau est forte, et qui connaissent des situations de concurrence entre les différents usages de l'eau, a fortiori dans un contexte de changement climatique.

En développant un usage alternatif des eaux usées traitées, ils permettent en particulier de diminuer la pression sur les ressources en eau et de libérer des quantités non négligeables d'eaux conventionnelles pour d'autres usages ou pour la préservation de l'environnement et le maintien des ressources en eau de surface et souterraines.

Les applications de la REUT sont nombreuses et fonction des niveaux de traitement : irrigation de terres agricoles, arrosage de parcs et espaces verts urbains, usages industriels et urbains, usages environnementaux et récréatifs et recharge de nappes.

Les enjeux du développement de la REUT sont liés à :

- l'accroissement des besoins en eau pour l'agriculture lié en particulier au changement climatique ;
- une urbanisation croissante qui génère une augmentation continue des flux d'eau et une expansion des réseaux d'adduction d'eau potable et d'assainissement ;
- un marché croissant pour des exploitations agricoles périurbaines pouvant bénéficier des avantages de la ressource en eau issue du traitement des eaux usées et de ses nutriments associés.

Simple sur le principe, la REUT est pourtant complexe à mettre en œuvre comme l'attestent les difficultés rencontrées dans la mise en place de nombreux projets. A la croisée des problématiques de gestion de la ressource en eau, de l'assainissement, de l'environnement, de l'agriculture et de la santé publique, une approche intégrée, multidisciplinaire et multisectorielle, spécifique à chaque situation, est nécessaire.

Objectifs de l'étude

Ce travail de synthèse, réalisé dans le cadre du programme Environnement & Eau du Centre de Marseille pour l'intégration en Méditerranée (CMI), avait pour objectif principal de profiter des retours d'expériences en matière de REUT en région méditerranéenne pour proposer des grilles d'analyse des projets et autres outils méthodologiques d'aide à la décision.

Il visait par ailleurs à :

- proposer des typologies ordonnant les situations de REUT rencontrées à différentes échelles territoriales (régionale, nationale ou locale) ;
- identifier et analyser les freins au développement de projets et formuler des recommandations pour les lever ;
- établir un guide méthodologique opérationnel combinant, de façon équilibrée, les aspects techniques, organisationnels et économiques.

Périmètre de l'étude et méthodologie

Démarche adoptée

Ce travail de synthèse s'est basé sur l'analyse d'une vingtaine de rapports de différentes natures (rapports réalisés ou commandités par des organisations internationales, monographies nationales, rapports prospectifs...). Une bibliographie complémentaire, portant notamment sur les aspects économiques, a permis d'enrichir cette analyse. La liste des documents utilisés est présentée dans la bibliographie.

Ainsi, s'articulent dans cette synthèse :

- une démarche analytique et méthodologique visant à identifier et hiérarchiser les critères d'analyse techniques et économiques, adaptés à la problématique de la REUT, qui conservent un caractère générique (au-delà de la situation des pays méditerranéens). Ces critères sont compilés sous forme de grilles ;
- une démarche descriptive critique des expériences conduites en région méditerranéenne permettant de comprendre les dynamiques de mise en place de projets de REUT ;
- une démarche « projet », d'aide à la décision, par l'élaboration d'une « check-list » utilisable pour des commanditaires ou des bailleurs de fonds dans les phases initiales de projets. Cette check-list est présentée dans le Tableau 15.

Il y a donc plusieurs niveaux de lecture possible.

Organisation de la publication

La diversité de ressources et d'usages en Méditerranée est tout d'abord présentée afin de mettre en évidence la nature et les enjeux de la REUT (*La réutilisation des eaux en Méditerranée : une diversité de ressources et d'usages*). Les moteurs et les contextes conduisant à la mise en place de projets sont analysés successivement et croisés pour comprendre comment ils déterminent les objectifs et les stratégies au regard des risques et bénéfices (*Moteurs, contexte et objectifs stratégiques pour les projets de REUT*). Une évaluation économique détaillée est ensuite conduite par des analyses coûts-bénéfices privée et sociale complétées par un volet financier (*Analyse économique et financière*). En fin de rapport, en guise de synthèse, les leviers permettant de lever les freins sont tout d'abord analysés et un cadre opérationnel permettant de dérouler les phases initiales de projet (de l'idée à l'étude de faisabilité) est proposé avec deux outils, une méthodologie projet étape par étape et une « check-list » (*Aller de l'avant : tirer les leçons de l'existant pour changer de paradigme*).

Limites de l'étude

De par le contenu des documents analysés, les aspects suivants sont peu développés dans le rapport :

- la gestion des boues de traitement (stations d'épuration, lagunages) : le traitement des eaux consistant en un transfert de matière des eaux vers des boues, la gestion des boues fait partie intégrante de la logique de REUT. Cet aspect n'est néanmoins pas développé dans les documents analysés portant sur les pays méditerranéens ;
- la réutilisation non contrôlée (par irrigation) des eaux usées brutes : pratique de loin majoritaire et historique, elle peut correspondre au scénario de base (situation contrefactuelle) lors de l'élaboration d'un projet de REUT. L'analyse de ces pratiques (risques mais aussi bénéfices), très peu présente dans les documents étudiés, serait pertinente. Dans ce rapport, elle est illustrée à l'échelle du bassin méditerranéen (*La réutilisation d'eaux usées et d'effluents bruts*) et intégrée comme un scénario dans l'analyse économique (*Projet de REUT et scénarii alternatifs*) ;
- les autres modèles de REUT : la REUT s'envisage souvent implicitement pour des eaux usées domestiques avec une filière de traitement centralisée (réseau unitaire et station d'épuration). Or il existe d'autres formes de réutilisation durables et contrôlées pouvant être complémentaires telles

que la réutilisation à l'échelle d'assainissement non collectif et la réutilisation d'effluents agro-industriels bruts par épandage (agro-épuration) ;

- les liens énergie-REUT : l'approche énergétique est pertinente dans le cadre de l'optimisation économique et écologique (rejets de CO₂) de la REUT et de sa comparaison économique avec d'autres ressources non conventionnelles, notamment le dessalement. Les informations ne sont pas disponibles dans les documents étudiés.

La réutilisation des eaux en Méditerranée : une diversité de ressources et d'usages

Typologie ressources-usages

Le tableau 1 illustre la diversité des ressources en eau et usages en Méditerranée et met en avant les usages possibles en fonction de la nature de la ressource en eau. Les eaux usées brutes domestiques sont ainsi utilisées essentiellement pour l'irrigation agricole et pour des usages environnementaux comme le soutien d'étiage et la préservation des zones humides. Les eaux usées traitées servent également d'autres usages comme l'irrigation d'espaces verts et de golfs, la recharge de nappes, des usages industriels ou encore urbains.

Tableau 1 Nature de la ressource en eau et usages dans la région méditerranéenne

RESSOURCES EN EAU	CONVENTIONNELLES		NON CONVENTIONNELLES						
	Nappes	Eaux de surface (rivières, lacs)	Eaux de drainage	Eaux saumâtres	Eaux usées brutes domestiques	Eaux usées traitées	Eau de mer dessalée	Eau saumâtre dessalée	Effluents industriels bruts
USAGES									
Irrigation agricole									
Irrigation des espaces verts et golfs									
Recharge de nappe									
Environnement (soutien d'étiage, zones humides,...)									
Usages industriels									Partiel (recyclage)
Usages urbains									
Usages domestiques									
Eau potable									

La réutilisation d'eaux usées et d'effluents bruts

L'irrigation d'eaux usées domestiques brutes (REU non contrôlée)

Il convient au préalable de souligner que, par manque d'infrastructures d'assainissement adaptées, la pratique de loin la plus répandue est l'irrigation d'eaux usées brutes (sans traitement ni contrôle).

Lorsque que le réseau de collecte existe (même rustique), les eaux usées sont déversées en quelques points en périphérie des villes dans des canaux et utilisées comme ressource alternative par les agriculteurs. Pour

des raisons de proximité des marchés combinées à l'absence de chaîne du froid, l'agriculture péri-urbaine se développe au contact des eaux usées. A l'échelle mondiale, on estime que 20 millions d'hectares sont concernés (estimation ONU, 2003). 10 % de la population mondiale consommerait des produits issus de l'agriculture irriguée par des eaux usées brutes (80 % à Hanoï, 70 % à Dakar, 25 % au Pakistan) (FAO, 2010 et Bahri, 2009). Par ailleurs, le volume d'eaux usées générées est en forte augmentation.

Dans les zones peu équipées de stations d'épuration, cet état de fait est souvent la situation contrefactuelle (existante) à considérer, dans ses impacts négatifs et positifs, pour l'analyse économique des options de REUT.

L'agro-épuration d'effluents agro-industriels

L'agro-épuration (*land treatment system*) consiste à dimensionner un système agronomique (sol-cultures) irrigué adapté et dévolu à l'épuration, pour valoriser ses capacités d'épuration. Un pré-traitement des effluents (filtration par exemple) peut être requis et une capacité de stockage est nécessaire. L'agro-épuration s'inscrit dans une logique d'épandage intensif avec des apports répétés. Ce système requiert un contrôle très minutieux des évolutions chimiques des sols et des eaux et une évaluation fine des risques (Bahri, 2009).

La valorisation des boues

La valorisation des boues par épandage concourt de la même logique que l'agro-épuration. Notons ici que toute réutilisation des eaux usées traitées s'accompagne nécessairement d'une production de boues (au niveau des stations d'épuration ou du lagunage) puisque l'épuration consiste pour une grande partie en un transfert de la matière des eaux vers les boues.

La gestion des boues est un aspect connexe à la REUT mais est très souvent occultée dans les études liées à la REUT en Méditerranée.

La réutilisation des eaux usées traitées en Méditerranée : paradigme et usages

Paradigme de la réutilisation des eaux usées traitées (REUT)

La réutilisation des eaux usées (*wastewater reuse*) consiste en l'utilisation d'eaux usées plus ou moins traitées dans un objectif de valorisation (usage bénéfique). On distingue :

- La réutilisation contrôlée des eaux usées traitées (*Planned water reuse*) qui est l'utilisation des eaux usées sans perte de contrôle de la qualité de la source à l'utilisation ;
- Et la réutilisation non contrôlée des eaux usées (non traitées) (*Unplanned water reuse*).

La réutilisation des eaux usées traitées est un pont entre la ressource en eau, l'assainissement et la demande agricole en eau (les usages industriels et urbains étant à ce jour moins développés), voire en éléments fertilisants.

La réutilisation des eaux usées traitées est cohérente avec le paradigme de gestion intégrée des ressources en eau qui se définit comme suit :

« La GIRE est un processus qui encourage la mise en valeur et la gestion coordonnée de l'eau, des terres et des ressources associées en vue de maximiser le bien-être économique et social qui en résulte d'une manière équitable, sans compromettre la durabilité d'écosystèmes vitaux » (Partenariat Mondial de l'Eau, 2000).

Typologie des usages de REUT

Les usages concernés par la REUT sont schématisés dans la figure 1 et détaillés dans le tableau 2.

REUT et irrigation

A l'échelle mondiale et méditerranéenne, la REUT par irrigation sur des surfaces agricoles est l'usage prépondérant, en fort développement pour les raisons suivantes :

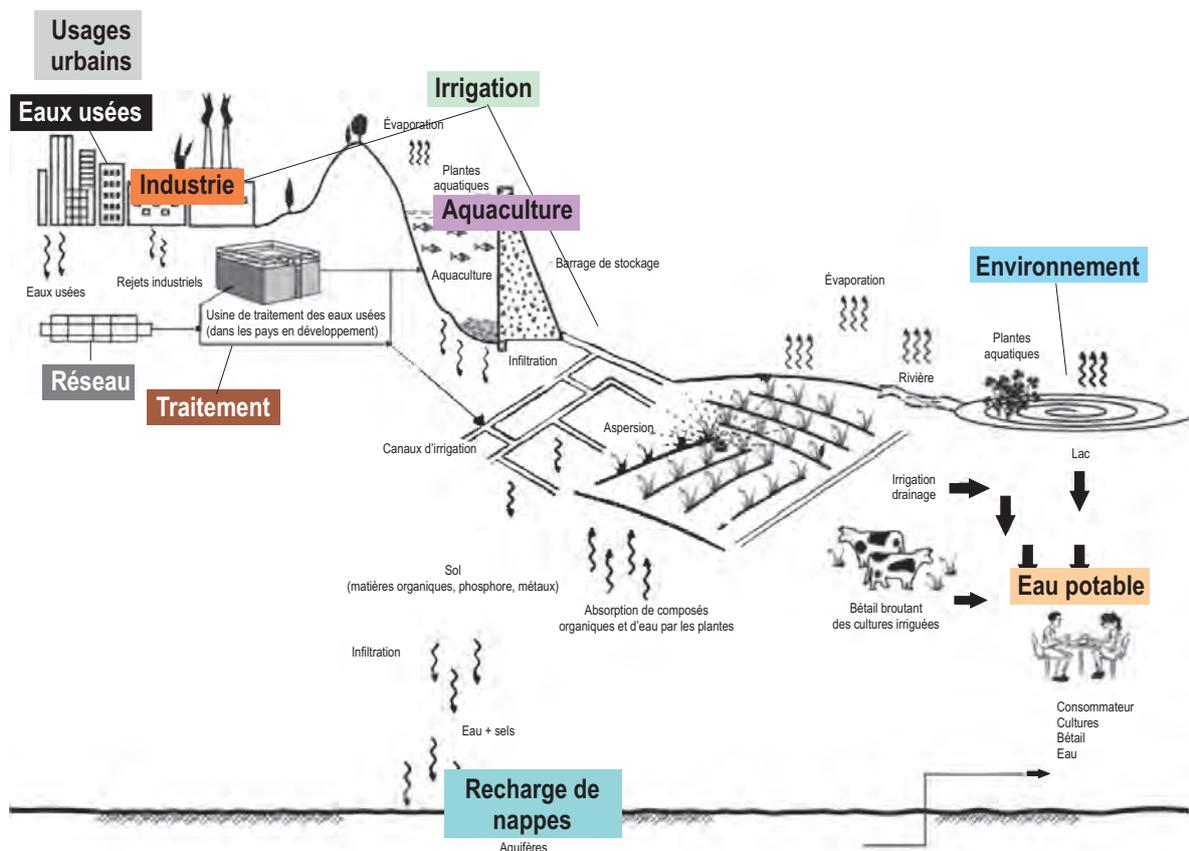
- en région méditerranéenne, l'agriculture irriguée consomme en moyenne près de 65% des ressources en eau conventionnelles prélevées, et plus de 80% dans les pays du Sud et de l'Est : les eaux usées traitées apparaissent donc comme une ressource alternative permettant d'économiser les ressources conventionnelles ;
- la proportion d'EUT au regard du volume d'eau irriguée est, pour la plupart des pays, encore très réduite : 1% à l'échelle mondiale (IWA, 2008). En Syrie, les eaux usées (traitées et non traitées) couvrent 6% de la demande en eau pour l'irrigation. La marge de progression est donc forte pour atteindre le potentiel ;
- le potentiel fertilisant est important : pour une lame d'eau de 800 mm/an², les quantités d'azote et de phosphore apportées par les eaux usées traitées (boues activées sans traitement de dénitrification)³ sont respectivement de l'ordre de 150 kg et 50 kg, pouvant ainsi excéder la moitié des besoins de fertilisation ;
- pour les pays ayant un faible niveau d'équipement d'assainissement, l'irrigation d'eaux usées (brutes) est une pratique très ancrée, donc le risque de rejet ('*yuk factor*' = dégoût) de pratiques de REUT, qui assurent des garanties sanitaires supérieures, est moindre. Ceci est vrai en milieu rural mais pas en zone urbaine (du fait de perceptions différentes des populations).

La REUT sur des espaces verts et des golfs est une pratique en fort développement (Kramer & al., 2007).

2 Valeur moyenne retenue pour la Syrie (source : BEI and AHT Group AG, 2009).

3 Valeurs retenues : N total : 15 à 35 mg/l ; Pt : 4 à 10 mg/l (source : Asano, 2007).

Figure 1 Les usages de REUT



Source : adapté de WHO, 2006

Tableau 2 Usages possibles de la REUT et exemples en Méditerranée (et Asie)

Irrigation	<p>Irrigation de cultures alimentaires ou non-alimentaires Irrigation paysagère : parcs, golfs, aires résidentielles... Irrigation forestière Agro-épuration</p> <p><i>Ex. Irrigation agricole et/ou forestière (Espagne, France, Israël, Italie, Jordanie)</i> <i>Ex. Arrosage de golfs et espaces verts ou arrosages urbains (Hammamet, Tunisie)</i></p>
Préservation de l'environnement	<p>Recharge de nappes Augmentation des eaux de surface Lutte contre les phénomènes d'intrusion saline Usages récréatifs et environnementaux (lacs...)</p>
Usages industriels	<p>Recyclage (eaux de refroidissement, eaux de process...) Construction</p> <p><i>Ex. Usage industriel (Maroc, site Minier de l'office Chérifien des Phosphates) (cf. encadré 2)</i></p>
Usages urbains hors irrigation (système de distribution double)	<p>Chasses d'eau (réutilisation sur site) Eau de refroidissement pour la climatisation Protection contre les incendies Eaux à usage ornemental Entretien routier et maintenance Lavage des voitures</p> <p><i>Ex. Recyclage des eaux grises (Chypre, Japon)</i></p>
Eau potable	<p>Réutilisation indirecte via l'augmentation des eaux de surface Réutilisation directe (mélange avec de l'eau potable conventionnelle)</p> <p><i>Ex. Alimentation en eau potable (Singapour)</i></p>
Autres usages	<p>Lutte contre les incendies, neige artificielle...</p>

REUT et recharge de nappe

Les objectifs principaux recherchés de la REUT pour la recharge de nappe sont :

- le maintien des niveaux piézométriques pour permettre aux irrigants de remobiliser l'eau filtrée ;
- la lutte contre l'intrusion de biseau salé (à Barcelone en Espagne, Korba en Tunisie) ;
- l'utilisation du pouvoir épurateur du sol pour assurer un traitement de finition des EUT (immobilisation du phosphore notamment).

Les rapports d'étude analysés mentionnent ou développent très peu cet usage, ce qui, en un sens, traduit la réalité opérationnelle. C'est un usage moins mature et moins prioritaire que la REUT par irrigation, sauf pour les pays leaders sur la REUT comme l'Espagne (projet à Barcelone), Israël ou la Tunisie (projet sur le Grand Tunis). Il requiert notamment une bonne maîtrise de la qualité des EUT et une bonne connaissance du contexte hydrogéologique.

Encadré 1 La recharge de nappes à partir d'eaux usées traitées en Méditerranée

En Méditerranée, on observe que la recharge de nappes est un usage postérieur à celui de la REUT par irrigation. Il y a de grandes disparités de maturité entre pays pour cet usage. On distingue :

les pays disposant d'applications opérationnelles : Espagne (leader sur cet usage), Israël ;

- les pays ayant mis en place des projets pilotes de grande ampleur et ayant réglementé cet usage : Tunisie ;
- les pays peu concernés à ce stade par cet usage qui reste interdit ou non réglementé : Chypre, Egypte (sites expérimentaux), France, Italie, Liban, Syrie.

Les retours d'expériences sont positifs sur le plan technique et scientifique comme Shafdan en Israël ou à Nabeul et Korba en Tunisie (AFD et BRLi, 2011). L'efficacité pour la lutte contre l'intrusion des biseaux salés est en cours d'évaluation en Espagne.

REUT et industrie

La réutilisation industrielle permet d'augmenter la productivité des usines en économisant de la ressource en eau et en réduisant le volume des eaux résiduaires. Elle se décline sous deux formes :

- la réutilisation, par une usine, d'eaux usées que cette usine a elle-même générées et traitées : on parle alors de recyclage. Ce dernier requiert une parfaite maîtrise des traitements pour maintenir une qualité sans risque pour le processus industriel (machine). De ce fait, des solutions de traitement spécifiques à chaque contexte, intégrant la qualité des eaux et les usages attendus (refroidissement, processus interne, nettoyage), sont nécessaires. Un effet annexe positif est la non-contamination des

eaux usées domestiques par les eaux industrielles, ce qui rend les premières plus facilement réutilisables ;

- la réutilisation d'eaux usées traitées d'origine domestique qui peut être profitable pour le refroidissement et le nettoyage (secteurs de l'énergie, laveries, lavage de voiture, industrie du papier, production d'acier, de textiles...).

Encadré 2 La réutilisation industrielle d'eau usées pour le lessivage des phosphates au Maroc (Khouribga)

Au Maroc, le plus grand projet de réutilisation industrielle des eaux usées pour le lessivage des phosphates est celui de la station d'épuration (STEP) de Khouribga (boues activées). L'Office Chérifien des Phosphates (OCP) qui exploite la mine de Khouribga, représentant 4/5 des extraits de phosphates au Maroc, a cofinancé la STEP qui aura une capacité de traitement de 15 700 m³/j à l'horizon 2020. L'OCP prévoit de réutiliser la totalité de l'eau traitée pendant toute l'année pour le lavage des phosphates. Le lavage se faisant par aspersion, il est nécessaire d'utiliser une eau exempte de germes pathogènes, sans couleur ni odeur en sortie du traitement tertiaire.

Ce projet a un impact très positif sur la protection des ressources souterraines de la région et est moins coûteux par rapport à d'autres sources alternatives d'eau comme le dessalement de l'eau de mer (BEI et AHT Group AG, 2009).

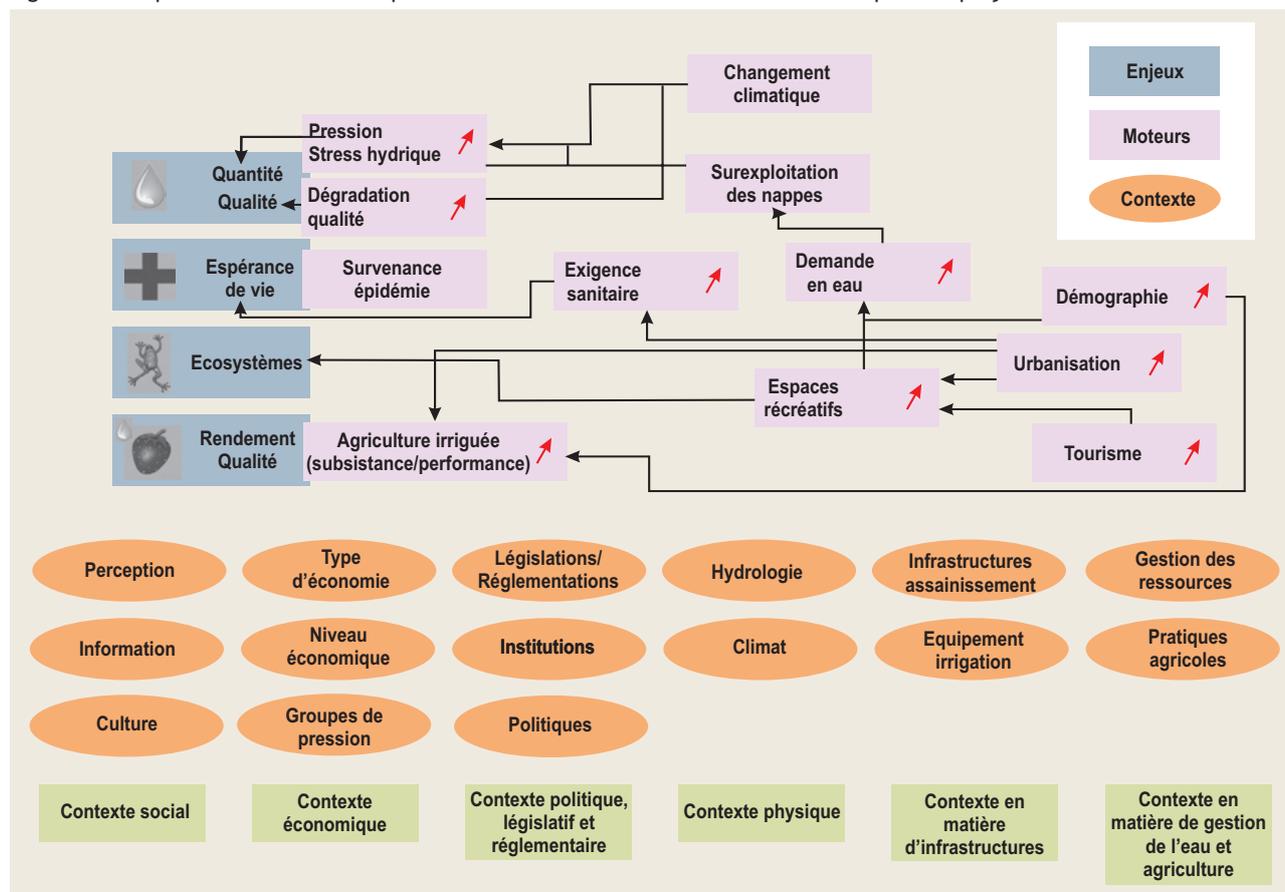
Compte-tenu des politiques mises en œuvre pour le traitement séparatif des eaux industrielles (Maroc par exemple), cet usage devrait se développer dans le futur.

Moteurs, contexte et objectifs stratégiques pour les projets de REUT

C'est la combinaison de moteurs, d'éléments contextuels et d'objectifs définis par les acteurs qui conduit à l'élaboration de stratégies de mise en place de projets de REUT.

La Figure 2 représente les moteurs et indicateurs contextuels associés aux quatre enjeux : eau, santé, environnement et agriculture/alimentation.

Figure 2 Représentation schématique des moteurs et des indicateurs contextuels pour un projet de REUT



Les moteurs

Typologie des moteurs

Les moteurs (drivers) sont relatifs à des évolutions structurelles lourdes qui dépendent peu d'un choix ou d'une politique. On peut citer l'aggravation du déficit hydrique, l'urbanisation et le développement de l'agriculture péri-urbaine. Ces évolutions deviennent des moteurs lorsque des seuils critiques sont atteints ou en passe de l'être.

Sur la base des projets méditerranéens analysés, une typologie de ces moteurs est proposée dans le Tableau 3.

Ces moteurs tendront à devenir de plus en plus puissants si aucune action n'est entreprise.

Des moteurs inter-dépendants

Difficile d'isoler les moteurs entre eux : ils sont, pour la plupart, liés par des relations de cause à effet.

A titre d'illustration, **la dégradation de la qualité des eaux de nappe** est liée aux moteurs suivants :

- le changement climatique qui, dans certains pays, est à l'origine d'une baisse des précipitations et accentue de ce fait la pénurie d'eau, réduit l'alimentation des rivières causant une concentration des polluants qui, aux points de

Tableau 3 Typologie des moteurs pour la mise en place de stratégies de REUT en Méditerranée

Secteur d'application	Moteurs
Ressources et demandes en eau	Pression sur la ressource, surexploitation des nappes (prélèvements > recharge) Détérioration de la qualité des eaux de surface et souterraines (pollution par les eaux usées, pollutions diffuses d'origine agricole, pollutions ponctuelles industrielles, salinisation par intrusion d'eau de mer) Augmentation de la demande en eau potable (population, tourisme) Autres usages en fort développement (industries, activités touristiques) Changement climatique (accentuation du stress hydrique)
Rejets d'eaux usées	Augmentation des rejets d'eaux usées Recyclage des nutriments des eaux usées traitées
Environnement	Dégradation des écosystèmes aquatiques Disparition des zones humides
Agriculture irriguée	Développement de l'agriculture péri-urbaine Croissance de la demande en produits alimentaires Développement de l'agriculture irriguée plus profitable Dégradation de la fertilité des sols (réutilisation non contrôlée)
Espaces verts	Développement des espaces verts et récréatifs
Etat sanitaire	Infections, maladies, épidémies
Socio-économie	Recherche de moyens de subsistance Augmentation des exigences sanitaires (eau, milieu, produits alimentaires notamment pour l'exportation) Non acceptation des pratiques non contrôlées (irrigation par des eaux usées brutes)

transfert vers la nappe, engendre une pollution diffuse;

Le changement climatique est à l'origine d'une accentuation des épisodes de sécheresse, d'une augmentation des événements extrêmes et d'une réduction des ressources en eau. En Espagne, l'alimentation des bassins a été réduite de 30 à 50 %. En Syrie, les précipitations annuelles ont été réduites de 30 % au siècle dernier (BEI and AHT Group, 2009).

- l'infiltration d'eaux usées non traitées du fait de l'absence d'infrastructures d'assainissement ;
- la surexploitation des nappes qui conduit à des intrusions salines enrichissant l'eau de nappe en sels (Banque mondiale, 2010) ;
C'est le cas en Israël (aquifère côtier) où la salinité de l'eau a doublé en quelques décennies (>250 mg Cl/l) entraînant l'abandon de 60 % des puits utilisables pour l'alimentation en eau potable.
- le développement touristique qui, dans les régions côtières, réduit la possibilité de pouvoir rejeter les EUT en mer et contribue à envisager des solutions de traitement et REUT plus performants pour conduire à une qualité d'eau supérieure (limitation des phénomènes d'eutrophisation). A contrario, les forts pics démographiques saisonniers contribuent à augmenter le volume d'eaux usées à traiter ;
- l'intensification de l'agriculture et le développement des industries qui impactent la qualité des aquifères ;

En Israël (aquifère côtier), les teneurs en métaux lourds, polluants microbiologiques ou composés toxiques ont augmenté. Le doublement en quelques décennies de la concentration en nitrates rend 15% de l'eau pompée impropre à la consommation selon les standards israéliens.

- l'urbanisation et l'imperméabilisation des sols qui en découle conduisent dans les zones densément peuplées à réduire la recharge de la nappe (en Israël : 70 Mm³ de déficit, 150 Mm³ d'ici 2020).

La **disparition des écosystèmes aquatiques** est liée aux moteurs suivants :

- la surexploitation des nappes qui abaisse les niveaux piézométriques. En Espagne, 60 % des zones humides ont disparu en 40 ans (EVREN, 2011) ;
- l'activité humaine en général qui tend à soustraire la part de la ressource indispensable à la survie des écosystèmes.

La mer morte voit son niveau baisser d'un mètre par an, les eaux du Jourdain ayant été dérivées pour l'alimentation d'Israël, de la Jordanie et de la Syrie (Feitelson & Laster, 2011).

Les facteurs contextuels : typologie et illustrations

Le contexte (national, régional ou local) va déterminer la hiérarchie de ces moteurs et leur importance relative dans la prise de décision. Ce contexte se

caractérisé par des indicateurs (par exemple : PIB, population, précipitations...) qui sont variables dans le temps (du fait de la croissance économique, de la croissance démographique, des impacts du changement climatique, etc.).

Une typologie des facteurs contextuels et des évolutions associées est proposée dans le Tableau 4. Ces facteurs font ci-après l'objet d'illustrations sur des cas concrets.

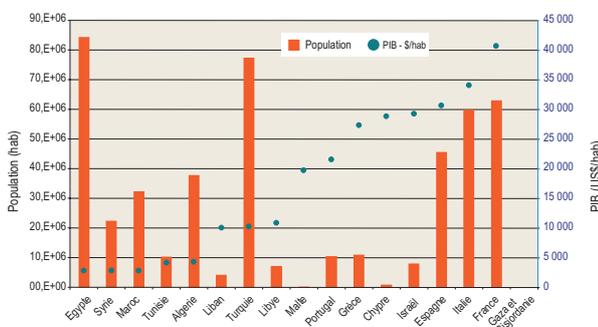
Illustration du contexte socio-économique

• Niveau de développement économique

La hiérarchie des moteurs ou motivations et leur importance relative varient en fonction du niveau de développement des pays (FAO, 2010). Concernant l'agriculture, l'objectif premier recherché par les pays émergents, à savoir nourrir la population et dégager des revenus, a évolué pour les pays développés vers l'amélioration de la santé des populations et le développement d'espaces récréatifs.

Les données démographiques et le niveau de développement économique des pays méditerranéens sont présentés sur la Figure 3.

Figure 3 Population et PIB des pays méditerranéens en 2009



Sources : PIB 2009 (FMI) - Population (INED)

• Développement des centres urbains

Les pays du Sud et de l'Est de la Méditerranée connaissent une forte croissance démographique (1,5%/an en Israël, 2,5%/an en Syrie et 1%/an en Tunisie). Mais l'évolution majeure est la concentration des populations vers les centres urbains : le pourcentage de la population citadine est, par exemple, de 92% en Israël, 33% en Syrie (50% en 2050), il sera de l'ordre de 75% en Tunisie en 2050. Cette concentration accroît la production d'eaux usées d'une part et renforce le rôle que peut jouer l'agriculture péri-urbaine dans la consommation d'EUT d'autre part.

- **Importance et type d'agriculture** : situation en Syrie, en Tunisie, en Espagne et en Israël

En Syrie, l'agriculture est un secteur économique majeur. Elle représente 22 % du PIB et occupe 31 % (5.8 Mha) de la surface du pays. 25 % des terres cultivées sont irriguées (2004), la quasi-totalité (97 %) l'étant par submersion et irrigation gravitaire avec une faible efficacité d'irrigation (de l'ordre de 60 %). Les rendements agricoles sur les superficies irriguées (dédiées principalement à la culture de céréales, de coton et au maraîchage) sont nettement plus élevés que ceux de l'agriculture pluviale (x5 pour le blé et les agrumes). Les techniques d'aspersion et d'irrigation localisée sont peu répandues (190 000 ha, correspondant à 3 % de la surface irriguée) mais en fort développement. Le drainage couvre 62 % des surfaces irriguées pour éviter les phénomènes de salinisation.

En Tunisie, l'agriculture, secteur en croissance, contribue pour 11% au PIB et concerne 23 % de la population active. La surface arable est de 4.9 Mha, dont seulement 405 000 (8 %) sont irrigués. Le potentiel d'irrigation est limité (environ 500 000 ha) compte tenu des ressources en eau affectées à ce secteur. 60 % de l'irrigation est réalisée par aspersion (111 000 ha) et goutte-à-goutte (irrigation localisée) (24 500 ha). Le pays a entrepris de gros efforts de modernisation du secteur de l'irrigation.

En Espagne, l'agriculture représente 3 % du PIB. 3,5 Mha sont irrigués et 66 % des surfaces irriguées le sont par des techniques à forte efficacité (irrigation localisée, aspersion). Le réseau de barrages et réservoirs est dense avec des usages multiples des eaux stockées (agriculture, soutien d'étiage, hydroélectricité, etc.).

En Israël, l'agriculture contribue pour 2 % au PIB. Sur 355 000 ha arables, 51 % sont irrigués et valorisés majoritairement par des cultures à haute valeur ajoutée (50 % fruits, 25 % maraîchage). Les exigences en matière de qualité de l'eau sont variables.

- **Tourisme et industrie** : situation en Syrie et en Tunisie

En Syrie, la demande en eau industrielle équivaldrait à la demande en eau domestique (8,5 % de la demande totale en eau en 2025).

En Tunisie, l'industrie contribue à 26 % du PIB. Le tourisme est un secteur important (7 % PIB).

Tableau 4 Les indicateurs contextuels agissant sur les moteur de décision pour des projets de REUT

Variables	Indicateurs et évolution
Socio-économiques	
Niveau de développement économique	PIB (ou RIB) Evolution : Taux de croissance
Démographie	Densité de population Evolution : croissance démographique
Urbanisation	Répartition ville/zone rurale Evolution : urbanisation, migration vers les villes
Importance et type d'agriculture	Grandes cultures, maraîchage... Place de l'agriculture irriguée Type d'irrigation, efficacité, pratiques Importance économique Types de marché : export/domestique/subsistance
Tourisme, industrie	Fréquentation touristique, développement industriel
Groupes de pression	Groupes de pression agricoles/touristiques, environnementalistes, consommateurs
Culture, religion	Perception de la réutilisation des eaux usées
Ressources en eau, usages et déficit hydrique	
Ressource en eau	Potentiel de ressources en eau renouvelables Ressources conventionnelles (nappes, rivières) et non conventionnelles (eaux usées traitées, eau saumâtre dessalée, eau de mer dessalée, eaux de drainage) Indice d'exploitation des nappes et eaux de surface
Demande en eau, notamment demande en eau d'irrigation et domestique	
Qualité des eaux de nappe et de surface (polluants, salinité, azote)	
Déficit hydrique	Indice de stress hydrique Indice d'utilisation de la ressource en eau renouvelable Episodes de sécheresse
Culture de la réutilisation des eaux usées	Existence d'irrigation par des eaux brutes (oui/non) Existence de REUT (oui/non)
Irrigation d'eaux usées brutes (non contrôlées)	Volume d'eaux usées brutes réutilisé Surface irriguée par des eaux usées brutes
Irrigation d'eaux usées traitées	
Usages de REUT	
Physiques	
Climat	Précipitations, évapotranspiration potentielle Episodes de sécheresse (nombre, durée)
Caractéristiques physiques et hydrologiques	Caractéristiques des bassins versants Nature des sols Bassins versants transfrontaliers
Infrastructures d'assainissement	
Collecte des eaux usées	Oui/non Nombre de stations d'épuration
Assainissement	Oui/non Type de procédé
Politiques et réglementation	
(Géo)-politique	Politiques incitatives Accords internationaux Autonomie dans la gestion de la ressource
Nature des législations, réglementations et recommandations	
Aux niveaux international, national, régional ou local	Recommandations (lignes directrices) (OMS, EPA, ...) Législations et réglementations sur la protection des eaux de surface et des nappes, l'assainissement et l'irrigation Législation et réglementation spécifique sur la REUT

Illustration du contexte hydrique : des pressions croissantes sur les ressources en eau

En Méditerranée, les ressources en eau sont très inégalement réparties dans l'espace et dans le temps. Les situations de pénuries d'eau et de sécheresses sont fréquentes, affectant tout particulièrement les pays du Sud et de l'Est. La population méditerranéenne « pauvre » en eau, c'est-à-dire celle des pays disposant de moins de 1000 m³/hab/an de ressources renouvelables, pourrait atteindre 250 millions d'habitants en 2025, dont 80 millions en situation de pénurie avec moins de 500 m³/hab/an.

La demande en eau de l'ensemble des pays méditerranéens a doublé dans la deuxième moitié du 20ème siècle pour atteindre, en 2007, 280 km³/an. Elle pourrait encore s'accroître de près de 20 % d'ici à 2025, pour l'essentiel dans les pays du Sud et de l'Est.

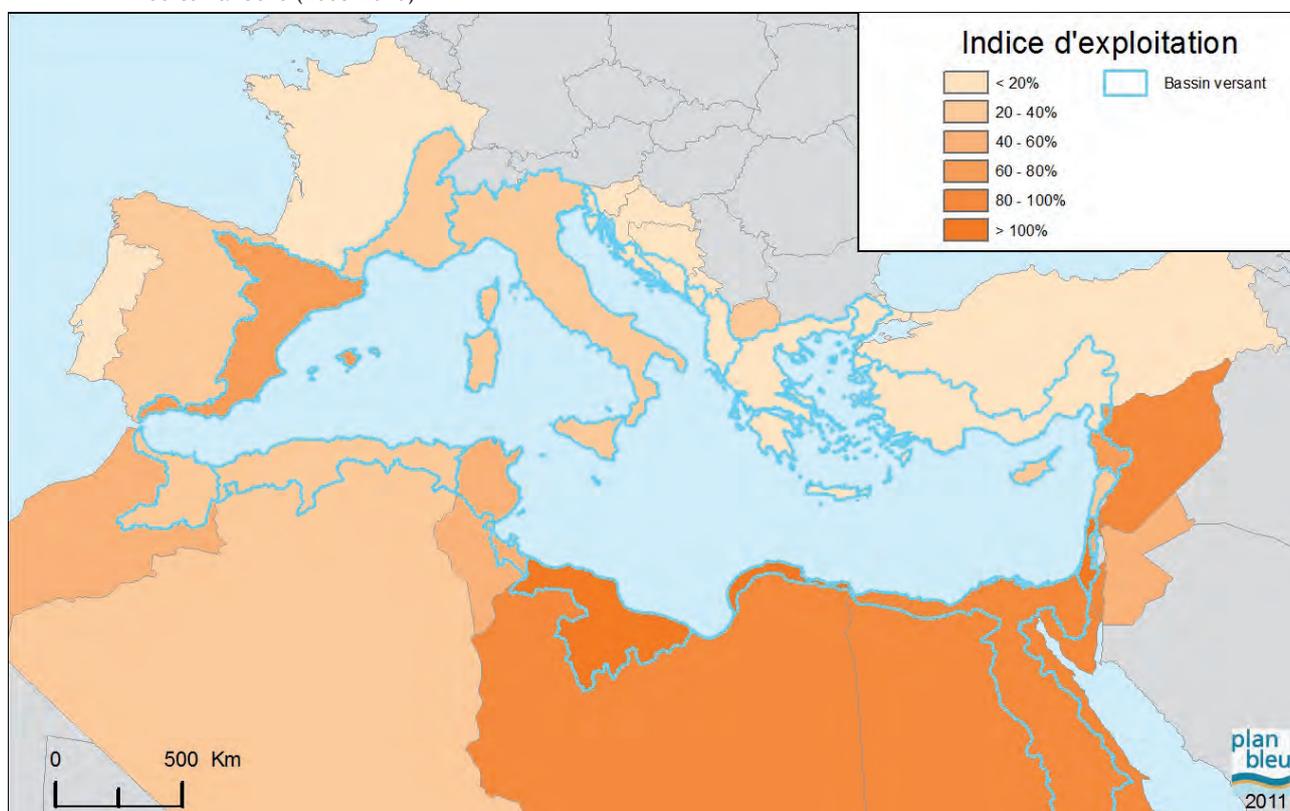
Dans certains pays (Egypte, Israël, Jordanie, Libye, Malte, Syrie, Territoires palestiniens), les prélèvements en eau approchent voire dépassent déjà le niveau limite des ressources renouvelables

(Figure 4). Une partie croissante des demandes est satisfaite par une production d'eau « non durable » reposant sur le prélèvement d'eaux fossiles ou sur la surexploitation de ressources renouvelables (cas, notamment, de nappes côtières en Espagne, Israël et Tunisie).

Pour faire face aux situations de stress hydrique, les pays méditerranéens ont de plus en plus recours aux ressources en eau non conventionnelles telles que le dessalement d'eau de mer ou d'eau saumâtre et la réutilisation d'eaux usées traitées. La Figure 5 représente, pour certains pays méditerranéens, les volumes de ressources en eau conventionnelles et non conventionnelles disponibles.

La qualité des eaux de nappe et de surface est dégradée dans de nombreuses régions méditerranéennes du fait de la surexploitation des nappes provoquant des intrusions marines (salinité), des rejets d'eaux urbaines non traitées (pollution microbiologique, azote, phosphore, polluants émergents), des rejets industriels (composés toxiques) et des pollutions agricoles (eaux de drainage, produits phytosanitaires, azote, phosphore).

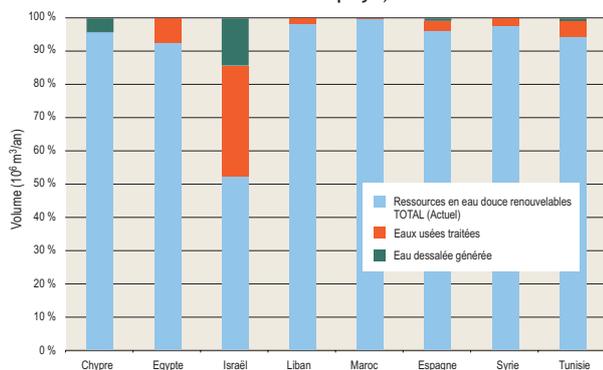
Figure 4 Indice d'exploitation des ressources naturelles renouvelables à l'échelle des pays entiers et bassins versants méditerranéens (2005-2010)



Source : Plan Bleu, 2011

Note : Un indice voisin ou supérieur à 80 % indique des tensions sur les ressources en eau déjà très fortes ; un ratio compris entre 60 et 80% signale des risques importants de tensions structurelles à moyen terme ; avec un ratio entre 20 et 60 %, les pays peuvent connaître des tensions locales ou conjoncturelles.

Figure 5 Parts relatives des ressources en eaux conventionnelles et non conventionnelles dans certains pays méditerranéens (données 2008-2010 selon les pays)

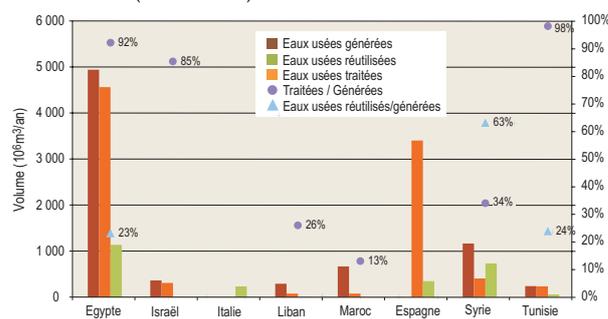


Sources : Rapports d'études cités dans la bibliographie, bases de données internationales (Aquarec, Aquastat, FMI, Banque mondiale, OMS, INED) et auteurs divers (Boyer, 2008).

Illustration des conditions d'assainissement

La Figure 6 présente, pour certains pays méditerranéens, les proportions d'eaux usées brutes, traitées ou réutilisées. Ne sont compilés que les éléments disponibles à ce jour dans les études de référence.

Figure 6 Assainissement et réutilisation des eaux usées dans certains pays méditerranéens (2009-2010)



Sources : Rapports d'étude cités dans la bibliographie, bases de données internationales (Aquarec, Aquastat, FMI, Banque mondiale, OMS, INED) et auteurs divers.

Illustration du contexte législatif et réglementaire

Le Tableau 5 présente un état de la législation et réglementation en matière de REUT (usages réglementés ou non, et si réglementés : autorisés ou non) dans différents pays méditerranéens⁴.

4 Cette compilation d'informations n'est pas exhaustive et mériterait d'être complétée pour certains pays en intégrant les évolutions récentes des législations et réglementations.

Tableau 5 Usages autorisés par pays pour la REUT

Usages	Chypre	Cisjordanie	Egypte	Espagne	France	Grèce	Israël	Italie	Jordanie	Liban	Maroc	Portugal	Syrie	Tunisie	(Arabie saoudite)	(Koweït)	(Oman)
Irrigation agricole		C	C+F+E										C+P	C	C	C	
Irrigation espaces verts/golfs			**														
Recharge de nappe													*				
Environnement																	
Recyclage industriel																	
Usages urbains																	
Usages domestiques																	
Eau potable																	
Source des données	(1)	(1)		(1)	(1)			(1)		(2)		(1)			(2)	(2)	(2)

C : Produits consommés crus - F : Fruits sans péricarpe - E : Cultures d'exportation - P : Pâturer

* Aquifères exploités pour l'eau potable

** : Sauf espaces verts des écoles

Source : Compilation par l'auteur - Source des données : (1) : Eureau - (2) : Xanthoulis (2010)

Réglementé / interdit
Réglementé / autorisé
Non réglementé

Les risques et bénéfices de la REUT

La mise en place de projets de REUT n'est envisagée que si des bénéfices sont attendus (production de ressources en eau supplémentaires, limitation des pollutions, accroissement de rendements agricoles, etc.). Ces bénéfices doivent être mis en balance avec les risques perçus ou possibles (pollution des sols si mauvaise maîtrise des traitements, rejet des usagers ou consommateurs, risques financiers de non rentabilité, etc.).

Les Tableaux 6 et 7 présentent une typologie des risques et bénéfices associés aux projets de REUT.

Remarque : rappelons qu'un risque est une probabilité croisant un aléa et une sensibilité (ou exposition). Diminuer le risque revient à développer des stratégies pour minimiser l'aléa et/ou la sensibilité. Par exemple, les mesures sanitaires visent à réduire la concentration de pathogènes dans l'eau (réduction de l'aléa) et à proposer des mesures de protection pour réduire l'exposition (réduction de la sensibilité).

Les objectifs stratégiques en relation avec les moteurs et le contexte

Illustration historique sur trois pays

Les objectifs sont élaborés par les acteurs (décideurs, représentants professionnels, usagers...) dans un contexte et au vu de moteurs conduisant à des situations critiques constatées ou à venir. On peut citer la protection de l'environnement, l'amélioration de la situation sanitaire, le développement de l'agriculture ou la préservation de la ressource en eau potable. Les objectifs sont aussi appelés « motivations » dans certaines études.

Un ensemble d'objectifs et la méthode définie pour les atteindre définissent une stratégie.

L'Encadré 3 présentant l'évolution historique de trois pays méditerranéens au regard de la mise en place de filières de REUT, illustre les relations entre moteurs, contexte et objectifs.

Tableau 6 Typologie des risques associés à la REUT

Secteur ou élément impacté	Risques	Aléas	Sensibilité (exposition)
Santé	Risques microbiologiques : choléra, infections, diarrhées, allergies, Risque chimique : intoxication, cancers	Pathogènes Composés toxiques	Exposition (public, usagers, consommateurs)
	Dégradation qualité des produits agro-alimentaires	Polluants émergents, perturbateurs endocriniens	
Environnement	Eutrophisation, pollution de nappes Odeurs		Profondeur des nappes, sensibilité des milieux (zones côtières)
	Impacts des coproduits de traitements (concentrats membranaires, boues) Emissions de CO ² (consommation d'énergie pour le traitement)	Azote, phosphore, composés toxiques, métaux lourds	
Sol et plantes	Toxicité des plantes (sels) Salinisation et dégradation des sols (eau salée)	Salinité, métaux lourds	Sensibilité des cultures, fragilité des sols
	Accumulation de polluants dans les sols		
Perception	Impact visuel (stockage) Odeurs	Gêne	Niveau de perception, propension au changement
	Rejet social (méconnaissance, peurs) Tension si expropriation		
Distribution, équipement	Développement d'algues	Matière organique, azote, phosphore, matières en suspension	Type de système d'irrigation
	Corrosion, biofilms, bouchage		

Tableau 7 Typologie des bénéfices associés à la REUT

Secteur ou élément impacté	Bénéfices
Ressource en eau	<p>Baisse de la pression sur la ressource en eau potable, meilleure allocation, libération de volumes d'eau conventionnelle pour l'eau potable</p> <p>Diversification des ressources, intégration de la REUT dans la gestion intégrée des ressources en eau (GIRE)</p> <p>REUT (production et transport) moins coûteuse que d'autres ressources non conventionnelles (ex. eau dessalée)</p> <p>Maintien des niveaux piézométriques par recharge des aquifères</p> <p>Amélioration de la qualité des eaux de nappe</p> <p>Adaptation à la densité de population</p>
Environnement	<p>Filière d'assainissement plus sûre (tampon sol/plante) voire plus économe (énergie)</p> <p>Réduction des teneurs en nutriments dans les eaux de surface, de mer et de nappe. Limitation de l'eutrophisation</p> <p>Restauration de la vie aquatique</p> <p>Lutte contre les intrusions salines</p> <p>Maintien des étiages, alimentation récréative (fontaines, lacs...)</p> <p>Baisse de la consommation d'énergie dans les stations d'épuration et pour l'adduction d'eau</p> <p>Réduction des émissions de gaz à effet de serre</p> <p>Lutte contre la désertification par l'alimentation en eau de ceintures vertes</p>
Agriculture et espaces récréatifs	<p>Augmentation de la fertilité des sols par l'apport de nutriments et productivité accrue</p> <p>Réduction de la fertilisation traditionnelle (économie de fertilisants)</p> <p>Sécurisation de la ressource en eau (notamment en situation de sécheresse)</p> <p>Diversification vers des cultures à haute valeur ajoutée</p> <p>Valeur agronomique des co-produits des installations de traitement</p> <p>Sécurité alimentaire, développement, agriculture péri-urbaine</p>
Social	<p>Amélioration de la qualité de vie (espaces verts) et des conditions sanitaires</p> <p>Contribution de l'agriculture à l'assainissement</p> <p>Approche concertée entre acteurs du territoire</p> <p>Maintien ou création d'emplois (agriculture péri-urbaine)</p>

Encadré 3 La mise en place de filières de REUT en Israël, en Syrie et en Tunisie : illustration des relations entre moteurs, contexte et objectifs

L'exemple d'Israël

Dans les années 1950, le manque d'eau croissant du fait d'un bilan hydrique défavorable entre une ressource en eau limitée et essentiellement localisée au Nord et une demande croissante (localisée au centre et au Sud du pays) sous l'effet de la croissance démographique et des besoins en irrigation du coton a conduit les autorités israéliennes à mettre en œuvre un double programme de modernisation de l'irrigation et de recherche de nouvelles ressources (eau dessalée et eaux usées traitées).

Concernant le dessalement, les études pilotes ont porté sur le dessalement d'eaux saumâtres, puis d'eau de mer à partir des années 80. Les fortes sécheresses de 1998/99 ont fait prendre conscience de l'importance stratégique du dessalement pour sécuriser une ressource de qualité.

Sur le volet de la réutilisation des eaux, dans les années 70, la compétition sur la ressource entre les usages domestiques grandissant et les besoins d'irrigation ainsi que le développement d'une épidémie de choléra provoquée par la consommation de légumes irrigués avec des eaux usées brutes ont conduit à :

- l'élaboration de programmes d'assainissement combinant traitement et réutilisation comme ce fût le cas pour le projet de Shafdan consistant en un système de traitement (boue activée combinée à une infiltration des eaux dans l'aquifère) et le projet de Kishon. L'eau initialement utilisée en périphérie est aujourd'hui convoyée par un système de retenues et canaux vers la zone agricole du Sud ;
- la mise en place d'une législation ad'hoc.

Dans les années 1990, les exigences de qualité se sont accrues et la perception de la réutilisation a évolué :

- du fait de la modernisation de l'irrigation et de la crise touchant le coton, l'agriculture, réorientée vers des productions à haute valeur ajoutée, est devenue plus exigeante en termes de qualité de la ressource ;
- les restrictions d'irrigation résultant d'épisodes de sécheresse ont fait évoluer les mentalités des agriculteurs voyant dans la REUT la possibilité de sécuriser leur approvisionnement en eau ;
- les pratiques d'irrigation par des eaux usées brutes ne sont plus acceptées par des citoyens toujours plus nombreux et mieux éduqués et formés ;
- les flux migratoires massifs de l'ex-URSS ont contraint les autorités à généraliser l'assainissement.

Les acteurs ont ainsi élaboré des stratégies de généralisation de l'assainissement et de la REUT en intégrant leurs dimensions techniques, réglementaires (nouvelles réglementations) et sociales. Aujourd'hui, Israël est l'un des leaders méditerranéens sur la REUT.

L'exemple de la Syrie

En Syrie, l'agriculture est un secteur économique prépondérant. L'irrigation à partir d'eaux usées (brutes) est une pratique ancienne et culturellement acceptée. Un des moteurs majeurs à la mise en place de la REUT est la production de ressources supplémentaires pour permettre l'extension de l'agriculture irriguée (dont les rendements sont cinq fois plus élevés que l'agriculture pluviale) en tenant compte des impacts du changement climatique (baisse de 30% des précipitations enregistrée le siècle dernier) et de la forte croissance démographique.

En 1971, des normes de qualité d'eau sont publiées (sur la base des normes de l'OMS, de la FAO et de l'EPA) et le principe du pollueur-payeur édicté. En 2002, la REUT par irrigation est réglementée avec des normes plus restrictives que celles de l'OMS (interdiction de REUT pour les produits agricoles consommés crus).

La recherche de nouvelles sources d'eau conduit à des accords transfrontaliers.

La quasi-totalité du volume d'EUT est consommée par le secteur agricole qui représente 87% des demandes en eau toutes origines confondues.

La détérioration de la qualité des eaux de nappe (nitrates, salinité, pollutions générées par l'activité pétrolière) justifie le développement de la recharge de nappe (après dénitrification des eaux usées traitées) pour diluer les eaux ou lutter contre l'intrusion d'eaux salines dans les aquifères côtiers. La recharge de nappe est actuellement interdite.

L'exemple de la Tunisie

Face aux tensions croissantes sur la ressource en eau, la Tunisie a mis en œuvre dans les années 80 un programme d'assainissement combiné à la réutilisation par irrigation (sur le bassin de la Medjerda) qui a conduit à l'équipement des 11 principales villes de Tunisie. L'Office National de l'Assainissement (ONAS), organisme de gestion –dont les prérogatives ont été élargies depuis- à toute la chaîne de REUT, a été créé.

L'irrigation à partir d'eaux usées non traitées a été interdite à partir de 1975 et des normes de REUT ont été proposées en 1989.

En parallèle, des programmes de mobilisation des ressources conventionnelles ont conduit à la mise en place de barrages (20), de retenues collinaires (220), de lacs ainsi que de 50 000 puits et 20 000 forages profonds. Des programmes de modernisation de l'irrigation et des pratiques ont conduit à la mise en place de matériels performants (aspersion) et de cultures moins consommatrices d'eau, le bénéficiaire direct étant le secteur agricole.

Dans les années 80-90, la surexploitation des nappes, la détérioration de la qualité des nappes côtières peu profondes et sensibles aux intrusions marines a poussé à la mise en place de sites pilotes de recharge de nappes par REUT (Région Nabeul en 1985 puis 2007) et à l'élaboration de programmes d'assainissement et de REUT.

Le développement touristique, avec ses implications en termes d'exigence vis-à-vis de la qualité des eaux et de développement d'espaces récréatifs, est également un moteur puissant et plus récent poussant à la REUT sur des espaces récréatifs (golfs, espaces verts).

La prise de conscience sur la préservation des zones humides a par ailleurs conduit à l'élaboration de deux projets dans la région du Sahel et dans la région du cap Bon avec des impacts positifs.

Dans les années 90, le dessalement d'eaux saumâtres et plus récemment le dessalement d'eau de mer se sont développés.

De plus récents programmes portant sur la gestion de l'eau potable (entretien des réseaux, formation des personnels, tarification...) et sur la gestion des boues (décret de 2007) constituent des volets connexes à la REUT.

Récapitulatif des objectifs principaux

Les principaux objectifs poursuivis par les décideurs, dans les pays méditerranéens, lors du lancement de projets de REUT sont les suivants :

1. Améliorer les conditions sanitaires, environnementales et sociales :
 - Disposer d'une nouvelle ressource en eau,
 - Sécuriser la production agricole et l'approvisionnement alimentaire,
 - Améliorer la situation sanitaire : supprimer l'irrigation d'eaux usées brutes, améliorer la performance de traitement,
 - Améliorer la situation environnementale : protéger ou restaurer les milieux sensibles tels que les zones humides et littorales, soutenir les étiages, maintenir les niveaux piézométriques par recharge des nappes, conserver les hydrosystèmes, lutter contre l'intrusion de biseaux salés, valoriser le recyclage des éléments nutritifs, etc.,
2. Anticiper le futur :
 - S'adapter aux évolutions climatiques, démographiques et économiques,
 - Développer de nouveaux usages : recyclage des eaux grises, réutilisation pour l'eau potable,
3. Privilégier l'efficacité économique : coût de la REUT moindre que celui d'autres ressources non conventionnelles (ex. dessalement), vente d'eau à des acteurs privés (irrigation urbaine, golfs, industries),
4. Permettre et accompagner le développement économique :
 - Développer sur un territoire, de façon concertée, les activités agricoles, récréatives, urbaines et industrielles,
 - Appuyer le développement d'un secteur économique : exemples de l'agriculture en Syrie et du tourisme avec le développement d'espaces récréatifs en Tunisie,
5. S'inscrire et communiquer sur une politique de développement durable.

Les stratégies traditionnelles et parfois concurrentes

A défaut de démarche intégrée où la REUT est abordée dans l'ensemble de ses dimensions (eau, santé, environnement, alimentation et social), la REUT apparaît souvent comme une composante venue se raccrocher à des logiques de pensées plus traditionnelles, dans le cadre de programmes d'assainissement ou de modernisation de l'irrigation.

Une stratégie centrée sur la REUT peut venir se confronter à d'autres logiques au regard desquelles elle sera évaluée.

REUT et logique d'assainissement

Les eaux usées sont à la fois :

- un « problème » : 90 % des zones urbaines du monde ne disposent pas de structures d'assainissement satisfaisantes (Bahri, 2009), ce qui engendre des problèmes sanitaires (contact des usagers, contamination des aliments) et environnementaux majeurs (pollution des milieux aquatiques, pollution de la ressource) ;
- une ressource importante économiquement en termes de production alimentaire et d'emploi dans le secteur de l'agriculture : à l'échelle mondiale, 20 millions d'hectares sont irrigués avec des eaux usées brutes (estimation ONU, 2003).

Les eaux usées représentent un gisement de 27 millions de tonnes d'azote et de 3 millions de tonnes de phosphore, ce qui équivaut respectivement à un tiers et un quart des fertilisants vendus dans le monde (équivalence théorique) (WHO, 2006).

Les stratégies d'assainissement comprennent idéalement les actions liées i) à la ressource en eau, ii) à la collecte des eaux usées et des déchets solides et iii) au traitement et à la réutilisation des eaux et déchets. La réutilisation n'est donc qu'une composante d'une stratégie plus globale. Pour un territoire, et compte tenu des dimensions institutionnelles et financières, il est important de déterminer si ces actions peuvent être menées de front et, dans le cas contraire, comment les prioriser. L'analyse peut être faite par le biais d'une comparaison de scénarii (Cf. *Projet de REUT et scénarii alternatifs*).

Accompagnant le développement des pays (en relation avec le revenu intérieur brut - RIB), la tendance suivante est observée (Banque mondiale, 2010) :

- pour les pays à faible revenu (RIB/hab < 975 \$) : pas de cadre réglementaire, mise en place de normes sanitaires, pas de réseau de collecte, peu

ou pas de traitement et irrigation avec des eaux usées brutes ;

- pour les pays à revenu moyen (RIB/hab compris entre 975 et 3 855 \$) : amorce de réglementation, couverture plus large des services d'assainissement, mise en place de réseaux d'assainissement, pas ou peu de traitement et irrigation avec des eaux usées brutes ;
- pour les pays à revenu élevé (RIB/hab > 3855 \$) : réglementation en place, réseaux de collecte et systèmes de traitement primaire, secondaire voire avancé⁵, réutilisation d'eaux usées traitées.

Dans une logique traditionnelle d'assainissement, la mise en place de la REUT est postérieure à la mise en place de systèmes de traitement des eaux usées. C'est une approche *top-down* (amont → aval) et phasée dans le temps.

De nombreux projets de REUT voient le jour à la faveur de la réhabilitation ou de l'extension de stations d'épuration. L'approche est davantage intégrée (on considère les usages au regard de la ressource) mais les options de REUT se trouvent contraintes par la préexistence du système d'assainissement.

Enfin, plus récemment, la REUT devient une composante intégrée à un projet d'assainissement (comprenant réseaux et station de traitement). Il s'agit dans ce cas d'une approche *bottom-up* (aval → amont) permettant des itérations entre les besoins des usages (divers variables dans le temps) et le système de collecte (séparation des flux d'eaux usées domestiques/industrielles, réseaux séparatifs) et les niveaux de traitement (Cf. *Aller de l'avant : tirer les leçons de l'existant pour changer de paradigme*).

REUT et modernisation de l'irrigation

Selon les niveaux de stress hydrique, l'irrigation est une condition sine qua non à la production agricole ou un facteur permettant d'augmenter les rendements de 100 à 400 % (FAO, 2010), ce qui la rend très attractive. En Syrie par exemple, les rendements sont augmentés d'un facteur 4 pour le blé et les agrumes (BEI and AHT Group AG, 2009). La consommation d'eau pour l'irrigation (65 % des prélèvements d'eau en moyenne en Méditerranée) reste forte mais tend néanmoins à se stabiliser du fait des programmes de modernisation des techniques d'irrigation.

⁵ Traitement avancé ou tertiaire : méthode de traitement des eaux usées utilisée après le traitement secondaire traditionnel, qui consiste à éliminer, au moyen de techniques chimiques et physiques, les polluants non biodégradables et les éléments nutritifs minéraux.

L'eau usée traitée est présentée comme une ressource alternative non conventionnelle permettant d'économiser la ressource en eau pour des usages domestiques ou touristiques selon les priorités.

Dans une logique d'économie d'eau, la question peut se poser de savoir si une stratégie de modernisation de l'irrigation (équipement, pratiques) excluant tout projet de REUT n'est pas plus efficace que la mise en place de la REUT. Deux situations se dégagent :

- si des systèmes d'irrigation de faible efficacité (de l'ordre de 40 à 60% pour l'irrigation gravitaire), sont majoritairement utilisés, une politique de modernisation des équipements et de formation des irrigants apparaît plus efficace que la REUT. *Au Maroc, un gain d'efficacité de 20 points (par passage du gravitaire à l'aspersion par exemple) permettrait de réduire les pertes de moitié et d'économiser près de 25 % du volume d'eau prélevé, soit 2 milliards de m³/an (15 % de la demande en eau totale). La modernisation subventionnée des équipements d'irrigation est un moyen plus efficace pour l'économie d'eau, ce qui rend les projets de REUT moins attractifs. En Syrie, l'irrigation gravitaire concerne 88 % des surfaces irriguées. Sur des valeurs moyennes, si tout le volume d'eau usée traitée était utilisé en irrigation, le gain en surfaces irrigables supplémentaires serait de 11 000 ha à comparer aux 730 000 ha supplémentaires dégagés dans le cas de la mise en place d'une irrigation performante (économie de 50 % de la ressource eau) (BEI and AHT Group AG, 2009).*
- si des systèmes d'irrigation à forte efficacité sont en place (80 % pour l'aspersion, davantage pour l'irrigation localisée), il y a moins d'optimisation possible et la REUT devient un levier fort de préservation de la ressource conventionnelle. *Israël, très tôt dans les années 50-60, a mis en place des politiques de modernisation de l'irrigation et possède aujourd'hui une grande maîtrise de l'irrigation localisée.*

Les freins, les contraintes et les facteurs d'échec potentiels

Cette partie vise à présenter et illustrer les freins possibles à l'élaboration d'un projet de REUT ainsi que les contraintes observées pour des projets en cours, qui peuvent évoluer parfois en facteurs d'échec. La nature et la hiérarchie des contraintes varient selon le contexte du projet.

S'appuyant sur des informations issues des pays méditerranéens où la REUT par irrigation est très

majoritaire, le Tableau 8⁶ présente une typologie des principaux freins rencontrés ainsi que des exemples relatifs aux pays méditerranéens. L'encadré 4 met l'accent sur les atouts et limites des législations et réglementations au regard de la mise en place de projets de REUT en Cisjordanie, au Maroc et en Syrie.

6 Ce tableau devrait être complété dans le cas de la recharge de nappe, des usages industriels, urbains, domestiques ou d'eau potable.

Encadré 4 Atouts et limites des législations et réglementations au regard de la mise en place de projets de REUT en Cisjordanie, au Maroc et en Syrie

En Cisjordanie, les standards de rejet sont exigeants et donc difficilement applicables.

Au Maroc, le cadre légal et réglementaire est disparate et incomplet, notamment concernant les obligations des collectivités ou des usagers, la régulation tarifaire et de la performance, le suivi et la pénalisation de la non-conformité des rejets (y compris industriels), la gestion des boues et la réutilisation des eaux usées (source : Programme national d'assainissement liquide, adopté en 2005 avec des objectifs pour 2020). Pour la REUT, les bases juridiques sont incomplètes et le problème de l'application effective des textes se pose. Ceci peut aussi être lié au fait que, parmi les nombreux textes qui existent, certains sont en partie contradictoires et peu sont conçus dans un souci de gestion intégrée des ressources.

En Syrie, l'irrigation, à partir d'eaux usées traitées, de légumes à consommer crus est interdite (contrairement aux recommandations de l'OMS), ce qui exclut l'activité de maraîchage et pousse certains utilisateurs à revenir à des pratiques de réutilisation non contrôlées. La rotation de cultures oblige, dans le cas d'une source unique d'effluents, à s'aligner sur la norme la plus restrictive. Le nombre de paramètres chimiques à contrôler (38) requiert des capacités analytiques pas toujours disponibles en Syrie (métaux lourds...). Les normes de la FAO -fixant un taux de salinité maximum- ne sont pas applicables dans un contexte local où la salinité géochimique des eaux est naturellement élevée et où les pratiques culturales sont adaptées à cette salinité. L'interdiction de la recharge de nappes par des EUT freine la REUT par irrigation, ne permettant pas un exutoire complémentaire en dehors de la période d'irrigation. La réglementation est insuffisante, notamment sur les mesures de protection sanitaire ; les pratiques ne sont pas suivies (absence de plan de suivi de la qualité des eaux) et les moyens mis en œuvre pour les faire respecter sont insuffisants.

Tableau 8 Freins, contraintes et facteurs d'échec possibles pour les projets de REUT par irrigation

	Types de freins rencontrés	Exemples en Méditerranée
Freins liés à la complexité de la « filière » de la REUT	Difficulté à élaborer des solutions sur mesure : difficulté à intégrer sur l'ensemble de la chaîne, de la source à l'usage, la diversité et la multiplicité des paramètres (pour la plupart spécifiques au terrain), Approche « top-down » inopérante : approche traditionnelle de dimensionnement de l'assainissement en fonction des eaux usées (amont) sans considérer l'usage à l'aval,	
Freins institutionnels et organisationnels	Absence d'autorité commune et manque de coordination entre des institutions fragmentées, Absence de stratégie de REUT incluse dans la gestion intégrée des ressources en eau ; absence de schéma directeur, Absence de stratégies combinées avec la gestion des boues, Déficit d'implication de tous les acteurs insuffisamment organisés (usagers, consommateurs...),	Au Maroc, le comité interministériel de coordination de la gestion de la réutilisation des eaux usées créé en 2004 n'est toujours pas opérationnel, En Syrie, cinq ministères gèrent la REUT, En Tunisie, l'autorité commune (ONAS) existe mais ne dispose pas d'une autonomie financière, Un manque de prise de conscience collective sur les enjeux de la REUT est rapporté pour plusieurs pays, notamment au Maroc et en Syrie, L'absence de schémas directeurs est fréquente (Liban, Maroc).
Freins législatifs et réglementaires	Législation et réglementation inexistantes ou incomplètes, Normes inadéquates,	Les réglementations peuvent être inexistantes (Liban), très récentes (France), inadaptées aux usages ou manquer de flexibilité car calquées sur des standards internationaux. C'est le cas dans les pays où la réutilisation d'eaux usées brutes est une pratique ancrée qui reste privilégiée si des normes trop strictes de REUT sont édictées (exemple : interdiction de REUT sur des produits consommés crus en Cisjordanie, Egypte, Syrie et Tunisie).
Freins liés à la compétition entre EUT et ressources conventionnelles	Quand le choix existe, la ressource conventionnelle est préférée car i) elle apparaît moins « risquée » et contraignante, ii) elle est moins chère car souvent subventionnée et iii) l'économiser peut être plus efficace que de développer une ressource alternative. Il existe également une concurrence avec les pratiques d'irrigation à partir d'eaux usées brutes.	Au Maroc et en Syrie, les politiques de mobilisation de la ressource pour l'agriculture et de modernisation de l'irrigation restent à ce jour plus efficaces -en termes d'économies d'eau- que la REUT. En Tunisie, la ressource en eau conventionnelle, lorsqu'elle existe, est préférée par les agriculteurs au détriment de l'EUT qui présente des contraintes (protection, restriction de cultures) et des risques. Dans le cas d'un pompage d'eau souterraine, et a fortiori si la nappe est salée, la compétitivité économique des EUT est réelle.
Freins liés à la difficulté de combiner l'offre et la demande	Distance entre les sites de production et de réutilisation (variabilité spatiale), Régularité de l'offre vs saisonnalité de la demande (variabilité temporelle),	En Syrie et en Tunisie, les stations d'épuration sont concentrées dans les zones côtières urbanisées où l'opportunité d'utilisation des EUT est faible (car zones bien pourvues en eau pluviale). En revanche, les régions arides situées à l'intérieur du pays et faiblement urbanisées ont de forts besoins en eau. Dans le cas de la REUT par irrigation, les besoins sont élevés d'avril à octobre et faibles le reste de l'année. Dans le cas des zones touristiques, l'augmentation de la production d'eaux résiduaires est davantage synchronisée avec le pic de demande en eau d'irrigation (Espagne, Maroc, Tunisie...).
Freins liés à l'insuffisance des capacités de stockage	Insuffisance des capacités de stockage (nécessité de 4 à 6 mois de stockage via de grands réservoirs : lacs, réservoirs souterrains...), Envasement des réservoirs,	
Freins liés au système de collecte et d'assainissement	Capacité d'assainissement insuffisante, Faible performance de traitement/qualité des EUT, Assainissement non prioritaire/autres infrastructures (énergie, adduction d'eau potable), Maîtrise technique insuffisante, Rejets d'effluents industriels mêlés aux effluents domestiques,	Le manque de capacités de traitement réduit les possibilités de REUT (ex. taux de réutilisation des EUT en Syrie : 20%). Sur les zones littorales, cela se traduit par un rejet direct des eaux usées non traitées en mer, autant de volumes perdus pour de la réutilisation (Maroc, Liban). Au Liban, dans le contexte particulier de la reconstruction du pays, les moyens humains et financiers sont mobilisés sur les infrastructures d'adduction d'eau potable et d'énergie au détriment de l'assainissement. Les performances moyennes observées pour les stations d'épuration, l'absence de traitement des composés toxiques (métaux lourds, polluants émergents, résidus médicamenteux) et l'absence de procédés de dessalement des eaux ne permet pas d'atteindre les niveaux de qualité requis au regard des standards de REUT et contribuent au discrédit de la réutilisation. Une maîtrise insuffisante des systèmes de traitement est notamment pointée en Espagne. Au Maroc, en Syrie et en Tunisie, l'absence de collecte et de traitement séparatif des effluents industriels est à l'origine d'une contamination des eaux usées domestiques.
Freins liés au système agricole	Restriction dans le choix des cultures selon les réglementations (interdisant, notamment, la REUT pour l'irrigation de légumes consommés crus), Détérioration de la fertilité des sols : réduction de l'infiltration (accumulation de matières en suspension), salinisation et sodisation des sols, Insuffisance du drainage entraînant la salinisation des sols et des baisses de rendements,	Les teneurs en sels des eaux usées traitées, souvent supérieures à celles des ressources conventionnelles, conduisent à la dégradation de la fertilité physico-chimique des sols lorsque les systèmes de drainage n'ont pas également été prévus. En Tunisie, la salinisation des terres observée pour de nombreux projets est un frein. Deux projets (Mornag et Morknine) ont de ce fait été abandonnés.
Freins liés au montage financier et à la tarification	Manque de capacité et structure financières, Tarification pour les EUT inadéquates (rentabilité faible), eau conventionnelle pour l'irrigation non facturée ou largement subventionnée,	Dans de nombreux cas, la tarification des eaux conventionnelles n'intègre pas le facteur « rareté de l'eau » et les tarifs sont insuffisants pour assurer la rentabilité des projets de REUT. Au Maroc, la redevance ne couvre que 25% des coûts d'assainissement.
Freins liés à une perception négative et une non-acceptabilité	Perception négative de la REUT par des agriculteurs, consommateurs et décideurs : i) du fait de risques potentiels alimentant les peurs, ii) suite à des expériences négatives en conditions mal contrôlées ou mal conçues, Blocages culturels et/ou religieux,	En France, l'irrigation d'eaux en sortie de la station d'épuration d'Achères (collectant les eaux usées de Paris) et les pollutions engendrées ont marqué l'imaginaire collectif et expliquent peut-être pour partie une réglementation tardive et très centrée sur la protection du risque sanitaire (cf. Arrêté sur la REUT par irrigation d'août 2010).
Freins liés au manque de méthodologie « projet », de formation et de communication	Absence d'une méthode d'analyse économique des projets, Manque de compétences, Absence de formation, Déficit de communication sur les bénéfices,	En Syrie, il est noté un manque de compétences à tous les niveaux : décideurs, gestionnaires, opérateurs. Au Maroc, la vulgarisation auprès des agriculteurs n'est pas suffisante.
Freins liés au manque de suivi, contrôle et évaluation	Absence de procédures de suivi, Absence de contrôle faute de personnels disponibles et qualifiés, Capacités analytiques limitées.	

Analyse économique et financière

Evaluation économique et financière : principe

L'évaluation économique et l'évaluation financière sont deux étapes différentes de l'analyse d'un projet de réutilisation des eaux usées traitées.

Analyse économique

L'analyse économique permet de conclure si le projet doit être mis en place et vise à déterminer si le projet est économiquement justifié, c'est-à-dire si les bénéfices sont supérieurs aux coûts.

La difficulté de cette étape est double car il s'agit : d'une part de recenser et évaluer tous les coûts et bénéfices, dont on sait que certains sont difficilement monétarisables ; d'autre part de pouvoir comparer les projets entre eux, grâce à des indicateurs communs. L'analyse économique coûts-bénéfices peut être complétée par une analyse coût-efficacité, dans laquelle il est vérifié que le projet retenu minimise les coûts pour un objectif fixé. Cela nécessite de comparer les coûts de différents projets à bénéfices identiques.

Par ailleurs, dans l'analyse économique coûts-bénéfices, les coûts financiers supportés par les acteurs d'un projet (investissement, opération, entretien et maintenance) et leurs bénéfices sont retraités en termes économiques, c'est-à-dire en termes de coûts ou bénéfices qu'ils représentent au niveau de la nation : les prix financiers (du marché) sont ajustés en excluant en particulier les taxes, impôts et subventions qui sont des redistributions internes au pays, et en estimant les prix d'un bien à sa valeur aux frontières du pays, i.e. en excluant les redistributions internes de valeur. Pour évaluer ces coûts marchands, la méthode la plus utilisée internationalement est la méthode des prix de référence, appliquée par la plupart des organismes de financement internationaux⁷.

L'analyse économique coûts-bénéfices sociale (ACB sociale) prend en compte les effets du projet pour la société dans son ensemble : surplus des consommateurs, externalités et valorisation des coûts et avantages non marchands, y compris sur l'environnement, la santé

7 Voir AFD 2004 : Guide d'analyse économique des projets de Développement. Analyse coûts-avantages et coûts-efficacité. WB, 1991 - The Economics of Project Analysis ; A practitioner's guide. W.A. Bard & Al. 1991. P.Belli et al.: Handbook on economic analysis of investment opérations. 1998.

des populations affectées par le projet. Les méthodes applicables sont détaillées en chapitre *Analyse coûts-bénéfices sociale* et en Annexe 1.

Analyse financière

L'analyse financière vise à déterminer si le projet peut être financé et comment (Mills & Asano, 1986). L'analyse financière s'intéresse aux structures de financement.

Analyse financière de projet

L'analyse financière de projet vérifie l'équilibre financier global du projet et vise à déterminer les modes de financement adéquats pour les différentes composantes de ce projet. Elle permet d'apporter des éléments d'information sur la viabilité du projet à travers des critères de rentabilité du capital et de l'investissement : taux de rentabilité interne financier (TRIf) et valeur actuelle nette financière (VAN), de solvabilité en cas d'endettement et de liquidité. Pour le prêteur, l'analyse financière de projet permet d'établir la capacité de remboursement à travers le ratio de couverture de la dette⁸, et d'établir le plan de financement du programme d'investissement.

L'analyse financière valorise les coûts et bénéfices additionnels du projet sur la base des prix financiers du marché, et en comparaison à une situation sans projet. Elle établit les flux financiers annuels du projet dans son ensemble et pour la période d'analyse. Le tableau de trésorerie compare les emplois et ressources annuels (coûts et avantages financiers) à l'échelle du projet :

- **flux d'investissement** : acquisitions d'immobilisations. Pour un projet de REUT, l'analyse financière de projet prend en compte les investissements additionnels directs nécessaires pour l'infrastructure de collecte, de traitement, de stockage et de distribution des EUT. Tous les investissements nécessaires en matière de protection de la santé, de protection de l'environnement, ou de lutte contre les nuisances doivent être pris en compte dans le flux d'investissement ;
- **flux d'exploitation** : recettes et charges d'exploitation des opérateurs. Les charges opérationnelles liées à la protection sanitaire, de suivi sanitaire et environnemental et des mesures d'atténuation doivent être incluses dans l'analyse ;

8 Debt Service Coverage ratio : flux d'exploitation / échéance de la dette en capital et intérêts.

- **flux financier**, dont le service de la dette en capital et en intérêts. Le flux financier permet d'identifier les besoins de financement sous forme d'apports en fonds propres, de subventions ou de dettes. Il permet de définir les instruments de financement assurant l'équilibre financier du projet.

Note : l'analyse financière intègre les modalités de financement dans le calcul du flux financier. L'analyse économique par contre est indépendante des modalités de financement de l'investissement : les charges financières et l'amortissement ne sont pas pris en compte.

Analyse de la viabilité financière du secteur ou de l'opérateur

Au niveau de l'analyse financière du secteur ou d'un opérateur, la typologie des 3T (tarifs, taxes, transferts) permet de distinguer ce qui peut être financé à travers la tarification à l'utilisateur ($T=tariffs$), ce qui est financé par l'État par la levée de taxes et le versement de subventions ($T=taxes$), et ce qui reste à financer, notamment par les investisseurs privés et les bailleurs internationaux ($T=transfers$).

L'analyse économique et l'analyse financière ne vont pas nécessairement de paire. Si l'analyse économique conclut que le projet est économiquement justifié, il ne sera pas pour autant nécessairement financé pour diverses raisons :

- l'information est imparfaite sur le marché des capitaux : tous les bénéfices et coûts ne sont pas connus par les bailleurs,
- certains bénéfices et coûts concerneront la société dans son ensemble sans pour autant être intégrés dans les transactions financières. On parle alors d'absence de mécanismes permettant l'internalisation des externalités. Le bailleur du projet, si son objectif est purement financier, ne tiendra pas compte de ces éléments externes, alors même qu'ils peuvent permettre de « faire pencher la balance », c'est-à-dire de conclure que les bénéfices sont supérieurs aux coûts et que le projet est donc bien économiquement justifié.

Des apports méthodologiques pour l'analyse financière sont proposés en Annexe 2.

Analyse coût-bénéfice (ACB) : objectifs et méthodologie

Objectifs de l'ACB

L'analyse coût-bénéfice (ACB) vise à maximiser la valeur actuelle nette de tous les bénéfices attendus du projet moins l'ensemble des coûts, supportés ou

bénéficiant à toutes les parties, tout au long de la durée de vie du projet, en tenant compte de certaines contraintes exogènes. Elle peut être envisagée à deux niveaux :

- **ACB privée** : analyse conduite par un investisseur qui cherche à mesurer la rentabilité d'un projet. Il ne s'agit pas nécessairement d'une entreprise privée. Une collectivité publique peut souhaiter faire une analyse de rentabilité, indépendamment des coûts et bénéfices pour la société. On considère dans l'ACB privée tous les coûts et bénéfices supportés par les acteurs de la filière de traitement et de réutilisation des eaux usées ;
- **ACB sociale** : analyse conduite par le régulateur (gouvernement, collectivité locale) qui cherche à mesurer l'utilité sociale d'un projet, en comparant les coûts et bénéfices pour la société dans son ensemble. Elle inclut les coûts et bénéfices pour l'utilisateur de l'eau, ceux pour la santé des populations et l'environnement. Cette approche tient compte des externalités positives et négatives, des coûts évités et coûts d'opportunité.

Illustration de l'importance de l'ACB sociale pour la REUT (traduction par l'auteur)

« On peut regretter que les évaluations économiques des bénéfices et coûts de la REUT soient souvent vagues, laissant ainsi les bailleurs et décideurs politiques ignorants par rapport aux bénéfices de l'irrigation avec les eaux usées pour l'économie. Une fois que des études précises auront été conduites, la REUT devrait devenir une priorité des pays où l'eau est rare » (Faruqi, 2000).

« Les projets de REUT sont souvent sous évalués par rapport à d'autres projets liés à l'eau car il existe de nombreux bénéfices mais difficilement quantifiables, tels que la protection des réserves en eau, le développement économique local et l'amélioration de la santé des populations » (Banque mondiale, 2010).

Précautions méthodologiques pour mener une ACB

Les points méthodologiques clés pour mener une ACB sont répertoriés ci-après.

- **Caractériser les moteurs et le contexte du projet** (voir typologie des moteurs dans le Tableau 3 et des indicateurs contextuels dans le Tableau 4) : il faut notamment vérifier l'existence d'une volonté politique pour la mise en œuvre d'une politique publique de REUT et lever les contraintes institutionnelles, sanitaires et financières. Il faut également s'assurer qu'il y a une demande effective en eau réutilisée (constater les besoins, et confirmer l'existence d'une demande pérenne et solvable sur 25-30 ans). Enfin, une analyse de l'acceptabilité socio-culturelle du projet de REUT est requise.

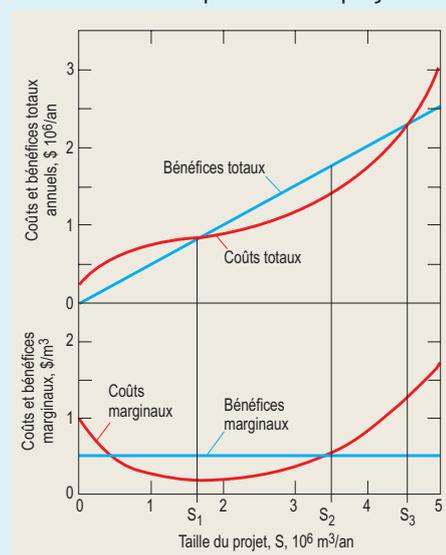
- **Identifier les objectifs recherchés** : les bénéfices doivent être mesurés par rapport aux objectifs affichés. Par exemple, si l'objectif principal est la réalimentation d'une nappe, il est important d'avoir une estimation fiable des bénéfices environnementaux. Si l'objectif principal est de fournir de l'eau pour l'irrigation, il faut passer plus de temps à évaluer les bénéfices pour les agriculteurs.
- **Identifier les scénarii alternatifs** et le **scenarrio contrefactuel** correspondant à la situation sans projet (à date et dans la durée). Les scenarii sont listés dans le Tableau 12 et ce comparatif est détaillé plus loin (*Choisir les comparatifs pertinents avec les scenarii alternatifs*).
- **Vérifier l'existence d'une réelle volonté politique** pour la mise en place du projet.
- **Identifier l'ensemble des externalités** (voir la typologie des externalités dans le Tableau 11).
- **Projeter sur le long terme (25 à 30 ans) le bilan ressources/usages en eau dans la zone du projet**. Cette analyse porte sur les eaux de surface et souterraines au niveau du bassin versant et des nappes. Elle servira de base à l'évaluation économique, en particulier pour l'identification et l'estimation des externalités positives et négatives liées à des compétitions d'usages de l'eau sur la période d'analyse. Une autre approche développée par Falkenmark (1995) ne considère pas l'eau stockée dans les sols comme une perte car, d'un point de vue économique, en agriculture pluviale elle assure le revenu des agriculteurs et en agriculture irriguée elle participe à l'amélioration de l'efficacité de l'irrigation en diminuant les apports nécessaires aux cultures.
- **Considérer les bénéfices et coûts marginaux, et non les coûts totaux ou moyens**. Les coûts marginaux sont décroissants dans un premier temps en raison d'économies d'échelle : traiter un peu plus d'eau est à peine plus coûteux car les infrastructures sont déjà en place (*encadré 5*).
- **Mener des analyses de sensibilité**, c'est-à-dire mesurer l'impact d'un changement d'un paramètre sur la rentabilité du projet (valeur actuelle nette ou taux de rentabilité interne). On peut aussi calculer les valeurs pivot (*switching value*) pour certains paramètres, c'est-à-dire le niveau de variation d'un paramètre qui annule la VAN globale du projet. Les tests de sensibilité généralement réalisés en analyse de projet portent sur :
 - l'impact de l'augmentation des coûts d'investissement, d'exploitation et de maintenance du projet (+10 % ; +20 %...)
 - l'impact d'un délai sur la période d'investissement (+ 1 an ; + 2 ans...)

- l'impact d'une baisse de la demande ou des bénéfices directs escomptés (moindre superficie irriguée, etc.) ;
- l'impact du volume d'eau utilisée mobilisable pour la REUT en fonction des hypothèses de projections de croissance démographique, d'augmentation de la distribution, de la consommation et du raccordement au réseau d'assainissement.

Encadré 5 Justification de l'utilisation des coûts et bénéfices marginaux pour évaluer la taille optimale d'un projet

Les coûts marginaux sont décroissants dans un premier temps en raison d'économies d'échelle (*figure 7*). Néanmoins, à partir d'une taille S1, il devient plus coûteux d'augmenter les volumes traités et réutilisés par exemple parce que les usagers sont de plus en plus loin et que les coûts de distribution sont proportionnels à la distance. Sur la Figure 7, les bénéfices restent supérieurs aux coûts jusqu'à la taille S2. Au-delà, pour chaque unité supplémentaire, les coûts sont supérieurs aux bénéfices. Pourtant, si l'on s'en tient à la comparaison des coûts et bénéfices totaux, tous les projets de taille comprise entre S1 et S3 semblent économiquement justifiés. En réalité, il ne faut pas dépasser la taille S2 car, au-delà, les coûts l'emportent sur les bénéfices.

Figure 7 Coûts et bénéfices marginaux en fonction de la taille optimale d'un projet



Source : Asano & al., 2007

Par exemple, la décision de passer à un traitement tertiaire afin d'augmenter les volumes réutilisés doit se baser sur les coûts supplémentaires uniquement : coûts du traitement complémentaire par rapport au traitement secondaire (désinfection pour éliminer les pathogènes, dénitrification, déphosphatation, désalinisation) + coûts de l'augmentation des capacités de production de l'usine + coûts du développement du réseau pour fournir de l'eau traitée aux nouveaux usagers qui n'utilisaient pas cette ressource en eau avant la mise en place du traitement tertiaire.

Analyse coûts-bénéfices privée

Dans l'ACB privée, l'ensemble des coûts et bénéfices supportés par les acteurs de la filière de traitement et de réutilisation des eaux usées est considéré. L'ACB privée est menée pour les sociétés et organisations fournisseurs d'eau et de traitement des eaux usées ainsi que pour les bénéficiaires directs de la REUT.

Coûts privés

Les coûts dits privés sont les coûts supportés par tous les acteurs de la filière de traitement et de réutilisation des eaux usées. On distingue généralement les coûts de l'investissement initial (coût d'implémentation et coût du capital), des coûts d'exploitation et de maintenance (O&M) (cf. *Tableau 10*). Les coûts peuvent également être classés en fonction de leur niveau d'intervention dans la filière (source,

traitement, stockage, distribution, irrigation) (cf. *Tableau 9*).

Remarque : tous les coûts privés ne sont pas nécessairement supportés par l'investisseur porteur de projet. Par exemple, les coûts d'adaptation des équipements d'irrigation seront bien souvent supportés par les agriculteurs eux-mêmes. Dans certains cas néanmoins, la collectivité locale ou l'entreprise de traitement peuvent décider de subventionner l'achat de nouveaux équipements afin d'encourager l'adoption de la réutilisation des eaux usées par les agriculteurs. Il est donc important de considérer tous les coûts pour la filière (Asano, 2007).

Bénéfices privés

Les projets de réutilisation des eaux usées ne voient le jour que s'ils peuvent apporter des bénéfices nets aux différents maillons de la filière, notamment aux fournisseurs et distributeurs d'eau ainsi qu'aux

Tableau 9 Coûts privés en fonction du maillon de la filière

Item de coût	Maillon de la filière concerné	Déterminants du coût	Indicateur
Réseau	Source (coût d'acheminement des eaux usées vers l'usine de traitement)	Distance entre source et utilisateur final Topographie des lieux	Montant d'investissement par m ³ d'eau fournie
	Distribution (coût d'acheminement des eaux traitées vers les usagers)		
Foncier : coût des réservoirs	Stockage	Les volumes de stockage requis dépendent de la différence entre la distribution statistique des volumes d'eau usée et celle des volumes d'eau utilisables	Surfaces requises (m ² requis/ m ³ d'eau produite) * coût par m ²
	Epuration	Normes en matière de traitement Existence ou non d'une usine de traitement avant le projet de réutilisation.	Montant d'investissement par m ³ d'eau fournie
Matériel : construction ou mise à niveau de l'usine de traitement			
Matériel : conversion de l'équipement d'exploitation pour l'utilisation des eaux usées	Irrigation (équipements de filtration, conversion du réseau ou maintien d'un double réseau)	Qualité de l'eau Equipement initial (avec ou sans irrigation)	Montant d'investissement par m ³ d'eau utilisée
Consommation énergétique	Source Traitement Stockage Distribution Irrigation	Taille de l'usine Niveau de traitement	kWh/ m ³ * prix du kWh
	Source Traitement Stockage Distribution Irrigation	Taille de l'usine Niveau de traitement Degré d'automatisation	Montant de masse salariale par m ³ d'eau fournie
Main d'œuvre			
Produits chimiques	Source (nettoyage réseau) Traitement Stockage (nettoyage réservoirs) Distribution (nettoyage réseau) Irrigation (nettoyage réseau et pompes)	Niveau de traitement	Montant par m ³ d'eau traitée ou utilisée Montant par km de réseau à entretenir

utilisateurs de cette eau. On peut utiliser le concept de surplus pour mesurer ces bénéfices nets.

Le surplus est l'écart entre un avantage et un coût à l'échelle d'un agent économique.

Pour un producteur, le surplus consiste en la différence entre son chiffre d'affaires et le coût de production. Le surplus des fournisseurs et distributeurs d'EUT est égal à :

Volumes vendus (m³) x Prix facturé (/m³) + Subventions reçues (/m³) – Coûts de production (/m³)

Pour un consommateur, le surplus réside dans la différence entre le consentement à payer et le prix effectivement payé pour bénéficier du bien ou service en question.

Le surplus des utilisateurs d'EUT est égal à :

Volumes utilisés (m³) x [Valeur des EUT (/m³) – Prix payé net de subventions (€/m³)]

La valeur des EUT pour les utilisateurs est égale à :
Bénéfices apportés par l'irrigation (cf. annexe I)
+ Bénéfices supplémentaires liés à la REUT par rapport à l'usage de l'eau conventionnelle
- Coûts engendrés

Les données nécessaires au calcul de la valeur des EUT pour les utilisateurs sont souvent difficiles à collecter. Une alternative est d'enquêter auprès des usagers sur leur consentement à payer pour l'EUT (cf. annexe I).

Remarque : plus que les valeurs des surplus, ce sont les variations de surplus qui permettent de juger de l'impact d'un projet. Les économistes préconisent souvent le calcul du surplus collectif, égal à la somme du surplus des consommateurs et des producteurs. Néanmoins, il est conseillé de bien connaître les gains nets pour chaque catégorie d'utilisateur afin de mieux cerner l'acceptabilité du projet. De plus, la notion de surplus collectif peut être trompeuse : ce n'est pas un concept d'ACB sociale car il ne prend pas en compte les externalités.

Grille d'analyse économique de projets pour l'ACB privée

La grille d'analyse économique présentée dans le Tableau 10, rassemblant les coûts et bénéfices privés, vise à être utilisée lors des phases préliminaires à l'élaboration de projet.

Analyse coûts-bénéfices sociale

Coûts et bénéfices sociaux

Dans l'ACB sociale, l'analyse cherche à mesurer l'utilité sociale d'un projet, en comparant les coûts et bénéfices pour la société dans son ensemble. L'ACB sociale inclut les coûts et bénéfices pour l'utilisateur de l'eau, ceux pour la santé des populations et l'environnement. Cette approche tient compte des externalités positives et négatives, des coûts évités et coûts d'opportunité.

Par nature les externalités et impacts qualitatifs des projets sont difficiles ou très coûteux à estimer et à quantifier. Certaines méthodes retenues, bien que simplifiant l'approche, permettent de limiter le temps et le coût de préparation des projets.

Les coûts sociaux

Les coûts sociaux sont les coûts supportés par les agents extérieurs au projet en raison de la mise en place de celui-ci. On parle aussi d'externalités négatives. Elles sont classées en trois catégories : externalités sur la santé des populations, sur l'environnement et sur les enjeux sociaux.

L'évaluation des externalités induites par les projets de réutilisation des eaux usées est encore balbutiante. Une liste est proposée dans le Tableau 11.

Remarque : sont présentés en Annexe 1 :

- quelques remarques méthodologiques à prendre en compte lors de l'évaluation des externalités positives et négatives de projets de REUT,
- des méthodes adaptées à l'évaluation des bénéfices et risques environnementaux,
- les principaux déterminants de l'acceptabilité des projets de REUT par différents acteurs.

Les bénéfices sociaux

Les bénéfices pour les utilisateurs de l'EUT ne sont pas toujours suffisants pour justifier la mise en place d'un projet de réutilisation des eaux usées. En revanche, les bénéfices pour les autres parties prenantes (usagers de l'eau potable, industries, associations de protection de l'environnement, etc.) peuvent être substantiels, alors même qu'ils ne sont pas les usagers directs de l'EUT, mais seulement les bénéficiaires des externalités positives. Il est donc primordial d'intégrer les bénéfices pour toute la société lors de l'analyse d'un projet de réutilisation des eaux usées.

Par exemple, l'utilisation d'eaux usées pour l'irrigation dans le Delta de Llobregat (Espagne) doit permettre de réduire l'exploitation des eaux de surface de 19 Mm³/an. Cette eau devient alors disponible pour l'adduction d'eau potable, et limite

Tableau 10 Grille d'analyse économique - ACB privée - Projets de réutilisation des eaux usées traitées

Paramètre analysé	Type de coût/bénéfice	Élément de coût/bénéfice	Indicateur	Exemple
Coûts privés	Coût de mise en œuvre	Etudes ingénierie & contrôle	% du coût total du projet	
		Traitement tertiaire complémentaire	Montant d'investissement par m ³ d'eau fournie	
	Coût du capital	Réseau d'acheminement des eaux usées	Montant d'investissement par m ³ d'eau fournie	Israël, Becker (2004; 2010): coûts de transport et de distribution des eaux usées pour l'agriculture irriguée, diminués des coûts évités pour leur décharge en mer ou en rivière (environ 0,21 €/m ³).
		Réseau de distribution des eaux traitées	Montant d'investissement par m ³ d'eau fournie	
		Matériel	Montant d'investissement par m ³ d'eau fournie	
		Foncier	m ² requis par m ³ d'eau traitée * coût par m ²	
	Coût de conversion sur l'exploitation agricole		Montant d'investissement additionnel par m ³ d'eau utilisée	
			Montant d'investissement additionnel par ha irrigué	
	Coût de maintenance	Main d'œuvre	Nombre d'employés nécessaire X coût de la main d'œuvre	
		Matériel et consommables	Coût/ m ³ d'eau fournie	
		Amortissement matériel	Durée de vie du capital (en année)	Le taux d'amortissement moyen généralement appliqué est 4% (durée de vie de 25 ans). Sur la base des taux retenus pour l'AEP, les taux annuels par type de matériel sont (FNDAE/OIE 2004): Génie civil : 1% Canaux et digues : 3% Equipements hydromécaniques : 5% Matériel électrique : 5% Tuyauterie/conduites : entre 0,25 et 1% suivant le type
	Coût d'exploitation	Energie pour traitement, transport et distribution	KW/m ³ d'eau traitée	0.3-0.6 kWh/m ³ pour le traitement par boues activées
			KW/m ³ d'eau distribuée	+ 0.4-0.5 kWh/m ³ pour dessalement par osmose inverse (Israël) Energie pour transport et distribution des eaux traitées pour l'irrigation agricole = 0,5 kWh/m ³ (Israël)
		Main d'œuvre	Nombre d'employés nécessaire X coût de la main d'œuvre	
Suivi/analyses		Coût/m ³ d'eau fournie		
Bénéfices privés	Gains pour le producteur & distributeur d'eau réutilisée	Chiffre d'affaires lié à la réutilisation	Prix de vente par m ³ * volume d'eau traitée et distribuée	
		Coûts évités	Economies sur investissement alternatif évité	Economie sur investissement de transport pour émissaire en mer ou décharge en rivière (Israël)
		Image/communication	Difficilement monétarisable	
	Gains pour l'irrigant	Augmentation des rendements grâce à la fertilisation organique	Gains de rendement par ha * prix de vente des cultures	Augmentation des marges brutes par ha de 81% pour les cultures fourragères, de 66% pour les céréales et entre 3% et 6% pour l'arboriculture (Tunisie, AHT, 2009).
			Economies en euros par rapport à l'achat d'engrais	La valeur de la fertilisation est estimée à 350 euros/ha à Castell Paltja d'Aro (Espagne). L'avantage lié aux économies d'engrais en Tunisie a été estimé entre 23 €/ha et 102 €/ha (DEI, 2003 in AHT 2010).
			Différentiel entre prix des terres avec accès aux EUT et prix des terres avec accès aux eaux de surface (non riches en fertilisants)	Le prix de la location des terres avec accès à l'eau usée est de 2,5 fois supérieur au prix des terres avec accès à l'eau de surface au Pakistan, ce qui donne une idée de la valeur des nutriments.
Augmentation de la sécurité de l'approvisionnement en eau	Impact sur la facture d'eau	Variation de coût = (prix eau réutilisée * volume d'eau appliqué) - (prix avant projet * volume avant projet)	Coûts évités si avant projet : eau utilisée = eau souterraine ou de surface	Coûts de pompage évités quand l'accès aux eaux usées permet de ne plus recourir au pompage d'eau souterraine : 0.11 €/m ³ (Espagne)
		Variance des volumes d'eau appliqués / des cultures & rendements / des profits	Rendements perdus en cas de pénurie d'eau * prix de vente des cultures * fréquence de la pénurie	La valeur de l'augmentation de la fiabilité est égale à 0.0085 €/m ³ d'après IWA (Israeli Water Authority). Cela correspond à la valeur de l'eau quand elle est appliquée sur les cultures les moins productives (0.085 €/m ³) x probabilité de restrictions d'eau qui entraîneraient l'arrêt de ces cultures (1 fois tous les 10 ans)

le recours à des solutions beaucoup plus coûteuses comme le transport d'eau depuis la rivière Ter ou le dessalement (FAO, 2010).

Illustration de l'ACB sociale : mesure de l'impact sur la santé publique

Suivant la situation initiale d'avant-projet, un projet de REUT pourra présenter :

- un impact positif sur la santé lorsque le projet de REUT permet i) de remplacer l'utilisation d'une eau usée non traitée ou peu traitée par une eau de meilleure qualité et ii) de mettre en œuvre des mesures de protection sanitaire additionnelles ;
- un risque potentiel pour la santé lorsque les EUT remplacent une eau conventionnelle disponible et non polluée.

L'aspect sanitaire est la première préoccupation des autorités dans le cadre de la mise en place d'un projet de REUT. Les coûts et bénéfices sur la santé du projet de REUT devront être estimés en tenant compte des équipements et mesures de protection sanitaire nécessaires pour respecter les recommandations de l'OMS (WHO, 2006).

L'évaluation de l'impact de la réutilisation des eaux usées sur la santé se fait selon trois axes :

- impact sur la mortalité : le DALY (disability-adjusted life year) est une mesure du temps de vie perdu à cause de la maladie par rapport à un idéal de vie en bonne santé. Il sert à quantifier (i) les années perdues du fait d'une mort prématurée et (ii) celles vécues avec un handicap. L'OMS fixe pour objectif de respecter un seuil de risque de 10-6 DALY par personne et par an, pour la réutilisation des eaux usées traitées en irrigation directe.
- impact sur la qualité de vie (morbidité) : le QALY (quality-adjusted life year) mesure la qualité de vie perdue à cause de la maladie.
- impact sur les dépenses de santé : la mesure de l'évolution des dépenses de santé couvre les frais de médicaments et d'hospitalisation pour les malades devant y avoir recours.

Illustration de l'ACB sociale : mesure de l'impact environnemental

De même que les aspects sanitaires, les coûts ou bénéfices de l'impact environnemental des projets de REUT sont des facteurs majeurs de la justification économique des projets. La difficulté à évaluer et quantifier ces coûts ou bénéfices fait qu'ils ont été peu intégrés jusqu'à présent dans les analyses économiques de projets de REUT.

Encadré 6 L'évaluation du risque sanitaire en REUT : le cas de Santiago du Chili

En 1991, le Chili faisait face à une situation de typhoïde endémique et une épidémie de choléra, deux maladies liées à l'irrigation à partir d'eaux usées non traitées. Un programme d'urgence a consisté en i) l'arrêt des rejets d'eaux usées dans les rivières les plus polluées utilisées pour l'irrigation ; ii) la chloration des autres rejets, iii) l'encouragement financier des agriculteurs pour irriguer à partir de puits, v) l'interdiction de la vente des produits agricoles issus de l'irrigation avec des eaux usées non traitées, vi) des campagnes d'éducation et d'information.

Les cas de typhoïde ont baissé de 3558 cas en moyenne par an à 454 cas par an en 1992. L'occurrence de la typhoïde est passée de 50 cas pour 100 000 hab. à 12 cas pour 100 000 hab. en 1993, et à 2,2 cas pour 100 000 hab. en 2006.

Un deuxième programme a consisté en la réalisation de travaux pour bloquer deux principaux rejets d'eaux usées non traitées et la construction d'une usine de traitement des eaux usées pour Santiago du Chili. Les coûts de traitement additionnels ont été estimés à 78 MUSD/an ou 0,14 USD/m³.

Une analyse coûts-bénéfices a été réalisée pour l'option proposée d'un traitement complet des eaux usées. L'étude a montré que les bénéfices annuels combinés de la réduction de la mortalité et de la morbidité dues au choléra et à la typhoïde, de l'absence de pertes de recettes à l'export, et de l'augmentation des productions agricoles étaient compris entre 23,7 et 76,7 millions de \$US par an. Ces bénéfices couvraient à eux seuls le coût annuel de traitement des eaux usées estimé à 78 MUSD/an. Les bénéfices additionnels liés à la réduction de mortalité et morbidité dues aux hépatites et aux diarrhées hors typhoïde et choléra ont été estimés entre 33,4 et 166 MUSD/an. Les bénéfices environnementaux ou de coût d'usage n'ont pas été pris en compte.

Source : Banque Mondiale, 2010, d'après Bartone 1994, Ferrecio 1995, Laval & Ferrecio 2007, Britran & Arellano 2005, Larraín 2009, Yayur 2009.

Le Tableau 11 présente les différentes sources de bénéfices d'un projet de réutilisation des eaux usées pour l'environnement, pour la société et en termes agronomiques. Il propose des indicateurs permettant d'évaluer ces externalités.

L'évaluation des bénéfices environnementaux peut se baser sur les mêmes méthodes que celles présentées en Annexe 1 pour l'évaluation des externalités environnementales négatives (encadré 7). Une dimension importante de l'évaluation des bénéfices environnementaux de la réutilisation des eaux usées est la prise en compte des valeurs d'usage et de non usage de l'eau.

Une des causes importantes des dégradations environnementales est la sous-estimation de la valeur des biens environnementaux lors de la mise en place de grands projets. Il n'existe le plus souvent aucun mécanisme institutionnel qui permette d'attribuer une valeur à ces biens environnementaux (notamment, il y a rarement de prix de marché). Les économistes ont développé des méthodes d'évaluation afin de donner une valeur à ces externalités et de les intégrer dans l'ACB.

Grille d'analyse économique de projet pour l'ACB sociale

Tableau 11 Grille d'analyse économique - ACB sociale (externalités) - Projets de réutilisation des eaux usées traitées

Paramètre analysé	Type de coût/bénéfice	Élément de coût/bénéfice	Indicateur	Méthode de valorisation	Exemple	
Externalités négatives / Coûts sociaux	Santé	Incidence et prévalence des maladies hydriques	Taux d'incidence et de prévalence des maladies hydriques liées aux micro-organismes pathogènes (bactéries, virus, protozoaires, helminthes) par personne et par an	Pertes en DALY pour les populations touchées		
		Campagnes d'information et de prévention	Coût des mesures d'information et de prévention	Coût des campagnes d'information & de prévention Coût des contrôles sanitaires additionnels (ex : augmentation de la fréquence des visites médicales * coût d'une visite)	Etude de suivi épidémiologique sur 3 ans menée autour du projet de Clermont-Ferrand afin de vérifier l'effet sur le personnel intervenant sur les parcelles (notamment les personnes affectées à la castration du maïs) et sur la population avoisinante. A l'issue de cette procédure : demande, au titre de la prévention, de suppression de la castration manuelle du maïs au profit de techniques mécaniques (AFD/BRL, 2011). Le coût de l'information (coût de l'étude, qui a mobilisé 15 médecins et 7 pharmaciens) ainsi que les coûts liés à la prévention sont indisponibles.	
		Niveau de risque acceptable en DALY et QALY (OMS)	Normes OMS 2006 : Perte de 10-6 DALY par personne et par an (= 1 mort pour 1000,000 personnes ou une maladie diarrhéique pour 10,000 personnes et par an).	Valorisation des DALY * 10-6 pppa * population touchée (méthode de valorisation des DALY suivant les recommandations OMS) et coût des mesures de protection sanitaires pour garantir les normes OMS de 10-6 DALY pppa.		
		Sécurité sanitaire / Qualité des produits	Normes OMS 2006 et plan de gestion des risques pour la sécurité sanitaire et la qualité des produits	Coût des mesures de sécurité sanitaire et de restrictions d'irrigation pour respect des normes OMS et Pertes de valeur ajoutée agricole liée à des restrictions de types de cultures et coût des investissements additionnels nécessaires en irrigation restreinte.		
	Environnement	Contamination des sols	Valeur d'usage et de non usage des sols	Valeur d'usage : i) valeur d'usage direct = VAN des productions agricoles + ii) valeur d'usage indirect : services environnementaux rendus par les sols + iii) valeur d'option : avantage de l'usage futur des sols. Valeur de non usage : i) valeur d'existence : CAP pour la sauvegarde des sols, ii) valeur de legs	Valeur d'usage : i) valeur d'usage direct = VAN des productions agricoles + ii) valeur d'usage indirect : services environnementaux rendus par les sols + iii) valeur d'option : avantage de l'usage futur des sols. Valeur de non usage : i) valeur d'existence : CAP pour la sauvegarde des sols, ii) valeur de legs	Haruvy et al. (1997) estiment le dommage environnemental causé par le lessivage de l'azote présent dans les eaux usées en Israël à 0.072 €/m ³ . Ce résultat est obtenu grâce à un modèle de programmation linéaire. Le dommage est évalué au prix implicite associé à la contrainte sur le lessivage. Le prix implicite s'interprète comme la baisse de profit due à une augmentation de la restriction sur le lessivage de l'azote de 1 kg/ha.
			Ou : pertes de rendement/ha contaminé	Perte de VAN agricole/ha/an * période d'analyse.		
			Salinité des eaux (Na+, K+, Alkalinité)	Perte de rendement/ha liée à la salinité des sols * prix de vente des produits agricoles		
		Pollution olfactive	Dépréciation de la valeur des habitations	Marché des transactions immobilières		
			Dépenses de protection	Coût des dépenses de protection ou de désodorisation		
		Emissions de GES	Valeur des émissions de GES	Prix de la tonne de carbone * émissions GES/ KW * KW/m ³	Le coût des émissions de gaz à effet de serre liées à la consommation énergétique du traitement des eaux usées est de l'ordre de 0.02 €/m ³ (Israël). Cette valeur est obtenue en multipliant la valeur de l'externalité (le prix du carbone)/KWh par la consommation en KWh/m ³ .	
		Social	Contamination des eaux souterraines	Valeur d'usage et de non usage de l'eau souterraine	Pour les volumes rendus inutilisables : Valeur d'usage : valeur d'usage direct, valeur d'usage indirect, et valeur d'option. Valeur de non usage : valeur d'existence, valeurs altruistes, valeurs de legs	
	Eutrophisation de la surface		Valeur d'usage et de non usage de l'eau de surface			
	Effet négatif sur le débit des rivières, les zones humides, la biodiversité		Valeur d'usage et de non usage de l'eau de surface			
Social	Conflits d'usage	Conflits d'usage des terres :	Prix de marché des terres * surfaces utilisées Ou : bénéfices perdus du fait de l'usage des terres pour une autre activité			
		Conflits d'usage de l'eau:	Valeur de l'eau en euros/m ³ liée à un autre usage			
Problèmes d'acceptabilité	Perception: Taux de participation aux réunions d'information Culture/religion	Budget communication du projet	Le budget communication du projet de Clermont-Ferrand s'élève à 0.05 million d'€ HT pour un volume annuel réutilisé de 0.8 Mm ³ /an.			

Tableau 11 Grille d'analyse économique - ACB sociale (externalités) - Projets de réutilisation des eaux usées traitées (suite)

Paramètre analysé	Type de coût/bénéfice	Élément de coût/bénéfice	Indicateur	Méthode de valorisation	Exemple
Externalités positives / Bénéfices sociaux	Bénéfices environnementaux	Augmentation de la qualité des eaux de surface et souterraines (eaux usées non rejetées dans les rivières)	Valeur d'usage et de non usage de l'eau	Volumes rendus utilisables * valeur d'usage direct + valeurs d'usages indirects + valeurs de non usage	Pareto (2003) estime le coût du traitement des nappes souterraines contre l'excès d'azote dû à la percolation d'eaux usées de mauvaise qualité à 0.08 €/m ³ en Israël.
			Coûts évités pour la restauration des écosystèmes	Coûts de restauration des écosystèmes si situation sans projet	
			Diminution du taux de mortalité des espèces aquatiques et ripisylvines	Valeur d'usage et de non usage des espèces * variation du taux de mortalité	
		Meilleur assainissement	Coûts évités pour améliorer l'assainissement	Coûts d'investissement + O&M de l'assainissement alternatif nécessaire sans réalisation du projet de REUT	
		Diminution de la pression sur les eaux de surface et souterraines	Valeur d'usage et de non usage des eaux de surface et souterraines	Prix de l'eau potable * volumes libérés grâce à la réutilisation (ces volumes seront vendus au moins à ce tarif aux usagers urbains) + valeur d'usage indirect + valeur de non usage des volumes libérés	L'externalité positive sur l'exploitation de la ressource est estimée à 1.11 €/m ³ pour les cas de El Prat et Sant Feliu en Espagne, soit équivalente au prix de l'eau potable (FAO 2010)
		Meilleure conservation	Coûts évités -via la ressource libérée- en matière d'augmentation des approvisionnements en eau	Coûts d'investissement & O&M évités du fait de l'augmentation de la sécurité d'approvisionnement des villes (par exemple désalinisation, transferts entre régions...) sur la période d'analyse	
	Bénéfices sociaux	Contribution à la gestion intégrée des ressources en eau urbaines	Evaluation qualitative du niveau d'intégration		
		Bilan Carbone favorable	Economie d'émissions par rapport à un approvisionnement en eau alternatif Réduction de la distance entre source d'approvisionnement en eau et usagers (plus local)	Prix de la tonne de carbone * économies d'émissions GES/KW * KW/m ³	
		Maintien de l'agriculture péri-urbaine	Revenus directs et indirects des emplois créés ou sauvegardés	Revenus nets moyens annuels * nb d'emplois directs & indirects créés ou sauvegardés	La réutilisation des eaux usées de la station d'Hammamet (Tunisie) pour l'arrosage des golfs de Citrus et Yasmine sont à l'origine de 170 emplois directs (AFD/BRL). L'augmentation des surfaces irriguées et les industries associées peuvent permettre de créer 5 emplois pour 1000 m ³ d'eau utilisée/an dans la bande de Gaza (World Bank 2004)
		Contribution à la sécurité alimentaire par l'augmentation de la production agricole	Evolution du ratio import/export des produits agricoles	Valeur CAF de la variation des importations de produits agricoles.	
Bénéfices agronomiques	Verdissement des paysages	Evolution du prix de l'immobilier	Différentiel d'évolution du prix de l'immobilier/m ² par rapport à l'évolution du prix moyen local * surface bâtie directement impactée par le projet		
	Maintien ou création du lien social ville/campagne	Difficilement monétarisable			
	Diminution de la consommation de fertilisants minéraux	Dommages liés aux fertilisants de synthèse évités	Evaluation des dommages engendrés par la présence de fertilisants de synthèse dans le sol * quantité de fertilisants évités grâce à la charge en fertilisants des eaux usées		
	Augmentation de la fertilité des sols (recyclage de la matière organique)	Quantité de fertilisants organiques apportés par les EUT	Evaluation des bénéfices engendrés par la présence de fertilisants issus des eaux usées dans le sol * charge en fertilisants/m ³ d'eau * m ³ d'eau appliqués/ha		
	Contrôle de la désertification (par la mise en place de zones irriguées)	Coûts évités de la désertification	Valeur foncière des terres agricoles perdues sans projet et coûts évités de protection contre la désertification		

Encadré 7 L'impact environnemental des projets de REUT en Espagne et en Israël

Diminution de la pression sur les ressources en eau en Espagne (Projet el Pratt de San Feliu)

Le développement des projets de REUT peut permettre la libération de volumes d'eaux conventionnelles de surface pouvant être utilisés pour des usages alternatifs, créant ainsi des bénéfices. En valorisant les volumes d'eau libérés pour l'alimentation en eau potable urbaine au prix de l'eau potable (1,11€/m³), ces volumes d'eau libérés représentent entre 64 % et 98 % des bénéfices/externalités considérés dans l'analyse économique de projet. Les coûts d'opportunité de l'eau pendant une sécheresse ont par ailleurs été récemment estimés à 7,38 €/m³ en Espagne, ce qui renforce davantage les bénéfices liés à la diminution de la pression sur les ressources en eau (International Water Association, 2011).

Domage environnemental lié à l'azote et coût des émissions de gaz à effet de serre en Israël

En Israël, le dommage environnemental causé par le lessivage de l'azote présent dans les eaux usées a été estimé à 0,072 €/m³ (Haruvy et al, 1997). Le coût des émissions de gaz à effet de serre liés à la consommation énergétique du traitement des eaux usées a été estimé à environ 0,02133 €/m³ (prix du carbone/KWh * consommation en KW/m³).

Projet de REUT et scénarii alternatifs

L'analyse économique d'un projet de REUT n'est pertinente que si l'on compare ce projet à au moins deux scénarii alternatifs.

Identifier les scénarii

Sur la base de situations observées, une typologie de scénarii intégrant l'ensemble de la filière (de la source à l'usage) est proposée dans le tableau 12. Cette typologie permet :

- de regrouper les pays en fonction des situations de réutilisation rencontrées (de l'irrigation d'eaux usées brutes à la réutilisation d'eaux usées traitées pour des usages d'eau potable),
- d'identifier une succession d'évolutions possibles pour atteindre des niveaux plus élevés de maturité et de maîtrise de la réutilisation (de la réutilisation non contrôlée à la réutilisation contrôlée) et de voir dans quel ordre les usages de REUT apparaissent (de l'irrigation au recyclage des eaux grises dans les bâtiments où elles ont été produites),
- de comparer -lorsque cela est pertinent- les scénarii entre eux pour mener les analyses coûts-bénéfices du projet en définissant notamment la situation contrefactuelle (situation sans projet) (*Choisir les comparatifs pertinents avec les scénarii alternatifs*),
- d'envisager, au-delà de l'option REUT, les autres options possibles et concurrentes (telles que le dessalement ou l'irrigation avec des eaux conventionnelles).

Remarques méthodologiques

- Remarque 1 : si le scénario de référence est l'absence de projet, il faut veiller à ne pas imputer au projet des coûts ou bénéfices qui seraient apparus de toute façon sans le projet. Par exemple, pour un projet qui consiste à ajouter un traitement

tertiaire pour améliorer la qualité des eaux qui sont déjà utilisées alors qu'elles n'ont subi qu'un traitement secondaire, il ne faut pas imputer à ce projet tous les bénéfices liés à la réutilisation de l'eau (Asano & al., 2007).

- Remarque 2 : Différents projets peuvent avoir des capacités de production différentes. Il faut donc comparer les coûts par unité d'eau traitée ou réutilisée ou ramener tous les coûts et bénéfices à une quantité d'eau produite identique.

Identifier la situation contrefactuelle

La situation "sans projet" ou contrefactuelle correspond à la situation de référence qui sert à évaluer l'impact du projet de REUT. La situation "sans projet" est tirée de l'analyse de la situation actuelle, et projette l'évolution la plus probable de cette situation sur la période d'analyse (25 à 30 ans) si le projet n'est pas réalisé.

Dans le cas d'un projet de REUT, l'évolution de la situation "sans projet" peut faire apparaître :

- un risque sanitaire pour les populations au contact ou utilisant des rejets non traités pour l'irrigation, ainsi que pour les consommateurs de produits agricoles ;
- l'apparition ou l'augmentation d'une compétition entre les différents usages des ressources en eaux conventionnelles souterraines et/ou de surface dans un contexte de rareté de la ressource. Cette situation est déjà observée dans de nombreux pays méditerranéens. Une estimation de son évolution sur 25 à 30 ans peut faire apparaître des externalités importantes justifiant le projet de REUT ;
- un risque environnemental important en l'absence de recours à la REUT (remontée de biseaux d'eau salée, baisse de niveau des nappes, dégradation d'hydrosystèmes, etc.) ;
- un risque social lié au développement de conflits d'usages de l'eau en aval dus à la pollution des eaux rejetées dans la situation sans projet ;

Tableau 12 Typologie des scénarii de réutilisation des eaux usées, de la source à l'usage

N° du scénario	Collecte	Traitement		Usages								Exemples	Freins
		Primaire/ Secondaire	Complémentaire	Irrigation agricole	Irrigation d'espaces verts	Recharge de nappe	Environnement	Industries	Villes	Domestiques	Eau potable		
1	Réutilisation non contrôlée : Les eaux usées domestiques et industrielles sont collectées imparfaitement et déversées (sans traitement performant) en périphérie des villes dans les milieux naturels et zones agricoles												
1a	-	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	Gaza, Mexico	Manque de financement des infrastructures
1b	+/-	+/-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	Gaza, Mexico	Manque de financement des infrastructures
2	Assainissement : Les eaux usées domestiques et industrielles sont collectées et traitées avant d'être déversées dans le milieu naturel												
	+	+	+/-	-	-	-	+	-	-	-	-	France (avant Arrêté du 2 août 2010)	Réglementation
3	REUT par irrigation : Les eaux usées domestiques et industrielles sont collectées, subissent un traitement poussé en vue de leur réutilisation en irrigation agricoles et sur des espaces récréatifs												
	+	+	+	+	+	-	+	-	-	-	-	France	
4	REUT par irrigation, recharge de nappe, industries et villes : Les eaux usées domestiques et industrielles sont collectées et subissent un traitement poussé en vue de leur réutilisation												
4a	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	Espagne	
4b	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	Espagne	
5	REUT large : La REUT couvre toutes les applications, incluant les usages domestiques et eau potable												
5a	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	Tunisie, Israël	
5b	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	Singapour	
6	Dessalement d'eaux saumâtres ou d'eau de mer												
7	Irrigation conventionnelle : L'irrigation est réalisée avec une ressource en eau conventionnelle (eau de rivière, eau de nappe) ; la REUT couvre toutes les autres applications, incluant les usages domestiques et eau potable												
8	Absence d'irrigation												
9	Transfert d'eau entre régions												

Non maîtrisé
Maîtrise partielle
Maîtrisé

- un risque agricole qui peut être lié à l'utilisation d'eaux usées non traitées ou insuffisamment traitées (pollution et contamination des sols, qualité des produits agricoles), à la disparition d'une agriculture péri-urbaine en l'absence de projet de REUT (diminution des ressources en eau) ;
- un risque touristique lié à la pollution des eaux rejetées en rivière en aval ou en mer dans des zones touristiques.

Choisir les comparatifs pertinents avec les scénarii alternatifs

Chaque projet doit être comparé à un ou plusieurs scénarii (sc.) alternatifs.

Au regard du Tableau 12, nous proposons ci-dessous les comparatifs possibles et réalistes.

Comparatif 1 : Assainissement (sc. 2) vs absence d'assainissement (sc. 1)

Remarque : le scénario n°2 ne concerne la REUT que si la mise en place de l'assainissement est conçue comme une étape préalable à la REUT.

Comparatif 2 : REUT par irrigation (sc. 3) vs irrigation d'eaux usées brutes (sc. 1)

Exemple : En Israël, l'eau utilisée pour l'irrigation est souvent de faible qualité. Les projets de modernisation des stations d'épuration visent la mise en place d'un traitement tertiaire. Ces projets doivent permettre de diversifier les cultures qui peuvent être irriguées à

partir d'eaux usées et de réduire les risques pour la santé et l'environnement (Feitelson & Laster, 2011).

Comparatif 3 : REUT par irrigation (sc. 3) vs assainissement sans irrigation (sc. 2)

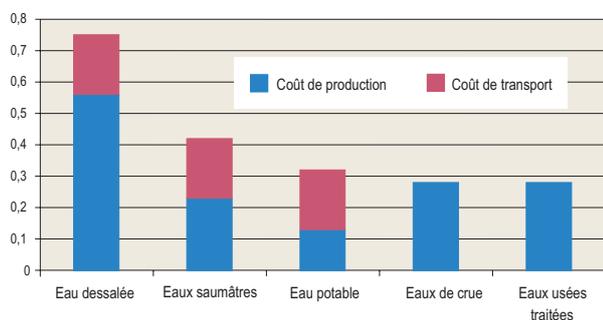
Exemple : Le projet d'irrigation de terres agricoles en Limagne noire à l'aval de la station d'épuration par boues activées de Clermont-Ferrand (France) a été mis en place en l'absence d'alternatives moins coûteuses pour l'accès à la ressource en eau : l'absence d'eau souterraine d'une part et le coût important pour solliciter un pompage de surface dans l'Allier (à plus de vingt km du site) d'autre part. Trouver une ressource en eau pour réduire les aléas climatiques préjudiciables aux productions s'est vite imposé comme une nécessité pour pouvoir honorer les contrats (céréales et betteraves sucrières) (AFD & BRLi, 2011).

Comparatif 4 : REUT par irrigation (sc. 3) vs irrigation traditionnelle avec ressource en eau conventionnelle (sc. 7)

Exemple 1 : A Blanes en Espagne, les agriculteurs irriguent principalement à partir d'eau souterraine. La mise en place de la réutilisation des eaux usées doit permettre de sauvegarder les nappes de la surexploitation et de la pollution (FAO, 2010).

Exemple 2 : En Israël, la comparaison des coûts de production et de distribution de l'eau d'irrigation en fonction de l'origine de l'eau (eau de mer dessalée, eaux saumâtres, eau potable, eau collectée pendant les crues et EUT) fait clairement apparaître que la REUT est la solution la plus économique (Figure 8).

Figure 8 Coûts de production et de distribution de l'eau d'irrigation en fonction de l'origine de l'eau (Feitelson & Laster, 2011)



Source : Feitelson & Laster; 2011

Comparatif 5 : REUT tous usages (sc. 5) vs REUT irrigation, recharge de nappe, industries et villes (sc. 4)

Exemple : Aucun pays méditerranéen n'autorise tous les usages liés à la REUT notamment les plus avancés et délicats (réutilisation pour l'eau potable).

Les illustrations sont à rechercher en Asie (Singapour par exemple).

Comparatif 6 : REUT vs dessalement (sc. 6) et transfert d'eau (sc. 9)

Si le traitement des eaux usées et le dessalement sont souvent comparés, les enjeux de l'utilisation de ces deux ressources non conventionnelles sont différents, l'eau issue du dessalement étant en général de très bonne qualité et son coût de production largement supérieur à celui du traitement des eaux usées. L'eau dessalée est le plus souvent utilisée par l'industrie ou pour l'approvisionnement en eau potable des villes. Au contraire, les usages de l'EUT sont ceux pour lesquels la valeur de l'eau est la plus faible, c'est-à-dire principalement l'irrigation en agriculture, l'arrosage de golfs et parcs publics ainsi que le nettoyage des rues. De plus, les externalités environnementales ne sont pas comparables : le dessalement a un impact négatif potentiellement élevé sur l'environnement lié, notamment, au rejet de saumures dans la mer. L'impact environnemental de la réutilisation des eaux usées est plutôt positif (amélioration de la qualité des eaux de surface et réduction de la pression sur la ressource). La réutilisation des eaux usées peut néanmoins entraîner une baisse des rejets en rivière susceptible d'engendrer des dommages environnementaux.

Par exemple, le projet de développement de la REUT à Platja d'Aro sur la Costa Brava (Espagne) a été comparé à un projet d'installation d'une usine de dessalement et à la construction d'une conduite pour faire venir de l'eau de la rivière Ter. Les coûts estimés sont de 0,33 €/m³ pour la réutilisation, de 0,45 à 1 €/m³ pour le dessalement et de 0,82 €/m³ pour le transfert d'eau (FAO, 2010).

Sélectionner les coûts/bénéfices appropriés pour l'analyse économique

En fonction du comparatif retenu, la liste des externalités à considérer devra être ajustée pour l'analyse économique. Ainsi, pour quatre comparatifs, une évaluation des coûts et bénéfices des scénarii de projets de REUT est présentée dans le Tableau 13 et le Tableau 14. Les externalités à considérer sont identifiées et évaluées qualitativement (+, ++, ===).

Tableau 13 Comparaison des coûts et bénéfices des scénarii de projets de REUT : Analyse coûts-bénéfices privée

Paramètre analysé	Type de coût/ bénéfice	Élément de coût/ bénéfice	Indicateur	Evolution des scénarii de REUT				
				Scénario 1a vers scénario 2	Scénario 2 vers scénario 3	Scénario 3 vers scénario 4	Scénario 4 vers scénario 5	
				Assainissement	Irrigation	Irrigation + recharge de nappe	Tous usages y/c domestiques & AEP	
Coûts privés	Coût de mise en œuvre	Etudes ingénierie & contrôle	% du coût total du projet	+	+	+	+	
	Coût du capital	Traitement tertiaire complémentaire	montant d'investissement par m ³ d'eau fournie	+/-	+	+	++	
		Réseau d'acheminement des eaux usées	montant d'investissement par m ³ d'eau fournie	+	si extension	si extension	si extension	
		Réseau de distribution des eaux traitées	montant d'investissement par m ³ d'eau fournie	-	+	++	++	
		Matériel	montant d'investissement par m ³ d'eau fournie	+	+	++	++	
		Foncier	m ² requis par m ³ d'eau traitée * coût par m ²	+/-	+	+	++	
		Coût de conversion sur l'exploitation agricole	montant d'investissement additionnel par m ³ d'eau utilisée	0	+	+	0	
			montant d'investissement additionnel par ha irrigué	0	+	+	0	
	Coût de maintenance	Main d'œuvre	nombre d'employés * coût de la main d'œuvre	+	+	+	+	
			coût/m ³ d'eau fournie	+	+	+	+	
		Matériel et consommables	coût/m ³ d'eau fournie	+	+	+	+	
			durée de vie du capital en année	+	+	+	+	
	Coût d'exploitation	Energie pour traitement, transport et distribution	KW/m ³ d'eau traitée	+	+	+	+	
			KW/m ³ d'eau distribuée	0	+	+	+	
		Main d'œuvre	nombre d'employés nécessaire * coût de la main d'œuvre	+	+	+	+	
			coût/m ³ d'eau fournie	+	+	+	+	
			Suivi/analyses	coût/m ³ d'eau fournie	+	+	+	+
		Consommables	coût/m ³ d'eau fournie	+	+	+	+	
Gains pour le producteur & distributeur d'eau réutilisée			Chiffre d'affaires lié à la réutilisation	prix de vente par m ³ * volume d'eau traitée et distribuée	taxe assainissement	+	+	+
			Coûts évités	économies sur investissement alternatif évité	+ si émissaire en mer évité	+ irrigation/ espase verts	+ à estimer pour tous usages	+ à estimer pour tous usages
	Image/communication	difficilement monétarisable	+	+	+	+		
Bénéfices privés	Gains pour l'irrigant	Augmentation des rendements grâce à la fertilisation organique	gains de rendement par ha * prix des cultures	0	+	+	0	
			économies en euros par rapport à l'achat d'engrais	0	+	+	0	
		Impact sur la facture d'eau	différentiel entre prix des terres avec accès EUT et prix des terres avec accès à l'eau de surface (non riche en fertilisants)	0	+	+	0	
			variation de coût = (prix de l'eau réutilisée * volume d'eau appliqué) - (prix avant * volume avant)	0	+	+	0	
		Augmentation de la sécurité de l'approvisionnement en eau	coûts évités si avant projet = eau souterraine ou eau de surface	0	+	+	0	
			variance des volumes d'eau appliqués / des cultures & rendements / des profits	0	+	+	0	
		rendements perdus en cas de pénurie d'eau * prix des cultures * fréquence de la pénurie	0	+	+	0		

Tableau 14 Comparaison des coûts et bénéfices des scenarii de projets de REUT - Analyse coûts-bénéfices sociale

Paramètre analysé	Type de coût/bénéfice	Elément de coût/bénéfice	Indicateur	Evolution des scenarii de REUT			
				Scénario 1a vers scénario 2	Scénario 2 vers scénario 3	Scénario 3 vers scénario 4	Scénario 4 vers scénario 5
				Assainissement	Irrigation	Irrigation + recharge de nappe	Tous usages y/c domestiques & AEP
Externalités négatives / coûts sociaux	Santé	taux d'infection * coût de traitement		Baisse du risque	Hausse du risque	=	risque sur usages domestiques et AEP
		taux d'incidence et de prévalence	Normes OMS	-	Hausse du risque	=	risque sur usages domestiques et AEP
		coût de l'information / prévention		Baisse du risque	+	=	+
		coût des contrôles sanitaires (ex: augmentation de la fréquence des visites médicales)		Baisse du risque	+	=	risque sur usages domestiques et AEP
		niveau de risque acceptable en DALY et QALY (OMS)	Normes OMS 2006: Perte de 10-6 DALY par personne et par an	Baisse du risque	Coût pour 10-6 DALY pppa	=	risque sur usages domestiques et AEP
		micro-organismes pathogènes	bactéries, virus, protozoaires, helminthes (Normes OMS 2006)	Baisse du risque	Hausse du risque	=	risque sur usages domestiques et AEP
		Sécurité sanitaire / Qualité des produits		0 si pas d'irrigation dans le scénario contrefactuel	+ sur nouvelles surfaces irriguées ; - sur surfaces déjà irriguées dans le scénario contrefactuel	=	risque sur usages domestiques et AEP

Aller de l'avant : tirer les leçons de l'existant pour changer de paradigme

Après une brève illustration des facteurs de réussite identifiés pour les projets en région méditerranéenne, des recommandations sont formulées pour lever les freins listés dans le Tableau 8. Sont ensuite proposés un phasage et une « checklist » constituant un cadre méthodologique pour mener à bien un projet de REUT étape par étape.

Connaître les facteurs de réussite

Les facteurs de réussite identifiés pour les projets sont le pendant positif des freins constatés. On citera notamment :

- des institutions opérationnelles et coordonnées autour de la REUT ;
- une réglementation adaptée et évolutive intégrant les contraintes des irrigants (équilibre entre le volet sanitaire et le volet agronomique) ;
- une politique de gestion intégrée des ressources en eau, une politique sanitaire et environnementale ;
- des systèmes de traitement adaptés et performants ;
- une acceptation publique ;
- la viabilité économique et financière des projets.

Encadré 8 Facteurs de réussite pour des projets de REUT en Israël

- une prise de conscience précoce d'une situation hydrique tendue,
- l'adaptation de la réglementation favorisant le développement de la REUT,
- la conversion rapide vers une agriculture moins consommatrice en eau et plus rentable,
- la combinaison de programmes d'économies d'eau (modernisation de l'irrigation) et de recherche de ressources en eau non conventionnelles (EUT et eaux dessalées),
- le développement d'une ingénierie technique ayant permis une bonne maîtrise de la REUT.

Lever les freins

Les recommandations suivantes sont proposées en vue de lever les freins précédemment identifiés.

Asseoir un cadre institutionnel et réglementaire cohérent

Pour lever les freins liés à la dispersion des prérogatives entre institutions et à la multitude des réglementations, il est recommandé de :

- mettre en place une organisation permettant la concertation entre institutions,
- développer des politiques, législations et réglementations spécifiques à la REUT.

Aborder la complexité de la REUT en adoptant une approche intégrée

A l'échelle du territoire, de la filière (de la source à l'usage) et dans un contexte multi-ressources et multi-usages, une démarche intégrée du type gestion intégrée des ressources en eau est indispensable. En particulier, il est essentiel de :

- considérer les eaux usées comme une ressource (dite non conventionnelle) et non comme un déchet : elles deviennent ainsi une composante à intégrer dans un schéma de gestion intégrée des ressources ;
- adopter une approche « territoire » à l'échelle du bassin versant en intégrant la gestion de l'eau potable, des eaux usées, des pollutions et de la réutilisation et évaluant les composantes et évolutions socio-économiques, et notamment les relations entre les centres urbains et les zones agricoles à proximité ;
- dépasser l'approche amont-aval ('top-down') pour une approche aval-amont ('bottom-up') : l'approche top-down adoptée dans le cas de systèmes d'assainissement traditionnel qui consiste à collecter et traiter des eaux usées sans envisager leur réutilisation doit être délaissée au profit d'une approche 'bottom-up' considérant les besoins (usages) au regard des ressources (différents flux d'eaux usées et effluents) et ajustant le traitement en conséquence ;
- adopter une approche intégrée multi-sectorielle qui vise à combiner les enjeux sanitaires, alimentaires, environnementaux, économiques et sociaux.

Choisir le bon modèle d'assainissement

Il n'y a pas de solution unique. Il est recommandé de :

- choisir un modèle d'assainissement tout d'abord adapté à l'usage tout en étant adapté à la nature et à la qualité de la ressource (eaux usées) ;
- rechercher des solutions simples, reproductibles et spécifiques aux conditions locales (niveaux de compétence, conditions physiques et climatiques, capacités financières) ;
- se poser la question du type d'assainissement (collectif, non collectif). Le principe de

l'assainissement collectif unitaire doit être évalué au regard de son efficacité, de son coût et en fonction du niveau économique des pays et, le cas échéant, abandonné au profit d'un assainissement plus écologique conservant la matière valorisable (nutriments), moins énergivore, plus rustique et moins exigeant en maintenance ;

- envisager la séparation des flux d'eaux usées. Privilégier le traitement séparé des eaux usées d'origine industrielle est crucial pour améliorer la qualité des eaux usées traitées ;
- choisir des traitements souples permettant d'ajuster la qualité de l'eau (teneur en azote, phosphore) en fonction de la demande saisonnière (usage agricole/recharge de nappe) ;
- intégrer la gestion des boues de traitement comme une composante à part entière des projets de REUT. Cette question ne doit pas être éludée puisque que, pour des raisons de proximité, leur épandage peut être fait sur les terres agricoles irriguées par de l'EUT.

Placer l'usage comme le déterminant de la REUT

Toute la chaîne, de la production au stockage en passant par le traitement, doit servir un usage. Lorsqu'il s'agit d'irrigation, cet usage doit être précisément étudié dans ses dimensions techniques, de pratiques agricoles et d'irrigation, risques, bénéfices et contraintes. En particulier, il est recommandé de :

- choisir des sites de réutilisation aussi proches que possibles de la ressource ;
- considérer le système irrigué eau-sol-plante (agriculture traditionnelle, espaces verts) comme faisant partie intégrante du traitement des eaux (agro-épuration). Le système eau-sol-plante est un réacteur puissant permettant de dégrader la matière organique, d'ab-(et ad-)sorber les éléments nutritifs et adsorber les sels. Dans le cas de la REUT, son rôle en matière de sécurisation de la filière de traitement (réduction de l'impact environnemental) est à considérer. Le potentiel de réutilisation de différents résidus (eaux usées, déchets) doit être évalué en fonction du climat, du sol, du niveau de sécurité sanitaire et des contextes socio-économique et politique ;
- évaluer dans le temps et l'espace les écarts entre la demande en eau (variabilité liée à la saison culturale, à l'effet des rotations de cultures et pratiques) et les ressources disponibles (en qualité et quantité) pour prévoir les capacités de stockage et usages complémentaires (recharge de nappe par exemple) ;
- repenser les pratiques d'irrigation et les équipements au regard de la problématique de

la REUT (ressource continue, ressource perçue comme plus risquée du point de vue sanitaire).

Diminuer les risques

Diminuer les risques en combinant des actions visant à réduire l'aléa et la sensibilité (par exemple en combinant traitement et protection dans le cas du risque sanitaire) (cf. *Tableau 6*) est un objectif primordial. Les risques mal gérés ou évalués alimentent les peurs et les freins à l'acceptation.

Etudier toutes les dimensions économiques et financières

Un même projet peut apparaître non viable ou viable selon le niveau de précision des chiffrages économiques. Il est indispensable :

- de chiffrer les coûts mais aussi et surtout les externalités (ACB privée et sociale) qui peuvent représenter une part importante dans la justification du projet ;
- en situation de compétition sur la ressource en eau conventionnelle : de prendre en compte la valeur d'usage de l'eau et les coûts évités quand le projet de REUT permet la libération de volumes d'eau conventionnelle pour d'autres usages ;
- de mettre en place ne politique tarifaire équilibrée avec, notamment, la question de la prise en charge des coûts de traitement par les pollueurs et/ou l'usager ;
- lorsque la rentabilité financière n'est pas garantie par la politique tarifaire, les externalités positives du projet de REUT (sur l'environnement, la santé ou la préservation des sources d'eau conventionnelles) peuvent justifier la mise en place de subventions publiques.

Former pour faire évoluer les mentalités et accroître le niveau de compétences

Faire évoluer la perception du public et donner aux acteurs les capacités de pilotage, gestion et optimisation des filières de REUT est primordial. Il est recommandé :

- d'expliquer et vulgariser par des campagnes d'information menées auprès des usagers, des consommateurs et des décideurs,
- de monter des formations auprès des différents acteurs (l'exploitant de station, les irrigants, les décideurs) avec des objectifs spécifiques et sur la base de leurs besoins, niveaux de connaissance et capacités d'apprentissage. La formation de formateurs (ou « ambassadeurs ») et le développement de modules numériques

accessibles sont des options possibles pour démultiplier l'impact,

- de veiller à l'articulation entre le monde de l'assainissement et le monde agricole, réunis dans le cadre de la REUT, mais que tout sépare a priori. L'assainissement est un processus plutôt continu, linéaire, technologique et généralement suivi (collecte de données, tableaux de bord). L'agriculture renvoie à des processus spécifiques au terroir (sol, climat), discontinus (pas d'irrigation hors période de culture) dans un contexte de forte variabilité dont la maîtrise requiert un savoir-faire souvent hérité de générations en générations et par voie orale (peu de données disponibles et centralisées).

Adopter une approche adaptée pour évaluer le potentiel d'un projet

Une approche rigoureuse et adaptée à la spécificité de projets de REUT est nécessaire pour évaluer les potentialités. Les questions principales à se poser

étape par étape de l'idée à l'étude de faisabilité sont compilées sur la figure 9. Elles sont ensuite détaillées sous forme de « checklist » en précisant les indicateurs à collecter (Tableau 17) et renvoyant aux grilles de ce rapport.

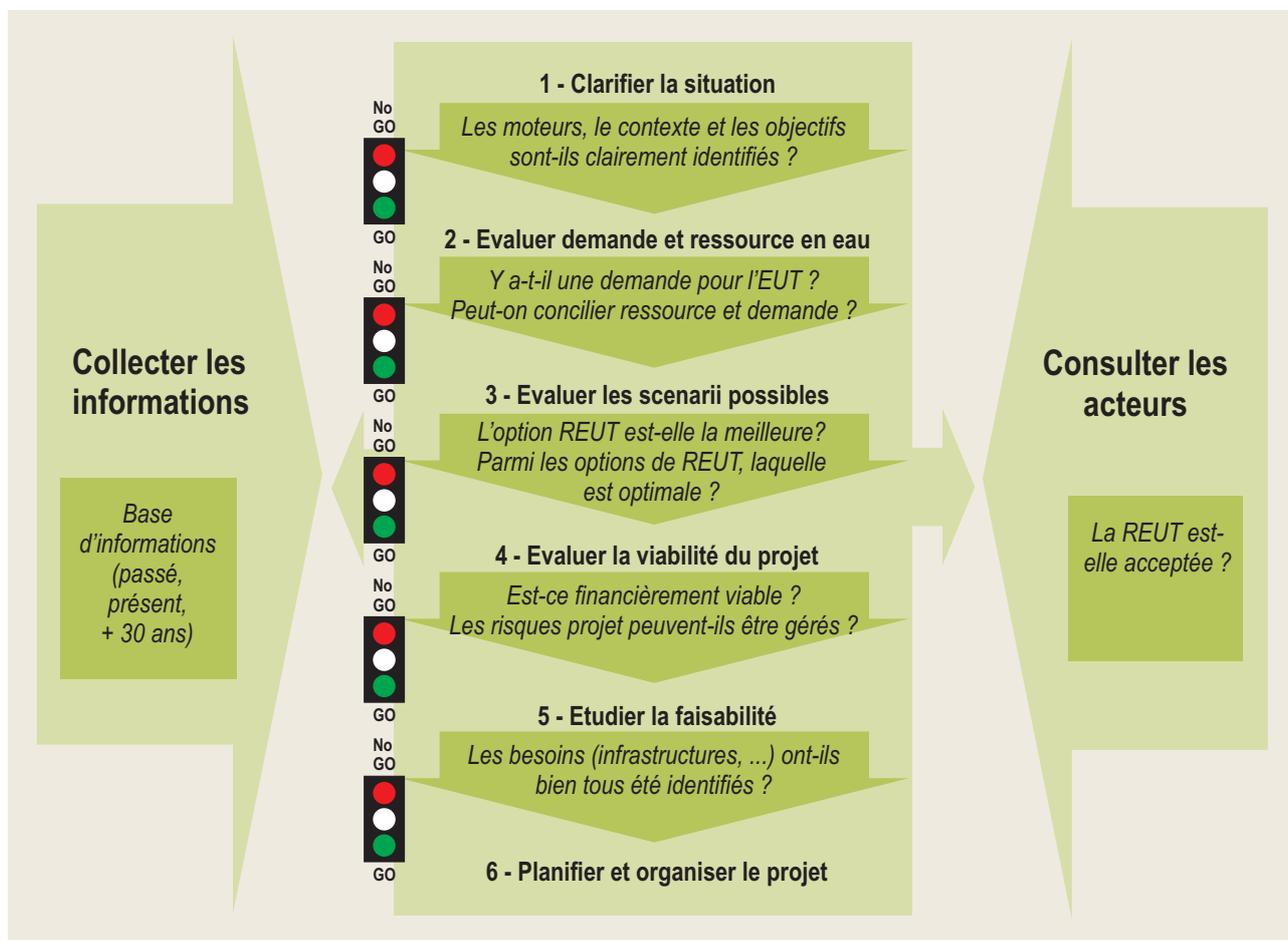
Les étapes pour évaluer un projet

On distingue des étapes chronologiques suivantes : clarifier la situation, évaluer le bilan d'eau, identifier les scénarii possibles, évaluer la viabilité du projet, puis sa faisabilité avant de planifier et organiser le projet. La validation d'une étape est indispensable pour passer à la suivante.

La réussite d'une évaluation de projet tient tout autant à la capacité de collecter des informations pertinentes qu'à celle d'associer les acteurs concernés tout au long du processus.

Les informations nécessaires -à collecter tout au long du processus de décision sont listées dans le Tableau 17 en Annexe 3.

Figure 9 Evaluation d'un projet de REUT- schéma synthétique



Checklist pour évaluer un projet

Cette « checklist » est une grille permettant au commanditaire ou au bailleur, d'orienter la recherche d'informations afin de répondre à des questions clefs (Tableau 16). Une fois renseignée, elle devient un outil d'aide à la décision et de partage d'informations. C'est également un support pour un travail collaboratif entre les acteurs du projet.

Tableau 15 L'évaluation d'un projet de REUT : les questions à se poser étape par étape

Etape 1 : Clarifier le problème : moteurs, contextes et objectifs	
Quels sont les moteurs du projet ? (cf. tableau 3)	Types de moteurs (démographie, pénurie d'eau...) ? Hiérarchie des moteurs ? Interconnexions entre les moteurs ?
Quel est le contexte du projet ? (cf. tableau 4)	Types de facteurs contextuels (niveau économique, culture...) Quels sont les facteurs prépondérants dans l'activation des moteurs ?
Quel sont les objectifs ?	Sont-ils bien identifiés ? Sont-ils bien reliés aux moteurs et au contexte ?
Etape transverse : Collecter les informations de base : à date et évolution sur 30 ans (cf. tableau X)	
Institutions, législation et réglementation, politiques	Les institutions sont-elles organisées ? La REUT est-elle autorisée ? Y a-t-il des politiques incitatives ?
Socio-économie	Quel est le contexte socio-économique et culturel ?
Conditions hydro-climatiques et écosystèmes	Quel est le contexte climatique et hydrologique ? Quels sont les écosystèmes sensibles ?
Agriculture et irrigation	Quels sont les usages (irrigation agricole et d'espaces récréatifs) ?
Demandes et ressources en eau	Quels sont les usages au regard des ressources ? Quel est le bilan ressources/usages ?
Infrastructures	Les infrastructures de collecte, traitement, distribution et irrigation sont-elles performantes ?
Financement et économie	Quels sont les revenus et coûts. Quelle est la politique tarifaire en place ?
Pratiques de réutilisation	Y a-t-il une « culture » de la réutilisation ? Quelle est-elle ?
Etape 2 : Evaluer les demandes et ressources en eau	
Ressources en eau¹⁰	Quelles qualité et quantité des ressources : <ul style="list-style-type: none"> • conventionnelles (eaux de nappes, eaux de surface) • non conventionnelles (eaux usées non traitées, EUT, eau dessalée, eaux saumâtres, eaux de drainage)
Quelle est la demande en eau ? La demande en REUT existe-t-elle ? ¹¹	Quelle quantité pour quels usages (eau potable domestique, industrielle, publique ; irrigation agricole, arrosage des espaces récréatifs, hydroélectricité...) Quels débits environnementaux minimum pour le maintien des eaux de surface et des nappes ? Où est localisée la demande par rapport à la ressource ? (distance entre les périmètres irrigués et les zones de production d'eaux usées par exemple) Y a-t-il une demande privée ?
Bilan ressources/demandes en eau (25 à 30 ans)	Possibilité de combiner offre et demande ? Y a-t-il des besoins non satisfaits (situation de stress hydrique) ? Y a-t-il des conflits d'usage (volume, localisation) ? L'EUT peut-elle satisfaire ces besoins ?
Etape 3 : Evaluer les solutions possibles (scenarii) par rapport aux objectifs et au contexte	
Quelles sont les options alternatives ? (cf. tableau 12)	Quelle est la projection de la situation sans projet (contre-factuelle) ? Quelles sont les options avec des ressources conventionnelles ? Quelles sont les options avec d'autres ressources non conventionnelles ? Quelles sont les options de REUT ? Est-ce un scénario simple : une ressource, un usage ? Est-ce un scénario complexe : multi-usages, multi-sources, usages variables dans le temps (ex : REUT par irrigation couplée à REUT par recharge de nappes hors saison de culture) ?

Tableau 15 L'évaluation d'un projet de REUT : les questions à se poser étape par étape (suite)

Etape 3 : Evaluer les solutions possibles (scenarii) par rapport aux objectifs et au contexte (suite)	
Le projet de REUT est-il économiquement rentable ? (cf. tableaux 10 et 11)	<u>Coûts et bénéfices privés (ACB privée) :</u> Quels sont les coûts d'investissement, d'exploitation et de maintenance pour les infrastructures de collecte, traitement, stockage et distribution ? Quels sont les coûts et bénéfices pour le producteur et le distributeur d'eau usée traitée, pour l'irrigant, et pour les utilisateurs finaux ?
	<u>Coûts et bénéfices sociaux (ACB sociale) :</u> Quels sont les coûts et bénéfices sur la santé ? Quels sont les coûts et bénéfices pour l'environnement ? Quels sont les coûts et bénéfices sociaux ?
L'option choisie de REUT est-elle la meilleure ? (cf tableaux 13 et 14)	L'option REUT est-elle : meilleure que les autres options ? complémentaire ? Quel est le scénario de REUT optimal ?
Etape transverse : Evaluer la perception publique	
La REUT est-elle acceptable ? (sources d'information : enquêtes)	Les acteurs sont-ils identifiés et impliqués ? Y a-t-il une culture de la réutilisation ? Quel est le niveau d'acceptation des utilisateurs et des consommateurs finaux ?
Etape 4 : Evaluer la viabilité du projet (analyse financière et risques)	
Le projet est-il viable financièrement ?	Clarifier qui va payer quoi et comment : quel est le plan de financement (tarifs, taxes, fonds propres, prêts, dons) ? La tarification est-elle adéquate ? Le projet est-il rentable financièrement pour l'opérateur/distributeur d'eau ? Le projet est-il rentable financièrement pour l'irrigant ou l'utilisateur final ? Les programmes de suivi technique, sanitaire et environnemental sont-ils financés et comment ? Quel est le bilan financier pour l'Etat ou la collectivité publique ?
	La demande solvable en eau REUT est-elle durable et correspond-elle aux eaux usées disponibles et aux investissements prévus ? Quelle est la sensibilité de la rentabilité du projet à une variation du volume d'eau REUT mobilisable ? Quelle est la sensibilité de la rentabilité financière du projet à une augmentation des coûts d'investissement ?
Quels sont les risques pour le projet ?	
Etape 5 : Planifier le projet et lancer les études de faisabilité	
Evaluer les besoins d'infrastructures	Besoins d'infrastructures complémentaires de collecte et d'assainissement (réseaux de collecte, types de traitement) ? Besoins de systèmes et pratiques d'irrigation adaptés et efficaces (irrigation agricole, irrigation d'espaces verts) ? Besoins liés à la réutilisation des eaux grises dans les bâtiments ? Besoins de traitement des effluents industriels ?
Etude d'impact environnemental et sanitaire	
Organiser le projet	
Définir les modalités de suivi	
Etablir le business plan	
Sources :	
10	schémas directeurs des ressources en eau, études de bassin, études et cartes hydrologiques et hydrogéologiques, législation sur les ressources en eau, normes sur la qualité de l'eau, bases de données pour le suivi de qualité des eaux.
11	schémas directeurs des ressources en eau, études de bassin, plans directeurs d'adduction d'eau potable, schémas directeurs de développement urbain, plans de développement sectoriels (irrigation, hydroélectricité...), quotas alloués pour les prélèvements par usage, projections démographiques, recensements, législation et normes sur la qualité de l'eau, législation sur les débits environnementaux

Annexes

Annexe 1 : Apports méthodologiques pour l'analyse économique

1. L'évaluation des externalités : quelques remarques

- Tous les éléments qui ne peuvent pas être quantifiés doivent néanmoins être présentés très clairement dans les résultats d'une analyse coûts-bénéfices (ACB). Leur importance peut s'avérer décisive pour la réalisation ou l'abandon d'un projet (FAO, 2010).
- Mettre une valeur sur certaines externalités est un exercice parfois difficile. Néanmoins, les économistes ont développé des méthodes dites d'« évaluation contingente », reposant sur des enquêtes, permettant d'associer une valeur exprimée en termes monétaires à des changements de situation (par exemple un changement de l'état de l'environnement ou de l'état de santé).
- Certains reprochent à l'évaluation économique des externalités de « privatiser » l'environnement car elle donne une valeur monétaire à des biens ou services qui sont traditionnellement en dehors de la sphère marchande. Ces craintes doivent être entendues mais il faut voir l'évaluation monétaire comme un simple outil de comparaison de tous les coûts et bénéfices. La monnaie est un étalon commun connu de tous et facile à utiliser.
- Dans le cas des ressources en eau, les externalités doivent être évaluées à l'échelle des bassins versants, dans l'optique de la gestion intégrée de la ressource en eau (FAO, 2010).
- La méthodologie d'évaluation des externalités n'étant pas encore stabilisée, il faut procéder à des analyses de sensibilité spécifiques, mesurant l'impact des imprécisions autour de l'évaluation des externalités sur la rentabilité du projet.

Par exemple, pour évaluer l'externalité « baisse de la pression sur la ressource » en calculant la valeur de l'eau rendue disponible pour d'autres usages, plusieurs indicateurs peuvent être utilisés : prix de vente de l'eau potable, coût réel de l'eau potable, coût de l'augmentation de l'eau disponible par d'autres moyens... Il faut calculer la valeur actuelle nette du projet avec ces différents indicateurs pour vérifier dans quelle mesure le résultat final est sensible à la valeur choisie.

2. L'évaluation des bénéfices et risques environnementaux

Une des causes importantes des dégradations environnementales est la sous-estimation de la valeur des biens environnementaux lors de la mise en place de grands projets. Il n'existe, le plus souvent, aucun mécanisme institutionnel qui permette d'attribuer une valeur à ces biens environnementaux (il y a, notamment, rarement de prix de marché). Les économistes ont développé des méthodes d'évaluation afin de donner une valeur à ces externalités et de les intégrer dans l'ACB.

Les méthodes d'évaluation sont souvent classées en deux catégories : les méthodes indirectes fondées sur l'observation des comportements qui révèlent les préférences, et les méthodes directes consistant à interroger les individus sur leurs préférences. Les éléments suivants sont issus des travaux de Bontems et Rotillon (2007), complétés par ceux de l'OCDE (2006).

Préférences révélées par une évaluation indirecte

On distingue ici l'approche par les fonctions de dommage, qui évalue d'abord les dommages (ou la réduction des dommages) puis leur associe une valeur monétaire, et les autres approches qui utilisent des données monétaires fournies par l'observation de marchés indirectement reliés au bien environnemental considéré.

- **Les fonctions de dommage** : il faut, dans un premier temps, établir un lien quantitatif de causalité entre l'utilisation de l'eau usée (ou l'évolution de la qualité des eaux usées) et ses conséquences. Il s'agit, dans un second temps, d'associer une valeur monétaire au lien mis en évidence dans la première étape.

Exemple : L'application d'eaux usées sur un hectare de cultures irriguées augmente le taux de salinité du sol. Les pertes de rendement par hectare liées à l'augmentation de la salinité peuvent être évaluées. Le coût environnemental de l'augmentation de la salinité (en euros/ha) peut ensuite être chiffré sur la base du prix de vente (connu) du produit cultivé.

- **Les dépenses de protection** : les ménages font des dépenses pour se protéger contre une dégradation de leur environnement. La comptabilisation de ces dépenses donne une mesure -certes imparfaite mais relativement facile à calculer- du bénéfice lié à l'amélioration de l'environnement. Cette méthode donne une évaluation minimale car

il n'est pas possible de se protéger contre toute nuisance.

Exemples : dépenses de protection contre la gêne visuelle occasionnée par les bassins de stockage pour les ménages habitant près de ces bassins ; surcoût payé pour acheter des produits non irrigués à partir d'eaux usées (produits importés par exemple).

- **Les prix hédonistes** : cette technique repose sur l'hypothèse d'un lien entre le prix d'un bien et ses différentes caractéristiques. Pour des logements comparables mais situés dans des environnements différents, la différence de prix devrait traduire une évaluation du dommage ou de la qualité environnementale. L'imperfection du marché immobilier limite la validité de cette méthode (information imparfaite des acheteurs sur les caractéristiques du bien acheté, contrainte de crédit...).

Exemple : La décantation des eaux usées dans des bassins peut entraîner une pollution olfactive. Quand il n'est pas possible de chiffrer la perte de valeur des habitations situées à proximité des stations d'épuration, la nuisance olfactive peut être estimée en reprenant les données sur la baisse de valeur des habitations suite à l'installation d'une décharge, autre nuisance olfactive comparable (méthode du transfert).

- **Les coûts de déplacement** : l'hypothèse de base est que pour bénéficier des services environnementaux gratuits, il faut consommer des biens marchands complémentaires, notamment avoir des dépenses de transport. Une enquête de fréquentation permet d'évaluer les coûts de déplacement des visiteurs et d'en déduire la valeur d'un site naturel. Cette méthode ne s'applique qu'aux biens environnementaux récréatifs.

Exemple : Le traitement secondaire des eaux usées avant rejet permet d'améliorer la qualité des eaux de baignade d'une rivière. L'évolution de la fréquentation d'un lieu de baignade (en nombre de visiteurs et en distance parcourue par les visiteurs) permet de donner une valeur à l'externalité positive sur la qualité de l'eau.

Préférences déclarées par enquête

- **L'évaluation contingente** : cette méthode consiste à demander directement aux individus leur consentement à payer pour une amélioration de l'environnement ou leur consentement à recevoir pour une dégradation. Cette méthode est la seule utilisable pour les valeurs de non-usage.

Une enquête comporte quatre étapes :

- La construction d'un scénario de référence qui pourra être expliqué simplement et de façon crédible à tous les enquêtés,
- La révélation des valeurs de consentement à payer (CAP) et consentement à recevoir

(CAR) pour un changement de l'état de l'environnement par rapport au scénario de référence, ceci sur un échantillon représentatif de la population totale,

- Le calcul d'une valeur moyenne du CAP ou CAR et la recherche de variables explicatives,
- L'agrégation des résultats à l'échelle de la population totale pour donner une estimation de l'évaluation du changement de situation environnementale par l'ensemble de la population considérée.

Birol et al. (2008) ont mesuré l'acceptabilité et le consentement à payer d'agriculteurs de Chypre pour un projet de recharge et assainissement de la nappe d'Akrotiri à l'aide d'EUT. Ils montrent qu'une majorité des agriculteurs de la zone sont prêts à soutenir ce projet et que leur CAP est le plus élevé pour le projet le plus ambitieux (visant une qualité élevée de l'eau souterraine).

- **La modélisation des choix (*choice-modelling*)** : cette méthode tient compte du fait qu'un projet peut avoir plusieurs impacts environnementaux (impacts multidimensionnels). La méthode permet de quantifier la valeur marginale ou unitaire de chacune des dimensions constitutives d'un changement environnemental.

La méthode repose sur :

- L'identification des dimensions pertinentes du bien environnemental à évaluer, ainsi que l'assignation de niveaux à ces dimensions.
- La constitution de cartes de choix, contenant au moins deux scénarios, chacun étant défini par des dimensions et niveaux des attributs environnementaux. Les cartes de choix doivent être constituées de telle sorte à maximiser l'information collectée sur les préférences vis-à-vis de chaque attribut environnemental, tout en minimisant le nombre de cartes de choix nécessaires. C'est l'étape la plus délicate de cette méthode.
- La collecte des décisions d'un échantillon représentatif de participants : ceux-ci doivent choisir leur scénario préféré sur chaque carte.
- L'estimation de la valeur de chaque dimension du bien environnemental par croisement des décisions sur les différentes cartes de choix.

Cette méthode a été mise en œuvre pour évaluer les préférences des londoniens concernant la qualité des eaux de la Tamise. Le réseau d'assainissement de Londres n'étant plus en mesure d'absorber la totalité des eaux de pluie qui s'abattent régulièrement sur la ville, des effluents non traités sont régulièrement rejetés dans le fleuve et de nombreux détritiques sont charriés par les eaux d'égout.

La société Thames Water a envisagé neuf options différentes afin de réduire ces nuisances. Chacune de ces options se caractérise par des niveaux de coûts et de services variables. Parmi les attributs sélectionnés figurent le nombre de jours par an où les sports

aquatiques ne sont pas conseillés du fait de risques accrus pour la santé et le nombre de morts potentielles de poissons.

L'analyse de chacune de ces options à l'aide de l'analyse contingente serait longue car chaque option nécessiterait son propre scénario. La modélisation des choix offre une alternative utile. Il a été demandé aux personnes interrogées de choisir entre plusieurs cartes de choix, qui contiennent le scénario de référence plus un ou des scénarios d'amélioration potentielle du fleuve. Ces scénarios étaient décrits par rapport aux caractéristiques des restrictions sur la pratique de sports aquatiques, au taux de survie des poissons et au coût des différentes options. La méthode de modélisation des choix permet de donner un prix implicite à chacune des caractéristiques, comme le CAP pour réduire d'un jour le nombre de jours où il est risqué de pratiquer les sports aquatiques ou le CAP pour réduire de un le nombre de poissons morts. Ces valeurs unitaires peuvent ensuite être agrégées pour évaluer les avantages totaux d'une option particulière (OCDE, 2009).

Remarques

Etant donné le peu de références disponibles sur l'utilisation de ces méthodes révélatrices des préférences pour l'estimation des externalités environnementales créées par des projets de

réutilisation des eaux usées, il semble pertinent de mener des enquêtes. Celles-ci peuvent permettre d'évaluer à la fois l'acceptabilité et le consentement à payer pour la réutilisation des eaux usées et la valorisation des bénéfices et risques environnementaux associés par les habitants de la zone ou les personnes impactées par le projet.

La détermination du consentement à payer par enquête étant coûteuse en termes de temps et d'argent, il peut être tentant de procéder à un transfert : le CAP déterminé pour un objet donné dans un lieu donné est utilisé pour le même objet mais dans un autre lieu. Une telle démarche est cependant intrinsèquement aléatoire (Desaigues et Point 1993 ; AFD 2004). Les marges d'erreur lors d'un transfert peuvent être significatives. Elles résultent de la double impossibilité de trouver deux objets parfaitement similaires et de capturer l'ensemble des déterminants sociaux, économiques et culturels du CAP. Cette pratique doit donc toujours être accompagnée d'une analyse de sensibilité.

Exemples d'évaluation d'externalités négatives et positives liées à des projets de REUT

Externalité négative	Modes d'évaluation possibles
Contamination des sols	Elle peut s'évaluer via : <ul style="list-style-type: none"> la valeur d'usage et de non usage des sols concernés par le risque pollution, la perte de rendement agricole par ha contaminé, l'impact de salinité des eaux.
Contamination des eaux souterraines	Le risque sera valorisé à la valeur d'usage et de non usage des eaux souterraines. Le bilan ressources/besoins en eau établi lors de l'analyse préalable doit permettre d'estimer ces valeurs d'usage.
Eutrophisation de la surface et effets négatifs sur le débit des rivières	les risques seront valorisés à la valeur d'usage et de non usage des eaux de surface concernées. Le bilan ressources/besoins en eau établi lors de l'analyse préalable doit permettre d'estimer ces valeurs d'usage.
Emissions de GES	Estimées par les émissions de GES induites par la consommation énergétique additionnelle liée au traitement et à la distribution des eaux usées. Leur coût sera évalué sur la base du prix de la tonne de carbone.
Pollution olfactive	Coût sera estimé par appréciation de la dépréciation de la valeur des habitations ou des dépenses de protection.

Externalité positive	Modes d'évaluation possibles
Réduction de la pression sur les ressources en eau conventionnelles	<ul style="list-style-type: none"> estimation de la valeur d'usage : valeur des services directs ou indirects procurés par l'utilisation effective, envisagée ou possible de l'eau conventionnelle libérée par la REUT ; estimation de la valeur de non usage de l'eau : valeur liée à l'existence de l'eau indépendamment de tout usage présent ou futur (valeur d'existence d'une nappe) (estimation est difficile) ; coûts évités pour augmenter la sécurité d'approvisionnement des villes (nouveaux captages, dessalement, transferts entre bassins...); en cas de libération de volumes d'eau pour l'AEP : valorisation des volumes au prix de l'eau potable.
Augmentation de la qualité des eaux de surface et souterraines	Elle est à estimer par rapport à une situation sans projet où les eaux usées sont rejetées dans les rivières avec un niveau de traitement inférieur. On considère dans ce cas : <ul style="list-style-type: none"> la valeur d'usage et de non usage de l'eau ; les coûts évités de restauration des écosystèmes ; la diminution du taux de mortalité des espèces aquatiques et ripisylves
Amélioration du bilan carbone	Peut être estimée à travers trois indicateurs : <ul style="list-style-type: none"> économies d'émissions par rapport à un approvisionnement en eau alternatif ; réduction de la distance entre source d'approvisionnement en eau et usagers ; réduction des émissions dues au transport de produits agricoles vers les centres urbains.

3. Perception et risque de non acceptabilité des projets

Plusieurs acteurs peuvent contribuer ou nuire à l'acceptabilité d'un projet de réutilisation des eaux usées : les consommateurs des produits agricoles jugeant le risque sanitaire trop élevé, les agriculteurs qui craignent pour leur santé et de ne pas pouvoir écouler leurs produits si les consommateurs sont réfractaires, les citoyens qui refusent de payer avec leurs impôts de tels projets, le voisinage des stations de traitement ou des zones d'irrigation qui craignent une gêne, etc.

Les déterminants du degré d'acceptabilité des projets de réutilisation des eaux usées sont (WHO, 2006) :

- le degré de sensibilisation (par exemple, le nombre de personnes informées sur le procédé),
- la connaissance moyenne des problématiques d'assainissement,
- la connaissance moyenne des enjeux de stress hydrique,
- l'existence d'alternatives à la réutilisation des eaux usées,
- le degré de confiance dans la technologie de traitement de l'eau,
- le degré de confiance dans les normes sanitaires fixées par le gouvernement.

Remarques

1. L'acceptabilité du public sera d'autant plus forte qu'il aura participé à la mise en place du projet. Les membres de la communauté qui bénéficieront des effets positifs ou supporteront les effets négatifs d'un projet ont un rôle important à jouer au moment de la planification. La participation du public peut prendre de multiples formes : réunions publiques, enquêtes en face à face, etc.
2. L'organisation de réunions publiques, où ruraux et citadins sont conviés, permet d'avoir une évaluation indirecte du degré d'acceptabilité et de la perception du public des externalités négatives. Une forte mobilisation des populations locales peut être un indicateur de la crainte suscitée par le projet. De telles réunions peuvent permettre de résoudre une partie des problèmes liés à la non-acceptabilité avant que le projet ne soit mis en place.
3. La conduite de focus group ou d'enquêtes peut permettre de comprendre les raisons de ces craintes (degré de connaissance des enjeux, raisonnement), et ainsi de trouver des leviers pour les lever.

Tsagarakis et Georgantzis (2003) ont étudié le consentement à utiliser de l'eau recyclée et le consentement à payer d'agriculteurs en Crète. Leur questionnaire comporte différentes versions, notamment avec ou sans information concernant les bénéfices et limites de la réutilisation des eaux usées. Ils montrent que les agriculteurs sont prêts à utiliser de l'eau recyclée et que l'accès à l'information sur les bénéfices augmente l'acceptabilité. Le niveau de vie et d'éducation augmente l'acceptabilité et l'effet d'une session d'information.

4. La valeur de l'eau d'irrigation

L'irrigation est génératrice de valeur mais le concept de valeur de l'eau d'irrigation est multiforme, ce qui rend son estimation délicate. Tardieu (1999) distingue notamment la valeur stratégique et la valeur tactique de l'eau.

La valeur stratégique est égale au supplément de valeur ajoutée amené par les cultures irriguées, ramené au volume d'eau alloué à l'irrigation. Cette valeur est représentative des choix stratégiques faits par l'agriculteur à une date où il peut encore modifier son assolement et sa conduite de l'irrigation. Elle est influencée par le prix des produits, les rendements, l'efficacité des techniques d'irrigation, etc. L'irrigation n'est normalement utilisée que si la valeur stratégique est supérieure au prix de l'irrigation.

La valeur tactique de l'eau est définie comme la valeur à court terme quand les possibilités d'adaptation à une éventuelle pénurie d'eau sont limitées. Elle dépend notamment du stade végétatif (valeur élevée après semis et faible en fin de période végétative) et des conditions climatiques (valeur élevée en cas de stress hydrique et faible -voire nulle- en cas de pluie abondante). La valeur tactique est souvent supérieure à la valeur stratégique car les pertes liées à un déficit d'eau d'irrigation sont plus élevées quand il n'est pas possible de mettre en place des stratégies compensatrices.

Il existe diverses méthodes de calcul de la valeur stratégique de l'eau d'irrigation, qui mènent à des estimations variées. Cette valeur peut être déduite à partir de modèles de programmation mathématique : c'est le prix implicite associé à la consommation de l'input eau. Elle peut être estimée économétriquement à partir de données sur les revenus, les coûts et la consommation d'eau (Schoengold & al., 2006). Il est aussi possible d'évaluer la valeur de l'eau à partir d'enquêtes sur le consentement à payer.

A titre d'exemple, dans leur étude auprès de producteurs de fruits tropicaux dans le Sud-Est de l'Espagne, Calatrava Leyva et Sayadi (2005) estiment le consentement à payer moyen à 0,27 €/m³ d'eau alors que leurs estimations de la valeur marginale de l'eau à partir de données sur les caractéristiques de la production et les revenus générés donnent une valeur de 1,52 €/m³. Rigby et al. (2010) utilisent la méthode des choix multi-attributs (choix expérimental) pour identifier la valeur marginale de l'eau d'irrigation dans le Sud de l'Espagne. Ils trouvent que le consentement à payer moyen est de 0,45 €/m³.

5. Les valeurs d'usage et de non usage de l'eau

Une externalité positive importante de la REUT pour l'irrigation est liée au fait que plus d'eau est disponible pour d'autres usages. L'estimation de la valeur de l'eau pour ces usages permet d'évaluer cette externalité. Cependant, l'utilisation de l'eau ne fait pas toujours l'objet d'une valorisation sur un marché (par exemple l'eau qui permet de se baigner dans une rivière, l'eau qui coule dans une cascade et qui est plaisante à regarder ou l'eau souterraine que l'on n'utilise pas mais qui sera accessible aux générations futures n'ont pas de prix). Même lorsqu'un prix est fixé, il ne reflète la plupart du temps que partiellement les coûts et bénéfices environnementaux réels. L'analyse économique complète de la REU nécessite de tenir compte de la valeur économique totale, qui tient compte des valeurs d'usage et de non usage de l'eau (AFD, 2004).

La valeur d'usage correspond à la valeur des services procurés par l'utilisation effective, envisagée ou possible de l'eau. La valeur de non usage est la valeur liée à l'existence même de l'eau, indépendamment de tout usage présent ou futur. Les individus peuvent souhaiter préserver l'eau sans l'utiliser effectivement, sans envisager de l'utiliser ou sans qu'il soit même possible de l'utiliser (OCDE, 2006) :

- Les eaux laissées dans les rivières grâce à la REUT et pouvant servir à l'industrie ont une valeur d'usage direct pour les industriels ;
- Une zone humide remise en eau grâce à la REUT permettra de filtrer l'eau et d'augmenter ainsi sa qualité pour les usagers en aval (service écosystémique avec une valeur d'usage indirect) ;
- La possibilité de remplir une nappe grâce aux REUT a une valeur, même si cette eau ne va pas être utilisée aujourd'hui. Elle a une valeur d'option si un usage futur de l'eau souterraine est envisageable. De plus, cette eau peut avoir une valeur d'existence, associée à aucun usage (sentiment de responsabilité vis-à-vis du bien), ou encore une valeur de leg si les générations futures sont susceptibles d'utiliser cette eau.

Annexe 2 : Apports méthodologiques pour l'analyse de la viabilité financière

1. Le financement des projets de REUT

Pour assurer la pérennité financière d'un projet de réutilisation des eaux usées, il importe de trouver

un bon équilibre entre les sources de financement. La clé de répartition du plan de financement entre la puissance publique, les opérateurs, les utilisateurs de la REUT, les bailleurs internationaux et financeurs privés est à définir en fonction des caractéristiques et contraintes de chaque projet.

La tarification de l'eau et du service, les subventions publiques et les dons sont les principales sources de revenus disponibles pour un projet (« les 3T »). Il convient de s'assurer que ces trois sources permettent le « recouvrement durable des coûts », principe plus réaliste et pragmatique que celui de « recouvrement intégral des coûts » par l'intermédiaire de la seule tarification.

Le financement public peut être multi-forme : subvention à l'investissement, prêt à court ou long terme, taux d'intérêt avantageux, cautionnement, garantie, etc. Les fonds publics peuvent provenir de l'administration centrale, mais aussi des collectivités locales, quand celles-ci peuvent percevoir des taxes et/ou contracter une dette. Les dotations budgétaires de l'État et les marchés financiers peuvent procurer aux communes solvables des capitaux à investir dans des projets de réutilisation des eaux usées.

Des prêts, obligations ou actions, peuvent servir à mobiliser des sources supplémentaires de capitaux, notamment afin d'aider à financer la mise de fonds initiale. Cependant, ces formes de financement appellent d'une façon ou d'une autre un remboursement ou une rémunération qui doit être prévu dans le plan de financement. Si, jusque récemment, la plupart des projets étaient financés par les gouvernements et agences publiques, avec des dons ou prêts d'organisations internationales, les projets les plus récents incluent des opérateurs privés, qui prennent part au financement du projet.

Le tableau ci-dessous liste les sources de financement possibles en fonction des postes d'investissement et précise la justification de chaque type de financement.

2. La tarification des eaux usées traitées

Une tarification de l'eau efficace doit permettre à la fois de couvrir (tout ou partie) des coûts des services d'eau et d'assainissement, et de créer des incitations en faveur de l'utilisation rationnelle de l'eau. Il n'est néanmoins pas évident que les recommandations en faveur d'une tarification incitant à une baisse de la consommation d'eau s'appliquent au cas de l'eau usée. En effet, l'eau usée est disponible en grande

Tableau 16 Sources de financement des différents postes de dépenses dans un projet de REUT

	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	Revenu du projet	Equilibre financier de l'activité (agriculture, maraîchage, golfs...)
	Prêt à taux de marché		
Maintenance / renouvellement	idem investissement	Idem investissement	

Source : Faruqi, 2000

quantité (du moins tant que les usagers domestiques et industriels ne réduisent pas leur consommation) et il faut pouvoir rentabiliser le coût de la mise en place de la filière de réutilisation des eaux usées.

Le prix des eaux usées traitées

Le prix des EUT est très variable selon les projets. Il fluctue entre 0 et le prix de l'eau conventionnelle.

- Mettre un prix nul sur l'eau usée pour les utilisateurs permet de favoriser l'acceptabilité de cette innovation et, par conséquent, de réduire les rejets d'eaux usées dans l'environnement.

Par exemple, en Australie, la réutilisation des eaux usées n'est pas payante afin de réduire les rejets d'eaux usées dans les environnements aquatiques sensibles.

- Le prix des EUT est souvent inférieur au prix des eaux potable et conventionnelle. Une des justifications pour fixer le prix au litre à un montant inférieur à celui de l'eau conventionnelle est que les volumes appliqués doivent être plus élevés afin de diluer le sel contenu en plus grande quantité dans les eaux usées. Pour conserver le budget irrigation constant, il faut donc un prix au litre plus bas.

Une étude de 11 projets de réutilisation des eaux usées conduite en Californie en 2005 montre que le prix de l'EUT varie entre 45 et 100% de celui de l'eau potable (moyenne de 77 %) (American Public Works Association, 2005).

En Israël, l'EUT pour l'irrigation est facturée entre 0,151 et 0,205 €/m³ selon la qualité, soit à environ 40% du prix de l'eau conventionnelle, facturée entre 0,346 et 0,504 €/m³ selon la quantité totale utilisée (Feitelson & Laster, 2011).

Le prix des EUT en Tunisie est de 0,0103 €/m³, ce qui est considérablement inférieur au tarif courant pour l'eau conventionnelle qui s'élève à 0,072 €/m³ (1 DT = 0,51€ en octobre 2011) (BEI et AHT Group AG, 2009).

À Tulkarem en Cisjordanie, les agriculteurs ont un consentement à payer pour les EUT correspondant à 50% du coût de l'accès à l'eau souterraine, soit 0,065 €/m³, à condition qu'il n'y ait pas de restrictions à l'irrigation (Banque mondiale, 2004).

- Il existe des exemples où le prix de l'eau conventionnelle et le prix de l'EUT sont identiques. Cette approche se justifie car l'eau usée apporte des bénéfices supplémentaires (fertilisation, fiabilité de l'approvisionnement).

Par exemple, à Chypre, les agriculteurs payent 0,1 €/m³ pour l'EUT et pour l'eau conventionnelle. Cependant, le prix de l'eau conventionnelle est susceptible de monter, rendant ainsi l'eau usée relativement moins chère (Hidalgo et Irusta, 2005).

Les subventions publiques permettant de réduire le prix des EUT facturé aux usagers se justifient pour trois motifs :

- La subvention à la REUT est une compensation des coûts supplémentaires induits (limitation des cultures pouvant être irriguées, changement du matériel nécessaire, incertitude sur les effets à long terme sur les sols, etc.) ;
- Les subventions ont un rôle incitatif quand les usagers sont peu enclins à utiliser les EUT ;

Tsagarakis and Georgantzis (2003) montrent que les subventions peuvent permettre d'étendre l'usage des EUT en augmentant la différence de prix entre eau conventionnelle et eaux usées. Néanmoins, une partie des agriculteurs est insensible aux incitations économiques en raison de barrières morales. Des campagnes d'information sur les bénéfices et les risques de l'utilisation des eaux usées sont utiles pour convaincre cette partie des usagers.

- La subvention à la REUT est un paiement pour service environnemental. Le service environnemental fourni par les utilisateurs des

EUT correspond aux bénéfices environnementaux définis précédemment.

A Platja d'Aro en Espagne, la subvention accordée aux agriculteurs a été justifiée par le fait qu'ils fournissent un service environnemental en contribuant au maintien du niveau des nappes phréatiques (via l'utilisation d'EUT à la place de l'eau souterraine) (Banque mondiale, 2010).

La fixation du prix des EUT dépendra des caractéristiques de chaque projet, et notamment :

- des coûts de production du service de l'eau,
- de la flexibilité autour de l'objectif de recouvrement des coûts,
- des bénéfices tirés de l'usage,
- du consentement et de la capacité à payer (CAP) des usagers pour l'EUT, dont les principaux déterminants sont : la rareté de la ressource conventionnelle, le coût de l'irrigation par de l'eau conventionnelle, la qualité de la ressource (CAP augmentant avec le niveau de traitement des eaux usées) et la qualité du service (fiabilité d'approvisionnement par la REU vs accès variable à l'eau conventionnelle).

Le partage des coûts entre citoyens et ruraux

La difficulté posée par la tarification de la réutilisation des eaux usées est liée à la présence d'une externalité traditionnellement négative (la pollution des eaux) mais qui devient positive car c'est une source d'approvisionnement en eau. La tarification doit donc permettre un partage des coûts entre les citoyens, fournisseurs d'eaux usées, et les utilisateurs des eaux traitées. Deux modèles coexistent : « pollueur-payeur », quand les citoyens supportent l'ensemble des coûts d'acheminement et de traitement et « pollueur-préleveur-payeur » quand les coûts sont partagés entre les citoyens et les utilisateurs des EUT.

Plusieurs pays ont mis en place un financement par une taxe reposant sur le principe pollueur-payeur, où les citoyens et industries payent une taxe volumétrique sur le rejet des eaux usées¹². Les populations urbaines productrices d'eaux usées supportent alors -via le volet assainissement de leur facture d'eau- les coûts de l'amortissement de l'investissement et de fonctionnement du traitement tertiaire nécessaire à la réutilisation. Les bénéficiaires consommateurs des EUT ne supportent pas ces coûts.

La limite de cette approche est qu'elle peut inciter les citoyens à la réduction des volumes d'eaux usées produits, mais pas les agriculteurs à la baisse de la consommation d'eau. On peut craindre d'arriver à un point où l'usine de traitement a été surdimensionnée par rapport aux eaux usées récupérables, et où les usagers de l'eau usée élaborent des plans de

production basés sur des quantités d'eau dont ils ne pourront finalement pas disposer.

Exemple : L'usine de traitement des eaux usées mise en place en 2002 à San Rocco, près de Milan en Italie, avait pour objectif essentiel de corriger l'absence de système d'assainissement pour traiter les effluents urbains. La mise en place de la station d'épuration a entraîné une augmentation du prix de l'eau et de l'assainissement pour les consommateurs milanais (de 0,30 €/m³ avant projet à 1 €/m³ après projet). Les agriculteurs ont, eux, un accès gratuit à l'EUT et demandent de ce fait des volumes toujours plus importants. Leurs requêtes ne sont néanmoins généralement pas suivies par l'opérateur en raison du coût élevé en énergie (AFD, 2011).

Une approche plus équilibrée consiste à partager les coûts entre les pollueurs et les usagers de l'EUT (principe pollueur-préleveur-payeur). Pour cela, il convient d'identifier :

- les coûts liés au traitement de l'eau contre la pollution, qui doivent être supportés par les usagers produisant les eaux usées,
- les coûts liés au traitement supplémentaire nécessaire pour la réutilisation, qui doivent être supportés par les consommateurs d'EUT.

Cette approche revient à responsabiliser chaque agent par rapport à sa consommation d'eau.

Quand les coûts ne peuvent pas être séparés facilement (coûts joints), la répartition peut se faire au prorata des bénéfices pour chacune des parties. Pour les projets dont l'objectif principal est de sécuriser l'approvisionnement en eau des villes en réduisant la pression sur la ressource, les bénéficiaires sont principalement les citoyens et un financement par une taxe sur les eaux usées est justifié. Par contre, si l'objectif principal est de permettre le développement d'un espace agricole par la mise en place de l'irrigation, la mise en place d'une tarification sur les volumes d'eau traitée utilisés est justifiée.

Exemple : Un site de traitement tertiaire des eaux usées a été mis en place près de Clermont-Ferrand pour permettre l'irrigation de terres agricoles en Limagne noire. L'objectif premier du projet étant l'irrigation, le financement est en partie assuré par la tarification de l'eau agricole (de 0,2 à 0,3 €/m³). Les habitants de la ville de Clermont-Ferrand n'ont pas vu leur redevance assainissement augmenter en raison du coût réduit du projet, lié à la passation d'un contrat intéressant entre les agriculteurs et la sucrerie locale. Celle-ci leur a donné accès à ses lagunes pour le stockage des eaux usées (hors des périodes de production de la sucrerie) et les agriculteurs ont accepté d'épandre sur leurs terres les eaux de sucrerie en hiver (hors des périodes d'irrigation) (AFD, 2011).

¹² Pour les ménages, une taxe volumétrique suffit car la qualité des eaux usées varie peu. Par contre, pour les industries, il convient de moduler la taxe en fonction des volumes rejetés mais aussi de la charge polluante (taux de matière organique, matière solide, métaux lourds, nutriments...) (Banque mondiale, 2010).

Annexe 3 : L'évaluation de projets de REUT : informations et questionnements utiles

Tableau 17 Informations et questionnements utiles pour l'évaluation de projets de REUT

Variable	Informations et indicateurs (à date et sur 25-30 ans)	Sources
Socio-économie		
Démographie	Population, croissance démographique, répartition de la population	
Economie	Niveau économique, distribution sectorielle (agriculture, industrie, tourisme, etc.)	
Valeurs, culture, histoire	Perception de l'eau, de l'eau usée	
Institutions, politiques, législations et réglementations		
Institutions	Institutions concernées dans les domaines de la santé, de l'eau, de l'environnement et de l'agriculture Rôles de chacune de ces institutions dans la REUT Coordination des différents niveaux : local-régional-national-international <u>Questions à se poser :</u> Les institutions sont-elles coordonnées sur la REUT ? Les responsables sont-ils identifiés ? Quelles sont les autorités en charge de la REUT ? (santé, eau, environnement, agriculture, finances) Les institutions gestionnaires de l'eau sont-elles opérationnelles ? Les acteurs du projet sont-ils tous identifiés ?	
Législation et réglementation	Législation/réglementation sur la gestion de l'eau Lignes directrices (guidelines) ou réglementation sur la REUT Organismes de contrôle <u>Questions à se poser :</u> La réglementation est-elle spécifique à la REUT ? (oui, non) Quels sont les usages de REUT réglementés ? Les textes sont-ils opérationnels ? Existe-t-il des lignes directrices (guidelines) sans réglementation ?	
Politiques publiques	Politique de gestion intégrée des ressources en eau Politique environnementale et sanitaire Politique agricole <u>Question à se poser :</u> La REUT s'inscrit-elle dans une logique de gestion intégrée des ressources en eau (GIRE) ?	
Acteurs	Acteurs institutionnels, utilisateurs, consommateurs, associations, etc.	
Ecosystème et contexte physique		
Climat	Pluie, évapotranspiration, fréquence des sécheresses (impacts du changement climatique)	
Hydrologie et hydrogéologie	Caractéristiques des bassins versants, structure des aquifères	
Ecosystèmes	Type d'écosystèmes, espèces protégées, zones humides	
Qualité des eaux	Physico-chimie des eaux	
Usages du sol et irrigation		
Occupation des sols et pratiques	Agriculture, espaces verts, industries, villes Qualité des sols	
Irrigation	Pratiques, matériel Besoins pour l'irrigation d'espaces récréatifs	

Tableau 17 Informations et questionnements utiles pour l'évaluation de projets de REUT (suite)

Variable	Informations et indicateurs (à date et sur 25-30 ans)	Sources
Demandes et ressources en eau (dont EUT)		
Ressources potentielles d'EUT	En existe-t-il ? Qualité et quantité de la ressource en eau :	
Ressources en eau ¹³	<ul style="list-style-type: none"> • conventionnelle (nappes, eaux de surface) • non conventionnelle (eaux usées non traitées, EUT, eau dessalée, eaux saumâtres, eaux de drainage) Infrastructures d'adduction et de distribution	
Demandes en eau et demandes en EUT ¹⁴	<u>Questions à se poser :</u> Quelle quantité pour quels usages ? (eau potable domestique, industrielle, pour les collectivités, irrigation agricole, arrosage d'espaces récréatifs, hydroélectricité...) Quels débits environnementaux minimum pour le maintien des eaux de surface et des nappes ? Quelle qualité pour quel usage (domestique, industriel, irrigation, etc.) ? Où est localisée la demande par rapport à la ressource ? (distance entre périmètres irrigués et zones de production d'eaux usées par exemple) Y a-t-il une demande privée ?	
Bilan ressources/demandes en eau (25 à 30 ans)	Quel bilan par type d'usage, par période (mensuelle, trimestrielle, annuelle) et par niveau de qualité ? Y a-t-il des besoins non satisfaits (situation de stress hydrique) ? Y a-t-il des conflits d'usage (en termes de volume, localisation)?	
Infrastructures		
	Réseaux de collecte, systèmes de traitement, systèmes de distribution et d'irrigation Opérationnalité, performance	
Financement et économie		
Tarifification	<u>Questions à se poser :</u> Quelles sont les sources de revenus possibles pour les EUT ? Quelle est la politique de tarification de l'eau (eau potable et assainissement) pour les différents usages (domestique, industriel, public) ? Quels sont les tarifs/redevances actuels/futurs pour l'eau d'irrigation ? Quels sont les tarifs ou la valeur des autres usages pour les différents types de sources d'eau (surface, nappes, eaux traitées et non traitées) ?	
Coûts et bénéfices privés	Quels sont les coûts d'investissement, opérationnels et de maintenance des infrastructures de collecte, traitement, stockage et distribution ? Quels sont les coûts évités sur des investissements alternatifs évités ? Quels bénéfices privés pour le producteur et distributeur d'eau réutilisée ? Quels gains pour l'irrigant ?	
Coûts et bénéfices sociaux	Quel est l'impact sanitaire : coûts et bénéfices du projet sur la santé ? Quel est l'impact environnemental : coûts et bénéfices environnementaux du projet ? Quel est l'impact social : coûts et bénéfices sociaux du projet ?	
Pratiques de réutilisation		
	La réutilisation d'eaux usées brutes ou traitées existe-t-elle ? Quels sont les volumes d'EUT réutilisés par usage ? Quelles sont les surfaces irriguées avec de l'EUT ? Etudes de marché sur l'EUT disponibles ?	
Sources :		
¹³ schémas directeurs des ressources en eau, études de bassin, études et cartes hydrologiques et hydrogéologiques, législation sur les ressources en eau, normes sur la qualité de l'eau, bases de données de suivi de qualité des eaux.		
¹⁴ schémas directeurs des ressources en eau, études de bassin, plans directeurs d'adduction d'eau potable, schémas directeurs de développement urbain, plans de développement sectoriels (irrigation, hydroélectricité...), quotas alloués pour les prélèvements par usage, projections démographiques, recensements, législation et normes sur la qualité de l'eau, législation sur les débits environnementaux		

Liste des abréviations

ACB	Analyse coûts-bénéfices
AEP	Adduction d'eau potable
AFD	Agence française de développement
BEI	Banque européenne d'investissement
CAF	Coût, assurance et fret (terme utilisé pour désigner l'évaluation du coût d'un échange commercial)
CAP	Consentement à payer
CAR	Consentement à recevoir
CMI	Centre de Marseille pour l'intégration méditerranéenne
DALY	Disability-adjusted life year : mesure du temps de vie perdu à cause d'une maladie/d'un handicap par rapport à un idéal de vie en bonne santé
ET	Evapotranspiration
EUT	Eaux usées traitées
FAO	Food and Agriculture Organization : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
GES	Gaz à effet de serre
GIRE	Gestion intégrée des ressources en eau (en anglais : IWRM : Integrated water resources management)
IWA	International water association : Association internationale pour l'eau
IWMI	International Water Management Institute : Institut international de gestion de l'eau
OCP	Office Chérifien des phosphates (Maroc)
OMS	Organisation mondiale de la santé
PSE	Paiement pour service environnemental
PIB	Produit intérieur brut
QALY	Quality-adjusted life year : mesure la qualité de vie perdue à cause de la maladie/du handicap
REU	Réutilisation des eaux usées
REUT	Réutilisation des eaux usées traitées
RIB	Revenu intérieur brut
STEP	Station d'épuration
TRIf	Taux de rentabilité interne financier
VAN	Valeur actuelle nette
WB	World Bank (Banque mondiale)

Glossaire

Terme	Définition
Aléa	Un aléa est une situation qui représente une menace pour la vie, la santé, la propriété ou l'environnement.
Années de vie corrigées de l'incapacité (DALY)	Nombre d'années perdues dues à une mort prématurée ou vécues avec une maladie ou un handicap. Le nombre d'années perdues dues à une mort prématurée est estimé, pour la population touchée, en comparant l'âge moyen de mortalité à l'âge moyen de mortalité pour la classe de population similaire au niveau national ou régional. Le nombre d'années vécues avec un handicap est calculé comme suit : nombre de cas de maladies * durée moyenne d'une maladie * facteur de sévérité (facteur allant de 0 (pleine santé) à 1 (mort)). Par exemple, une diarrhée a un facteur de sévérité de 0,09 à 0,12 suivant le groupe d'âge.
Années de vie pondérées par la qualité (QALY)	Cet indicateur mesure la qualité de vie perdue à cause de la maladie. Il peut aussi servir pour pondérer un gain d'espérance de vie (suite à une intervention médicale par exemple) par la qualité de la vie (dépendante de l'état de santé après l'intervention).
Assainissement	L'assainissement signifie l'accès et l'usage d'installations sanitaires pour le traitement des excréments et des eaux usées ainsi que leurs services connexes, et ce, de manière à assurer le respect de l'intimité et de la dignité des usagers, ainsi qu'un environnement propre et sain pour tous (COHRE et al., 2008).
Boues activées	Boues formées dans le bassin d'aération lors du traitement biologique des eaux usées ou du processus de traitement biologique ; elles sont séparées par sédimentation. Les boues peuvent être déshydratées, puis transformées en biocombustibles solides.
Consentement à payer (CAP)	Montant monétaire qu'un individu est prêt à payer pour faire évoluer une situation, pour détenir un bien.
Consentement à recevoir (CAR)	Ce concept est utilisé à la place du CAP quand certains agents ont des droits de propriété sur un bien. Dans ce cas, ils peuvent demander une compensation pour abandonner leurs droits. Le consentement à recevoir est égal à la compensation monétaire souhaitée pour la perte de leurs droits.
Coût évité	Coût qui aurait dû être payé en l'absence du projet mais qui ne le sera pas grâce au projet. Il convient de le comparer aux coûts induits par l'alternative la meilleure après le projet en question (et non pas l'alternative la plus chère, ce qui augmenterait artificiellement les coûts évités).
Coût marginal	Le coût marginal est le coût supplémentaire induit par l'augmentation de la production d'une unité.
Coût marginal des fonds publics	Coût induit par la levée d'une taxe qui permettra de couvrir la subvention. Les individus et entreprises payant des taxes ne peuvent pas utiliser cet argent pour autre chose qui leur donnerait plus de satisfaction.
Coût d'opportunité	Dans un univers de rareté des ressources (temps, argent...), tous les choix ont un coût d'opportunité lié au renoncement à autre usage/projet.
Durabilité	Principe d'optimisation des avantages d'un système actuel sans diminuer la probabilité d'avantages similaires futurs.
Durée de vie du capital	Nombre d'années pendant lesquelles l'unité pourra produire les volumes attendus, moyennant une maintenance raisonnable.
Eaux grises	Eaux provenant de la cuisine, de la salle de bain et/ou de la lessive, ne contenant généralement pas d'excréments en forte concentration.
Eaux d'irrigation	Eaux utilisées pour l'arrosage artificiel des terres afin de favoriser la croissance des cultures et des prairies, ou pour maintenir une croissance végétative des espaces récréatifs comme les parcs et les terrains de golf.
Eau à usage agricole	Eau utilisée pour l'irrigation des cultures et l'élevage du bétail
Eaux usées	Les eaux usées incluent toutes les eaux dont la qualité a été modifiée négativement du fait d'activités anthropiques : effluents liquides rejetés par les habitations, les locaux administratifs et commerciaux, les unités industrielles, etc. ou générés par les activités agricoles.
Eaux usées traitées/épurées	Eaux usées ayant été traitées de façon à être réutilisables en toute sécurité.
Eaux vannes	Eaux usées domestiques contenant exclusivement les urines et les matières fécales, collectées à partir de systèmes d'assainissement intégrés, comme les latrines, les toilettes publiques non-religieuses au réseau d'égouts, les fosses septiques et les fosses toutes eaux.
Epanchage	L'épandage est une pratique agricole qui consiste à répandre sur un champ des fertilisants, des amendements, des herbicides ou des pesticides. Le plus souvent, l'épandage fait référence aux opérations de fertilisation des champs, c'est-à-dire à l'épandage d'excréments de bétail (fumier, lisier) ou de boues issues des stations d'épuration.

Terme	Définition
Eutrophisation	Modification et dégradation d'un milieu aquatique, liées en général à un apport excessif de substances nutritives (azote provenant surtout des nitrates agricoles et des eaux usées, et secondairement de la pollution automobile, et phosphore, provenant surtout des phosphates et des eaux usées), qui augmentent la production d'algues et d'espèces aquatiques, ainsi parfois que la turbidité.
Évaluation des risques	Processus global consistant en l'utilisation des informations disponibles pour estimer la fréquence d'occurrence des aléas ou d'évènements spécifiés (probabilité), ainsi que la magnitude de leurs conséquences.
Évapotranspiration (ET)	L'évapotranspiration (ET) correspond à la quantité d'eau totale transférée du sol vers l'atmosphère par l'évaporation au niveau du sol et par la transpiration des plantes. L'évapotranspiration potentielle (ETP) est définie couramment comme la somme de l'évaporation par la surface du sol et de la transpiration par le feuillage d'une culture dont les stomates sont entièrement ouverts, lorsque le sol fournit toute l'eau demandée (valeur théorique).
Excréments	Matières fécales et urine
Externalité	On parle d'externalité lorsque l'activité de consommation ou de production d'un agent a une influence sur le bien-être d'un autre, sans que cette interaction ne fasse l'objet d'une transaction économique ou compensation. Par exemple, le rejet d'eaux usées non traitées dans une rivière par une usine peut entraîner une externalité négative sur l'écosystème et sur les usagers en aval (agriculteurs irrigant à partir de l'eau de la rivière par exemple). Cette externalité sera intégrée dans le calcul économique des agents producteurs d'eaux usées si une taxe sur le rejet d'eaux non traitées est mise en place.
Irrigation paysagère	Irrigation de sols non-utilisés à des fins agricoles, tels que les zones naturelles classées, les terrains de golf, les jardins publics, les aires de jeu, les cours de récréation et les terrains de sport, les plantations forestières, les terre-pleins centraux sur les avenues et les autoroutes.
Monétarisation	Fait de donner une valeur monétaire à une variable non marchande et non monétaire.
Paiement pour service environnemental (PSE)	Transaction volontaire dans laquelle un service environnemental défini est « acheté » par un ou plusieurs acquéreurs à un ou plusieurs fournisseurs si, et seulement si, ce(s) dernier(s) sécurise(nt) la fourniture du service (Karsenty 2011). Les programmes de PSE ne rémunèrent pas la nature mais des personnes qui, par leurs pratiques, favorisent les services écosystémiques.
Perte de biodiversité	Mortalité de la faune et la flore indigène entraînant l'appauvrissement des écosystèmes, des espèces ou de la diversité génétique.
Préférences individuelles	Les préférences individuelles sont considérées dans l'ACB comme la source de valeur. Dire que le degré de bien-être, de satisfaction ou d'utilité d'un individu est plus élevé dans la situation A que dans la situation B revient à dire que cet individu préfère la première à la seconde. Les préférences sont mesurées par le consentement à payer dans le cas d'un avantage ou bénéfice et par le consentement à recevoir dans le cas d'un coût.
Principe pollueur-payeur	Principe d'internalisation des coûts qui consiste à faire payer au pollueur la différence entre coût social et coût privé (c'est-à-dire l'externalité négative de la pollution). Ainsi, le pollueur devra prendre en compte le coût social dans ses décisions, ce qui conduira à une situation optimale du point de vue de la société. Ce n'est pas un principe juridique d'équité mais un principe d'efficacité économique. Il a pour conséquence d'inciter le pollueur à réduire l'externalité négative et conduit donc à une diminution de la pollution.
Recharge des eaux souterraines	Infiltration ou injection des eaux naturelles ou des eaux de récupération dans un aquifère, permettant le réapprovisionnement des ressources en eaux souterraines ou empêchant l'intrusion de l'eau de mer.
Recyclage de l'eau	Utilisation des eaux usées capturées ou redirigées vers le système d'utilisation de l'eau dont elles proviennent. Cette technique est particulièrement courante dans l'industrie.
Réutilisation directe des eaux usées	Utilisation des eaux usées traitées sans rejet dans un plan ou cours d'eau naturel. Introduction d'eaux usées fortement traitées, que ce soit directement dans le système d'alimentation en eau potable en aval de la station d'épuration, ou dans le réseau d'alimentation en eau brute, situé immédiatement en amont de la station d'épuration.
Réutilisation indirecte des eaux usées	Utilisation des eaux usées traitées après rejet dans un plan ou cours d'eau naturel. Introduction planifiée des eaux usées traitées dans un système d'alimentation en eau brute, tel qu'un système de stockage de l'eau potable ou dans un aquifère souterrain, entraînant le mélange et la dilution des matières et constituant donc un tampon naturel.
Réutilisation planifiée	Utilisation directe ou indirecte des eaux usées traitées sans perte de contrôle sur la qualité de l'eau pendant son acheminement via des aménagements et systèmes spécialement conçus comprenant le traitement, le stockage, le transport et la distribution des eaux usées traitées.

Terme	Définition
Réutilisation non-planifiée	Utilisation des eaux usées de manière non-maîtrisée après rejet des eaux. La réutilisation non-planifiée des eaux usées intervient par exemple lorsque l'eau des rivières faisant l'objet de rejets d'eaux usées en amont est utilisée en aval pour l'alimentation des réseaux urbains et/ou l'irrigation.
Risque	Le risque est la coexistence d'un aléa et d'une vulnérabilité.
Risque sanitaire	Probabilité qu'un aléa sanitaire affecte négativement l'état de santé d'une personne ou d'un groupe de personnes.
Taux d'actualisation	L'actualisation consiste à assigner un coefficient de pondération plus faible à une unité de bénéfices ou de coûts si elle est attendue dans le futur que si elle existe au moment présent. Le coefficient de pondération w est lié au taux d'actualisation s (%) par la relation suivante : $w = 1/(1+s)^t$; Par exemple, si le taux d'actualisation est 4 %, la valeur d'un gain ou d'une perte qui surviendra dans 50 ans ne représente que 14 % de leur valeur actuelle ($1/(1.04)^{50} = 0.14$).
Taux de dépréciation/ d'amortissement du capital	Perte de valeur qu'enregistre un bien de production durable, du fait de l'usure liée à son utilisation ou de l'obsolescence liée aux changements de technologie ou au renouvellement des besoins. En comptabilité, il désigne la reconnaissance comptable en termes monétaires de la dépréciation du matériel de production.
Taux de rentabilité interne (TRI)	Taux d'actualisation pour lequel la valeur actuelle nette (VAN) des flux de bénéfices est égale à zéro.
Traitement/épuration de l'eau	Traitement ou transformation des eaux usées pour les rendre réutilisables avec un niveau de traitement respectant des critères de qualité de l'eau.
Traitement primaire	Procédé de traitement initial utilisé pour retirer les solides organiques et inorganiques décantables par sédimentation et les substances flottantes (mousse) par écumage. Le traitement primaire peut comprendre la sédimentation primaire, la sédimentation primaire avec amélioration chimique et les digesteurs anaérobies à flux ascendant.
Traitement secondaire	Étape de traitement des eaux usées qui suit le traitement primaire. Elle comprend le retrait des matières organiques colloïdales et dissoutes biodégradables à l'aide de procédés de traitement biologique. Parmi les traitements secondaires, on peut citer : les boues activées, les filtres biologiques, le lagunage aéré.
Traitement tertiaire ou avancé	Étapes de traitement survenant après l'étape de traitement secondaire, visant à éliminer des composants spécifiques, tels que les nutriments, les solides en suspension, les substances organiques, les métaux lourds, les solides dissous (par exemple, les sels) ou les pathogènes.
Valeur actuelle nette (VAN)	La valeur actuelle nette est la somme actualisée des flux de bénéfices de laquelle sont déduits les coûts.
Valeur d'usage	La valeur d'usage correspond à la valeur des services procurés par l'utilisation effective, envisagée ou possible du bien en question. Elle se décompose en (AFD 2004) : <ul style="list-style-type: none"> • La valeur d'usage direct, • La valeur d'usage indirect ou valeur fonctionnelle qui découle des services rendus par l'environnement. Les « quantités » du service fourni sont plus difficiles à estimer que pour l'usage direct, et il existe rarement de prix observé. • La valeur d'option qui reflète l'avantage d'un usage futur du bien considéré. Elle est particulièrement importante pour les biens publics mondiaux tels que la biodiversité et le climat.
Valeur de non-usage	C'est la valeur liée à l'existence même d'un bien, indépendamment de tout usage présent ou futur. Les individus peuvent souhaiter préserver un bien sans l'utiliser effectivement, sans envisager de l'utiliser ou sans qu'il soit même possible de l'utiliser. La valeur de non-usage comprend (OCDE 2006) : <ul style="list-style-type: none"> • Les valeurs d'existence (CAP d'un individu pour la sauvegarde d'un bien qu'il n'utilise et n'utilisera pas effectivement, et que personne d'autre n'utilisera). Il peut s'agir d'un intérêt pour le bien lui-même ou d'un sentiment de responsabilité vis-à-vis du bien. • Les valeurs altruistes : volonté de faire en sorte que d'autres personnes puissent en bénéficier, • Les valeurs de leg : volonté d'offrir, à la prochaine génération et aux suivantes, la possibilité d'utiliser le bien.
Vulnérabilité	La vulnérabilité fait référence à la probabilité d'une personne, d'un groupe, d'une société ou d'un système à être victime de blessure ou d'atteinte physique ou émotionnelle.

Bibliographie

- AFD, *La réutilisation des eaux usées traitées (REUT). Eléments de méthodologie pour l'instruction de projets*. 2011.
- AFD, *Guide de l'analyse économique des projets de développement*. 2004.
- AFD and BRLi, *REUT : Perspectives opérationnelles et recommandations pour l'action*. 2011, AFD. p. 83 pp. + annexes.
- American Public Works Association, *Good until the last Drop: A practitioner's guide to waste-water reuses*. 2005.
- Asano, T., et al., eds. *Water reuse : issues, technologies and applications*. 2007, Metcalf and Eddy, Inc.
- Ashfaq, M., S. Jabeen, and I. Ahmad Baig, *Estimation of the economic value of irrigation water*. Journal of agriculture and soil science, 2005.
- Bahri, A., *Managing the other side of the water cycle: making wastewater an asset*, T.b. papers, Editor. 2009, Global water partnership technical committee. p. 63 pp.
- Becker, G., M. DeGroot, and J. Marschak, *Measuring utility by a single-response sequential method*. Behavioral Science 1964. 9.
- BEI and AHT Group AG, *Identification et élimination des goulets d'étranglement pour l'utilisation des eaux usées dans le cadre de l'irrigation ou autres usages - Egypt*. 2009, Banque Européenne d'Investissement. p. 71.
- BEI and AHT Group AG, *Identification et élimination des goulets d'étranglement pour l'utilisation des eaux usées dans le cadre de l'irrigation ou autres usages - Maroc*. 2009, Banque Européenne d'Investissement. p. 109.
- BEI and AHT Group AG, *Identification et élimination des goulets d'étranglement pour l'utilisation des eaux usées dans le cadre de l'irrigation ou autres usages - Syrie*. 2009, Banque Européenne d'Investissement. p. 103.
- BEI and AHT Group AG, *Identification et élimination des goulets d'étranglement pour l'utilisation des eaux usées dans le cadre de l'irrigation ou autres usages - Tunisie*. 2009, Banque Européenne d'Investissement. p. 93.
- Berbel, J. and J.A. Gomez-Limon, *The impact of water-pricing policy in Spain : an analysis of three irrigated areas*. Agricultural Water Management Science, 2000. 43: p. 219-238.
- Birol, E., Koundour, and Y. P. and Kountouris, *Integrating Wetland Management into Sustainable Water Resources Allocation: The Case of Akrotiri Wetland in Cyprus*. Journal of environmental Planning and Management, 2008. 51: p. 37-53.
- Bontems and Rotillon, *L'économie de l'environnement*, ed. R.I. découverte. 2007.
- Calatrava- Leyva, J. and S. Sayadi, *Economic valuation of water and willingness to pay analysis with respect to tropical fruit production in southeastern Spain*. Spanish Journal of Agricultural Research, 2005. 3.
- Choukr-Allah, R., *Wastewater treatment and reuse*. 2010, Arab Forum for Environment and Development.
- Cohen A., Feiman D., and L. M., «*Collection, Treatment and Reclamation of Wastewater for Agricultural Use - National Survey 2006/7*», 2008, Israel Nature and Parks Authority, Jerusalem. [in Hebrew].
- Desaigues, B. and P. Point, *Economie du Patrimoine Naturel, la valorisation des bénéfices de protection de l'environnement*, Economica, Editor. 1993: Paris.
- Falkenmark, M., *Land-water linkages - A synopsis in land and water integration and river basin management*, in *FAO Land and Water 1995*: Rome. p. 15-16.
- FAO, *The wealth of waste: the economics of wastewater use in agriculture*. 2010, Food Agricultural Organisation. p. 129.
- Faruqui, N.I. *A Brief on Wastewater Treatment and Reuse for Food and Water Security*. in *Ottawa: IDRC*. 2000.
- Gomez-Limon, J.A. and J. Berbel, *Multicriteria analysis of derived water demand functions : a Spanish case study*. Agricultural Systems, 2000. 63: p. 49-72.
- Hidalgo, D. and R. Irusta. *The cost of wastewater reclamation and reuse in agricultural production in the Mediterranean countries. in IWA Conference on Water Economics, Statistics and Finance, Rethymos*. 2005. Greece.
- International Water Association, *A methodology for economic analysis of water reuse projet. The case of wastewater treatment plant of El Prat de Llobregat*, in *IWA 8th International conference on water reclamation and reuse*. 2011.
- Kramer, et al., *EMWater guide: improving wastewater treatment and reuse practices in the Mediterranean countries - A practical guide for decision-makers*. 2007.
- Lavee, D., *Cost-Benefit Analysis of Alternative Wastewater Treatment Standards: A Case Study in Israel*. Water and Environment Journal 2010.
- McNeill, L.S., M.N. Almasri, and N. Mizyed, *A sustainable approach for reusing treated wastewater in agricultural irrigation in the West Bank - Palestine*. Desalination, 2009. 248(1-3): p. 315-321.
- Mediterranean Wastewater Reuse Working Group, *Mediterranean Wastewater Reuse Report*. 2007, EU water initiative/WFD process. p. 50.
- Mills and Asano, *The economic analysis of using reclaimed water*. Journal of freshwater, 1986. 10: p. 14-15.

- OCDE, et al., *Analyse coûts-bénéfices et environnement : Développements récents.*, ed. E. OCDE. 2006, Paris.
- OCDE, *De l'eau pour tous : perspectives de l'OCDE sur la tarification et le financement.* 2009.
- Pareto Engineering Ltd. A *Cost-Benefit Analysis for the Israeli Economy of Upgrading the Quality of Treated Wastewater.*, 2004. Netanya, Israel.
- Plan Bleu and EVREN, *Treated Wastewater Reuse and Desalination in Spain.* 2011.
- Plan Bleu and Feitelson, E. and Y. Laster, *Treated Wastewater Reuse and Desalination in Israel.* 2011. p. 79.
- Rigby, D., F. Alcon, and M. Burton, *Supply uncertainty and the economic value of irrigation water.* European Review of Agricultural Economics, 2010. 37(1): p. 97-117.
- Schelling, *The life you save may be your own in Problems in Public Expenditure Analysis*, S.B.J. Chase, Editor. 1968, Brookings: Washington DC
- Schoengold, K., Sunding, D. L., and Moreno, G., *Price elasticity reconsidered: Panel estimation of an agricultural water demand function.* Water Resources Research, 2006. 42.
- Tarchitzky, J., et al., *Wastewater effects on montmorillonite suspension and hydraulic properties of sandy soil.* Soils Science Society of America Journal, 1999. 63: p. 554-560.
- Tardieu, H., *La valeur de l'eau en agriculture irriguée*, in *Technical report*, CACG, Editor. 1999.
- Thaler and Rosen, *The value of saving a life* N.E. Terleckyj, Editor. 1975, Household production and consumption, New York.
- Tsagarakis and Georgantzis, *The role of information on farmers' willingness to use recycled water for irrigation.* Water Science and Technology: Water Supply 2003. 3(4): p. 105-113.
- Vickrey, W., *Counterspeculation and Competitive Sealed Tender.* Journal of Finance, 1961. 16(1): p. 8-37.
- WHO, W.H.O., *Who guidelines for the safe use of wastewater excreta and greywater.* 2006.
- The World Bank, *West Bank and Gaza: wastewater treatment and reuse policy note.* 2004, The World Bank-Water and Environmental department. p. 29.
- The World Bank, *Improving wastewater use in agriculture.* 2010, The World Bank- ETWWA. p. 169.
- Xanthoulis, D., *Report on Wastewater reuse and Sludge Valorization and reuse: Proposition for Lebanese Wastewater Reuse Guidelines.* Project UTF/LEB/019/LEB. 2010.

Liste des illustrations

Figures

Figure 1	Les usages de REUT (adapté de FAO, 2010)	15
Figure 2	Représentation schématique des moteurs et des indicateurs contextuels pour un projet de REUT	17
Figure 3	Population et PIB des pays méditerranéens en 2009	19
Figure 4	Indice d'exploitation des ressources naturelles renouvelables à l'échelle des pays entiers et bassins versants méditerranéens (2005-2010)	21
Figure 5	Parts relatives des ressources en eaux conventionnelles et non conventionnelles dans certains pays méditerranéens (données 2008-2010 selon les pays)	22
Figure 6	Assainissement et réutilisation des eaux usées dans certains pays méditerranéens (2009-2010)	22
Figure 7	Coûts et bénéfices marginaux en fonction de la taille optimale d'un projet - Source : Asano & al.	31
Figure 8	Coûts de production et de distribution de l'eau d'irrigation en fonction de l'origine de l'eau	40
Figure 9	Evaluation d'un projet de REUT- schéma synthétique.....	45

Tableaux

Tableau 1	Nature de la ressource en eau et usages dans la région méditerranéenne.....	13
Tableau 2	Usages possibles de la REUT et exemples en Méditerranée (et Asie)	15
Tableau 3	Typologie des moteurs pour la mise en place de stratégies de REUT en Méditerranée.....	18
Tableau 4	Les indicateurs contextuels agissant sur les moteurs de décision pour des projets de REUT	20
Tableau 5	Usages autorisés par pays pour la REUT.....	22
Tableau 6	Typologie des risques associés à la REUT	23
Tableau 7	Typologie des bénéfices associés à la REUT.....	24
Tableau 8	Freins, contraintes et facteurs d'échec possibles pour les projets de REUT par irrigation	28
Tableau 9	Coûts privés en fonction du maillon de la filière	32
Tableau 10	Grille d'analyse économique - ACB privée - Projets de réutilisation des eaux usées traitées	34
Tableau 11	Grille d'analyse économique - ACB sociale (externalités) - Projets de réutilisation des eaux usées traitées	36
Tableau 12	Typologie des scénarii de réutilisation des eaux usées, de la source à l'usage.....	39
Tableau 13	Comparaison des coûts et bénéfices des scénarii de projets de REUT : Analyse coûts-bénéfices privée	41
Tableau 14	Comparaison des coûts et bénéfices des scénarii de projets de REUT - Analyse coûts-bénéfices sociale.....	42
Tableau 15	L'évaluation d'un projet de REUT : les questions à se poser étape par étape	46
Tableau 16	Sources de financement des différents postes de dépenses dans un projet REUT.....	53
Tableau 17	Informations et questionnements utiles pour l'évaluation de projets de REUT	55

Plan Bleu pour l'Environnement et le Développement en Méditerranée
15 rue Beethoven, Sophia Antipolis, 06560 Valbonne, France
+33 (0)4 92 38 71 30 - www.planbleu.org

