
AGENCE FRANÇAISE DE DÉVELOPPEMENT



REUTILISATION DES EAUX USEES TRAITEES – PERSPECTIVES OPERATIONNELLES ET RECOMMANDATIONS POUR L’ACTION

Annexes au rapport final

Février 2011



Contact : Alain Rotbardt, Division Eau et Assainissement
rotbardta@afd.fr

ANNEXES.....	85
Annexe 1. Évaluation des indicateurs	87
Annexe 2. Visites de site	99
Annexe 2.1. Rapport de phase 2 - visites de terrain	101
Annexe 2.2. Indicateurs appliqués aux sites visités en phase 2	215
Annexe 3. Typologies de traitements des EU	225
Annexe 4. Analyse des recommandations sanitaires de l'OMS	231
Annexe 5. Arrêté du 2 aout 2010 relatif à l'utilisation d'eaux issues du traitement d'épuration des eaux résiduaires urbaines pour l'irrigation de cultures ou d'espaces verts	267
Annexe 6. Analyses économiques se rapportant aux bénéfices du traitement et de la REU	269
Annexe 7. Éléments d'évaluation de la valeur ajoutée par projet visité	277
Annexe 8. Données scientifiques de la recharge de nappe	285

ANNEXES

Annexe 1.

Évaluation des indicateurs

Affecter une note à un indicateur conduit à apporter une appréciation qualitative et aussi préparer/justifier la prise de décision qui en découle.

Ces décisions sont de nature différente en fonction de l'une ou l'autre des quatre notes :

- Note 0 : c'est une note réhibitoire qui ne signifie pas forcément une décision de refus définitive du projet mais qui entraîne un ajournement (en termes de financement) et appelle par exemple un programme important d'appui institutionnel ou une reprise de fond des études ou d'une partie des investigations ou de toute autre composante du dossier
- Note 1 : dans ce cas le projet n'est pas faisable en l'état. Des mesures préalables sont à prendre dont les conséquences seront que le projet ré-ajusté pourra alors être ré instruit et probablement accepté (au sens de l'indicateur concerné, qui passera donc alors à la note 3)
- Note 2 : le projet est faisable ; il nécessite seulement une (ou des) mesure(s) d'accompagnement et cette mesure découle immédiatement des attendus qui ont conduit à noter 2 (et non pas 3). A priori la mesure d'accompagnement se traduit par une conditionnalité dans le fonctionnement du financement (déblocage des fonds liée à la mise en pratique de la mesure d'accompagnement)
- Note 3 : le projet est acceptable en l'état

N.B pour certains indicateurs, on simplifie cette notation en retenant que les notes extrêmes 0 ou 3

Les éléments suivants précisent les propositions d'appréciation des indicateurs retenus pour l'évaluation de projet :

INDICATEURS DE STRATEGIE DU PROJET

Nom	Contenu	Evaluation	Commentaires
STR1	Existence d'une véritable GIRE et inscription du projet dans cette politique au travers d'un document cadre	0 ou 3	Indicateur non décisionnel. Le projet peut se révéler pertinent malgré l'absence de ce document mais sa présence apporte un cadre utile à la justification du projet
STR2	Effets complémentaires du projet en termes environnementaux	0 ou 3	Indicateur non décisionnel

Ainsi pour **STR1** on notera soit

- 3 lorsque ce document existe et présente une qualité satisfaisante,
- 0 dans le cas contraire. On pourra alors promouvoir une planification de type GIRE en parallèle du projet.

Et pour **STR2** :

- 3 lorsque le projet de REU s'inscrit dans une logique complémentaire ou première de protection des milieux
- 0 dans le cas contraire (projet à vocation simplement quantitative). On pourra alors encourager à approfondir l'analyse environnementale du projet et ses effets complémentaires.

INDICATEURS INSTITUTIONNELS

Nom	Contenu	Evaluation	Commentaires
INS1	Clarté dans le rôle de chaque ministère, de l'exercice de sa ou ses tutelles et de coordination à l'échelle nationale	0 à 3	Indicateur non décisionnel. Pour autant le ministère "réfèrent" pour le projet devra être identifié et avoir une légitimité si sa compétence vis à vis des projets de REU n'est pas clairement identifiée.
INS2	Existence de textes législatifs opérationnels en matière de REUT y inclus un corps de normes / valeurs guides spécifiques pour l'épuration des EU	0 à 3	Indicateur décisionnel. Un "incomplet" ou "non" à cet indicateur peut conduire à envisager de financer de l'appui institutionnel préalable dont l'importance peut amener à ré-évaluer le projet dans un délais important.
INS3	Référence explicite à un corps de normes et valeurs guides, en matière d'irrigation avec des EUT ou pour d'autres usages	0 à 3	Indicateur décisionnel. Un "incomplet" ou "non" à cet indicateur peut conduire à envisager de financer de l'appui institutionnel préalable dont l'importance peut amener à retarder la mise en place du projet.

NOTATION INS1 :

- ➡ 3 lorsque le cadre institutionnel est clair et complet,
- ➡ 2 si le cadre est clair mais que subsistent quelques redondances de compétence qu'il faudrait éliminer,
- ➡ 1 si les imprécisions sont trop fortes et si les attributions trop théoriques sur la responsabilité exacte du département en charge de la REUT. Le préalable au projet consistera alors à clarifier la situation avec les autorités, ceci pouvant s'effectuer au travers de programme d'appui institutionnel,
- ➡ 0 si aucune référence institutionnelle n'est identifiée et que le projet n'a pas de tutelle. Dans ce cas on recommandera la mise en œuvre d'une étude spécifique préalable dont la durée puis la mise en œuvre risquent d'ajourner l'évaluation du projet de façon longue.

NOTATION INS2 ET INS3

- ➡ 3 lorsque les textes sont explicites, complets, publiés et opérationnels,
- ➡ 2 si les textes existent mais tel ou tel décret, arrêté ou annexe nécessite encore une signature ou une promulgation. Cet état de fait risque éventuellement de rendre critique l'efficacité d'un contrôle ou la mise en œuvre d'un suivi ou encore peut retarder le recouvrement d'une redevance,
- ➡ 1 si une volonté de légiférer existe mais à un niveau insuffisant pour que les textes soient opposables au tiers. Dans ce cas, le préalable consistera à bâtir des données réglementaires nécessaire et le bailleurs pourra appuyer au travers d'un programme d'appui. Le ré-examen éventuel du projet devra être décalé au-delà de la promulgation des textes,

- ➔ 0 lorsque la prise de conscience des besoins n'est pas encore effective. Cette appréciation sera évidemment rédhitoire et on pourra s'orienter vers une étude spécifique afin que l'attributaire prenne en compte les obligations législatives de la REUT et se dote ensuite des outils juridique adaptés. La encore, un nouvel examen du projet ne pourra s'envisager dans un délais court.

INDICATEURS DE MONTAGE ORGANISATIONNEL

Nom	Contenu	Evaluation	Commentaires
ORG1	Clarté dans la définition du ou des porteur(s) de projet	Note de 0 ou 3	Indicateur décisionnel Une note « 0 » doit conduire à la plus grande prudence et remet en cause le financement du projet.
ORG2	Organisation du secteur de l'assainissement urbain : dynamisme du secteur apprécié en termes de collecte des EU et d'épuration	note de 0 à 3	Indicateur décisionnel Une note « 0 » doit conduire à la plus grande prudence et remet en cause le financement du projet.
ORG3	Niveau d'animation et de vulgarisation des techniques de valorisation notamment agronomique	note de 0 à 3	Indicateur décisionnel 0 : absence. Peut conduire à financer des actions préalablement ou en complément du projet 1 : quelques éléments insuffisants soit techniquement soit en terme de population concernée. Peut conduire à financer des actions préalablement ou en complément du projet 2 : Bonne qualité a

priori ; une étude socio est disponible mais sans certitude qu'elle sera suivie sur le terrain

3 : Animation et vulgarisation de qualité ne nécessitant pas d'action complémentaire

Notation **ORG1** : on distingue cet indicateur des précédents ; le fonctionnement institutionnel d'une tutelle est analysé dans les indicateurs INS. Il s'agit, dans l'indicateur ORG1 d'aborder la disponibilité effective et l'opérationnalité d'un porteur de projet.

- ➔ 3 lorsque les partenaires épurateur – réutilisateur se connaissent et ont en projet ou déjà en place une convention de cession de l'eau traitée qui définit droits et devoirs de chaque partie
- ➔ 0 dans le cas où les acteurs en amont et en aval n'ont pas pris conjointement la mesure des enjeux. Cette décision se rencontre dans le cas où de façon abrupte une étude d'assainissement a conclu sommairement à l'opportunité de "faire de la REUT", ou à l'inverse quand des utilisateurs convoitent une ressource (rare) issue d'une step et montent un projet de REUT sans garantie amont. Dans ce cas, il conviendra de fixer un **préalable** à la poursuite de l'évaluation du projet par la désignation claire d'un porteur motivé et opérationnel.

Notation **ORG 2** : on cherche à anticiper le futur en appréciant les performances du secteur amont du couple épuration – réutilisation.

- ➔ 3 lorsque l'assainissement urbain fonctionne correctement à la fois en matière domestique et industrielle; la redevance est perçue selon un barème garantissant l'équilibre des comptes et les mécanismes de subvention sont opérationnels,
- ➔ 2 si des imprécisions se font jour sur la maintenance des réseaux ou sur le financement de cette maintenance ; le risque existe que, en quantité ou en qualité, les effluents collectés perturbent à terme le fonctionnement de la step et donc la valorisation aval,
- ➔ 1 le risque mentionné ci-dessus est encore plus grand, notamment s'agissant des branchements d'effluents d'origine industrielle ou des modalités financières du secteur. On encouragera alors à une plus grande rigueur et le projet sera conditionné par la réorganisation du service,
- ➔ 0 lorsque les conditions du service d'assainissement sont trop déficientes et mettent en péril non seulement le fonctionnement de la step mais par voie de conséquence le bon fonctionnement d'un projet de REUT. Cette indication est lourde de conséquences car elle remet en cause le soutien financier du le projet.

INDICATEURS DE TECHNOLOGIE D'EPURATION DES EU

Nom	Contenu	Evaluation	Commentaires
EPU1	Adéquation du process et des dimensionnements associés vis-à-vis	0 à 3	Indicateur décisionnel Cet indicateur, de portée

	des objectifs de qualité requis par le mode de valorisation		technique, requiert une capacité d'expertise dans le domaine de l'assainissement mais peu aussi nécessiter un regard critique dans le domaine de l'urbanisme vis à vis des perspectives futures Une note « 0 » doit conduire à la plus grande prudence et remet en cause le financement du projet.
EPU2	Performances épuratoires	0 à 3	Indicateur technique du domaine de l'épuration. Une note 1 ou 2 peut conduire à la reprise préalable du projet pour une instruction ultérieure.
EPU3	Eventuellement si déminéralisation ou potabilisation : abattement et conductivité finale en ratio par rapport à la concentration de l'eau brute	0 ou 3	Une note « 0 » doit conduire à la plus grande prudence et remet en cause le financement du projet jusqu'à complément d'étude.

NOTATION EPU1 :

- 3 lorsque toutes les contraintes amont ont été identifiées et prises en compte en qualité (tous les effluents sont identifiés) et en quantité (sur l'existant et le moyen terme).
- 2 si le process est adapté mais des imprécisions existent sur la faisabilité de tel ou tel raccordement futur, ou sur la décision effective de procéder à telle ou telle extension de la step, ou sur la pertinence du procédé de désinfection pouvant être perfectible. Les réserves ainsi énoncées sont faciles à lever et le projet est faisable,
- 1 dans le cas où des manques graves subsistent comme la bonne prise en compte de la problématique dépollution industrielle amont, la simplification excessive du traitement tertiaire (alors que les irrigants par exemple ont besoin d'une qualité différente), l'impact du pluvial sur toute la chaîne hydraulique, ou tout autre critique d'ensemble. Dans ce cas le projet devra faire l'objet d'une reprise significative, préalable à une nouvelle évaluation pour financement.
- 0 lorsque les spécificités de la REUT ne sont pas respectées, la faisabilité technique n'est pas avérée, soit en désinfection soit en mise en œuvre de la valorisation ; il convient alors de reprendre les éléments fondamentaux du dossier technique et donc de différer son financement

La notation **EPU2** se décline suivant :

- 3 lorsque toutes les préconisations sont respectées, le projet est conforme à la réglementation et les performances épuratoires prévisionnelles sont conformes aux références techniques,
- 2 si sur un paramètre physico chimique, on constate un écart aux normes et la recommandation est de corriger cet écart,
- 1 dans le cas où, sur un paramètre bactériologique, on constate un écart entre le projet et les besoins. Dans ce cas le projet sera à reprendre afin de corriger cet écart puisque la sécurité sanitaire est en cause. Selon l'importance de la modification, il conviendra d'apprécier s'il s'agit d'un ajustement technique ou d'une modification plus substantielle conduisant à une reprise du dossier technique préalable ou à une conditionnalité.
- 0 lorsque les performances annoncées ne correspondent pas aux objectifs de la REUT, ce qui conduit soit à modifier le mode de REUT (en termes de culture par exemple) soit à reprendre les fondements du process d'épuration. Dans ce cas, on pourra s'orienter vers un ajournement du projet et un examen ultérieur après reprise des dossiers techniques.

INDICATEURS DE MISE EN ŒUVRE DE LA REUT

Nom	Contenu	Evaluation	Commentaires
GEN1	Respect des règles de l'art au niveau des dossiers de conception	0 ou 3	Indicateur décisionnel Il s'agit d'un indicateur semblable à EPU 2 mais s'appliquant dans le domaine de la valorisation
GEN2	Respect des règles de sécurité	0 ou 3	Indicateur décisionnel Une note « 0 » introduit une conditionnalité
GEN3	Information et communication auprès des usagers	0 ou 3	Indicateur décisionnel Une note « 0 » introduit une conditionnalité
AGR1	Contexte agro pédologique adapté	0 ou 3	Indicateur décisionnel Une note « 0 » doit conduire à la plus grande prudence et remet en cause le financement du projet jusqu'à complément d'étude.
NAP1	Spécificités liées à la recharge de nappe	0 ou 3	Indicateur décisionnel Une note « 0 » doit conduire à la plus grande prudence et remet en cause le financement du projet jusqu'à complément d'étude.

NOTATION GEN1

- Note 3 : le dossier est bien étudié et les techniques de valorisation sont correctement conçues (irrigation pertinente, process industriel adapté, techniques de mise en valeur urbaine justifiées)
- Note 0 : qualité défectueuse du dossier, les spécificités de la REUT n'ont pas été prises en compte. Le projet est à revoir dans sa conception même.

Notation **GEN 2** sur les règles de sécurité la distinction est assez tranchée : elles figurent explicitement au dossier ou non. Dans la négative, la décision pourra consister à reprendre cet aspect du projet sous forme de conditionnalité.

Notation **GEN3**: on note que cet indicateur est couplé avec les indicateurs institutionnels. Si la loi est explicite et prévoit des mesures précises d'information, l'appréciation de GEN3 se ramène à une vérification administrative du dossier : conforme (3) ou non conforme (3). La non-conformité doit conduire à ajouter le volet des mesures préalables et d'accompagnement du projet.

Notation **AGR 1** : en cas de valorisation agricole, le point à analyser est la corrélation entre la qualité spécifique de l'effluent (éventuellement chargé en sels ou en sulfates) et la qualité du sol ; la vérification est dichotomique : note 3 si l'étude existe ; note 0 dans le cas contraire avec obligation de mener à bien les investigations qui peuvent le cas échéant conduire à annuler le projet, à tout le moins à modifier l'emplacement.

Notation **NAP1** : indicateur technique qui repose sur une distinction entre existence ou non d'une étude de qualité sur le contexte de la nappe en cas de recharge. Domaine d'expert délicat à appréhender qui requiert une expertise technique.

- ➔ Note 3 : le contenu de l'étude fait référence à des mesures, a sollicité l'appui des instituts de recherche concernés, indique un référentiel piézométrique, et correspond donc aux obligations techniques et scientifiques d'une telle opération. Des ajustements pourront être proposés dans ce dernier cas sous forme de conditionnalité.
- ➔ Note 0 : l'étude ne répond pas explicitement à ces obligations et doit donc être reprise.

INDICATEURS DE SUIVI

Nom	Contenu	Evaluation	Commentaires
SUI1	Gestion qualitative des EUT : fréquence des analyses et conformité aux objectifs	0 ou 3	Indicateur décisionnel Une note « 0 » introduit une conditionnalité
SUI2	Evaluation sanitaire de la population vivant sur la zone de REUT	0 ou 3	Indicateur décisionnel Une note « 0 » introduit une conditionnalité
SUI3	Indices biotiques du milieu aquatique	0 ou 3	Indicateur décisionnel Une note « 0 » introduit une conditionnalité
SUI4	qualité de l'eau de la nappe	0 ou 3	Indicateur décisionnel Une note « 0 » introduit une conditionnalité

Remarque préliminaire : l'instruction du dossier à propos des indicateurs de suivi ne doit pas être confondue avec les indicateurs institutionnels qui rendent compte des obligations administratives de suivi. On cherche à distinguer ici théorie et pratique. Le contexte du dossier peut être favorable quant aux indications issues des notes sur INS2 et INS3 ; par contre on peut déplorer que le projet ne soit pas conforme aux obligations réglementaires et qu'il faille le noter 0 et donc encourager à revoir ces aspects dans une version améliorée du dossier.

NOTATION SUI1

- ➔ Note 3 : le cahier des procédures annexée à la convention de cession des EUT explicite qui fait les analyses, qui les finance, qui les exploite, qui les contrôle, qui en utilise les résultats, notamment si ils ne sont pas conformes. Dans ce cas les scénarios de gestion sont définis.
- ➔ Note 0 : le même examen ne donne pas satisfaction sur l'un des points mentionnés ci-dessus ; on est dans le domaine du rédhibitoire qui conduit à l'obligation de revoir le dossier. Ce point peut être traité comme une conditionnalité au projet s'il est apprécié que des moyens humains et techniques existent et peuvent être mis à profit. Dans le cas contraire, on pourra s'orienter vers une étude et un appui technique préalable puis ré-évaluer le projet par la suite ou en parallèle.

NOTATION SUI2 :

- ➔ Note 3 : une évaluation a été conduite pour faire un point zéro avant ; une autre évaluation existe, elle est programmée, financée et le ministère de la santé est impliqué ;
- ➔ Note 0 : on est à nouveau dans une situation dichotomique : l'implication de la santé n'est pas identifiée ; il convient d'alerter le porteur du projet sur ce point et de réajuster le projet dans ce sens.

NOTATION SUI3 ET SUI4 :

- Note 3 : l'organisme en charge de la mesure du milieu dispose des analyses d'indices biotiques ou du paramétrage complet du sol et de l'eau de la nappe initial et s'apprête à poursuivre ses mesures une fois le projet réalisé ; il sait à qui il rend compte ; il a la capacité à alerter sur une dégradation éventuelle de la qualité du milieu.
- Note 0 : les obligations mentionnées si dessus n'existent pas. Dans un soucis de rigueur on envisagera qu'elles soient mises en œuvre comme une conditionnalité au prêt.

Du point de vue méthodologique, il serait incohérent de réaliser une appréciation économique complète du projet si ses composantes techniques, évaluées au travers des indicateurs précédents, sont significativement insuffisante et qu'une reprise de conception majeure doit être menée.

Les indicateurs économiques et financiers sont plus connus des bailleurs et leur appréciation recoupe les évaluations classiques de projet dans leur approche. On rappelle donc, ci après, leur caractère décisionnel ou non pour le projet.

LES INDICATEURS ECONOMIQUES

Nom	Contenu	Evaluation	Commentaires
ECO1	Population concernée par le projet (amont et aval)	Nombre	Indicateur descriptif et non décisionnel
ECO2	Nombre de bénéficiaires de la REU	Nombre	Indicateur descriptif et non décisionnel
ECO3	Volume de REUT par habitant	m3/hab.	Indicateur pouvant être décisionnel dans un choix de variante
ECO4	Consommation énergétique en kWh / m3	kWh / m3	Indicateur descriptif. Elément qui peut devenir décisionnel dans une comparaison de variantes de projets ou si conso apparait dans des valeurs extrêmes, fortes ou faibles
ECO5	Valeur ajoutée par m3 d'eau réutilisée	€/m3	Indicateur de classement entre plusieurs valorisations possibles du milieu récepteur. Doit permettre d'orienter l'utilisation finale de l'eau traitée
ECO6	Nombre d'emplois créés	Nombre	Indicateur d'un impact économique quantifiable. Peut être décisionnel
ECO7	Nombre d'emplois maintenus	Nombre	Indicateur d'un impact économique quantifiable. Peut être décisionnel
ECO8	Coût d'opportunité (cas où la ressource est rare et affectée à un autre usage)	€/m3	Indicateur comparatif et non décisionnel
ECO9	Coût des dégâts évités	K€	Indicateur rarement quantifié. Les dégâts évités doivent être identifiés dans une analyse complémentaire. Peut devenir décisionnel

INDICATEURS FINANCIERS

Nom	Contenu	Evaluation	Commentaires
FIN1	Montant de l'investissement des ouvrages d'épuration	K€	Indicateur décisionnel. Doit être mis en regard de la ressource financière disponible
FIN2	Ratios d'investissements des ouvrages d'épuration	€/ m3	Indicateur décisionnel. Une valeur trop élevée doit conduire à une remise en question des investissements
FIN3	Frais d'exploitation annuels de l'épuration au m3	€/ m3	Indicateur décisionnel. Une valeur trop élevée doit conduire à une remise en question des techniques de fonctionnement
FIN4	Montant des investissements des ouvrages propres à la REUT	K€	Indicateur décisionnel. Doit être mis en regard des impacts économiques de la REUT : emplois créés et maintenus, valeur ajoutée dégagée
FIN5	Frais d'exploitation annuels de la REUT au m3	€/ m3	Indicateur décisionnel. Une valeur trop élevée doit conduire à une remise en question des modes d'utilisation de l'eau
FIN6	Politique mise en œuvre pour limiter les dépenses d'énergie	Oui ou non	Non décisionnel, mais peut le devenir
FIN7	Solidité des montages financiers : niveau d'équilibre entre subventions, tarifs, service de la dette	note de 0 à 3	Indicateur décisionnel 0 : cash flow négatif. Vérifier acceptation d'une subvention permanente 1 : Tarif existant mais insuffisant. Vérifier possibilité de modifier les tarifs. Vérifier le niveau de facturation à atteindre et la capacité à payer 2 : Cash flow négatif les premières années. Vérifier le point d'équilibre dans le temps 3 : bon équilibre financier. Vérifier si situation peut durer, et identifier les risques de changements
	Prise en compte du financement de tous les suivis par les différentes administrations concernées	note de 0 à 3	Indicateur décisionnel 0 : pas de suivi, pas de synergie entre les acteurs. Peut conduire à rejeter le projet 1 : Suivi, mais fortes divergences d'intérêts entre les partenaires. Vérifier que les enjeux et les charges sont acceptés par tous. Peut conduire à rejeter le projet 2 : Pas de suivi affiché, mais bonne entente entre les partenaires. Vérifier que le projet peut supporter un mode de gestion dilué et que l'absence de suivi n'est pas un frein au bon usage de l'eau. 3 : bon équilibre de gestion entre les partenaires. Vérifier que les résultats obtenus et l'entente affichée sont reconnus par tous.
FIN8			

Annexe 2. Visites de site

ANNEXE 2.1. RAPPORT DE PHASE 2 - VISITES DE TERRAIN

LA REUT - PERSPECTIVES OPERATIONNELLES ET RECOMMANDATIONS POUR L'ACTION

Phase 2

Évaluation d'un ensemble d'expériences significatives de réutilisation d'eaux usées traitées

AVERTISSEMENT

Le présent document constitue le compte rendu des visites effectuées sur les huit sites de réutilisation où se sont rendus les experts de BRL au cours des mois de novembre 2009 à février 2010, à savoir :

- Le site de recharge de nappe à Nabeul en Tunisie avec les eaux épurées de la step de Nabeul
- Le site de recharge de nappe à Korba en Tunisie avec les eaux épurées de la step de Korba
- Le site d'irrigation des golfs de Citrus et Yasmine en Tunisie avec les eaux épurées de la step de Hammamet sud
- Le site de valorisation agricole de Ouagadougou au Burkina Faso, au sortir des lagunes de la ville
- Le site d'irrigation du périmètre de la Limagne en France avec les eaux épurées de la ville de Clermont Ferrand
- Le site de Jordanie où sont valorisées en agriculture irriguée le long de la Zarka river et surtout dans la Jordan valley, les eaux épurées de la step de Amman
- Le site en Israël de valorisation agricole des eaux épurées de la step du grand Tel Aviv
- Enfin, le site de valorisation des eaux épurées pour l'irrigation des périmètres à l'aval de la ville de Milan en Italie.

Outre la description standardisée de ces différents projets, le document les évalue à l'aune de la batterie d'indicateurs mis au point lors de la phase I puis ajustés lors de la phase III de l'étude ; occasion d'affiner cette série d'indicateurs aussi bien en termes de formulation que de mode de notation.

TABLE DES MATIERES

1. FICHE DE PROJET NABEUL.....	1
1.1 Consistance du projet	1
1.2 Critères pertinents et indicateurs pour l'évaluation	3
1.2.1 Qualité de l'eau	3
1.2.2 Risques sanitaires	3
1.2.3 Risques techniques	3
1.2.4 Risques environnementaux: Impacts sur les eaux souterraines	4
1.2.5 Programmes de recherche	4
1.2.6 Valeurs financière et économique de l'eau recyclée	4
1.2.7 Aspects climatiques	5
1.3 Information scientifique et technique	5
1.3.1 Liste des études consultées ou identifiées	5
1.3.2 Liste des acteurs du savoir-faire et de l'assistance technique	5
1.4 Contexte socio économique	6
1.4.1 Adéquation aux finalités déclarées	6
1.4.2 Alternatives et niveau d'utilisation des eaux conventionnelles	6
1.4.3 Acceptabilité du dispositif par les utilisateurs	6
1.4.4 Points clés de la réussite du projet	6
1.5 Rendement épuratoire de la Recharge par les EUT à Oued Souhil	7
1.6 Fiche récapitulative des caractéristiques du Site	8
1.7 Abréviations et acronymes	9
2. FICHE DE PROJET KORBA	10
2.1 Consistance du projet	10
2.2 Critères pertinents et indicateurs pour l'évaluation	11
2.2.1 Qualité de l'eau	11
2.2.2 Risques sanitaires	12
2.2.3 Risques techniques	12
2.2.4 Risques environnementaux : Impacts sur les eaux souterraines	12
2.2.5 Programmes de recherche	12
2.2.6 Valeurs financière et économique de l'eau recyclée :	13
2.2.7 Aspects climatiques : Existence d'une stratégie d'adaptation au changement climatique	13
2.3 Information scientifique et technique	13
2.3.1 Liste des études consultées ou identifiées	13
2.3.2 Diffusion web - accessibilité	13
2.3.3 Liste des acteurs du savoir-faire et de l'assistance technique	14
2.4 Contexte socio économique	14
2.4.1 Adéquation aux finalités déclarées	14
2.4.2 Alternatives et niveau d'utilisation des eaux conventionnelles	14
2.4.3 Acceptabilité du dispositif par les utilisateurs	14
2.4.4 Points clés de la réussite du projet	15
2.5 Rendement épuratoire de la Recharge par les EUT à Korba	15
2.6 Fiche récapitulative des caractéristiques du Site	16
3. FICHE DE PROJET GOLFS DE HAMMAMET	17
3.1 Consistance du projet	17
3.2 Objectifs du projet	18
3.3 Critères pertinents et indicateurs pour l'évaluation	19

3.3.1	Volume d'eau concerné	19
3.3.2	Qualité de l'eau	19
3.3.3	Risques sanitaires	20
3.3.4	Risques techniques	20
3.3.5	Risques environnementaux	20
3.4	Valeurs financière et économique de l'eau recyclée	20
3.5	Information scientifique et technique	20
3.5.1	Liste des études consultées ou identifiées	20
3.5.2	Liste des personnes rencontrées sur les golfs	21
3.5.3	Diffusion web	21
3.5.4	Contacts avec des partenaires pratiquant la REUT	21
3.6	Conclusion	21
4.	FICHE DE PROJET CLERMONT FERRAND	22
4.1	Définition du projet	22
4.1.1	Localisation et contexte du projet	22
4.1.2	Historique	22
4.1.3	L'étude épidémiologique de démarrage du projet	23
4.1.4	Volume disponible d'EUT	23
4.1.5	Perspectives d'évolution	23
4.2	Caractéristiques techniques	24
4.2.1	Épuration	24
4.2.2	Les dispositifs propres au mode de REUT : désignation des ouvrages, dimensionnements	24
4.3	Organisation et maintenances	24
4.3.1	Identification des opérateurs	24
4.4	Données économiques et financières	25
4.4.1	Montant de tous les investissements	25
4.4.2	Plan de financement	25
4.4.3	Politique tarifaire	26
4.5	Suivis	26
4.6	Personnes rencontrées	26
4.7	Documents spécifiques consultés	27
4.8	Conclusion	27
5.	FICHE DE PROJET OUAGADOUGOU	28
5.1	Définition du projet	28
5.1.1	Localisation	28
5.1.2	Historique	28
5.1.3	Objectifs poursuivis	30
5.1.4	Effets indirects du projet	31
5.1.5	Contexte des ressources en eau et de la GIRE dans la région	31
5.1.6	Volume disponible d'EUT	32
5.1.7	Mesures d'accompagnement	34
5.1.8	Perspectives d'évolution	34
5.2	Caractéristiques techniques	35
5.2.1	Épuration : process, qualité des eaux en sortie	35
5.2.2	Le cas des eaux industrielles	39
5.2.3	Les dispositifs propres au mode de REUT : désignation des ouvrages, dimensionnements	40
5.3	Organisation et maintenances	41
5.3.1	Identification des opérateurs	41
5.3.2	Mécanismes administratifs de cession d'eau	41
5.3.3	Particularités propres au mode de valorisation	41

5.4	Cadre institutionnel	42
5.4.1	Textes législatifs relatifs au secteur	42
5.4.2	Rôle des différents ministères et organismes	43
5.4.3	Textes réglementaires techniques (normes, valeurs guide)	45
5.4.4	Textes réglementaires sanitaires	45
5.5	Données économiques et financières	46
5.5.1	Montant de tous les investissements	46
5.5.2	Plan de financement	46
5.5.3	Budgets de fonctionnement	47
5.5.4	Politique tarifaire	47
5.5.5	Rentabilité des différentes composantes du projet	47
5.6	Aspect sociaux	48
5.6.1	Acceptabilité par les bénéficiaires	48
5.6.2	Prise en compte et évaluation des risques	49
5.7	Suivis	50
5.7.1	Contenu des protocoles de suivi	50
5.7.2	Les premiers résultats d'objectifs	51
5.8	Conclusion	52
5.9	Personnes rencontrées	52
6.	FICHE DE PROJET SAMRA	53
6.1	Définition du projet	53
6.1.1	Localisation	53
6.1.2	Aspects climatiques	54
6.1.3	Historique	54
6.1.4	Objectifs poursuivis	54
6.1.5	Spécificités et contexte de l'usage de l'eau	55
6.1.6	Effets indirects du projet	55
6.1.7	Risques	56
6.1.8	Contexte des ressources en eau et de la GIRE dans la région	56
6.1.9	Volume disponible d'EUT	58
6.1.10	Mesures d'accompagnement	58
6.1.11	Perspectives d'évolution	58
6.2	Caractéristiques techniques	59
6.2.1	Épuration : process, qualité des eaux en sortie	59
6.2.2	Le cas des eaux industrielles	59
6.2.3	Les dispositifs propres au mode de REUT : désignation des ouvrages, dimensionnements	59
6.3	Organisation et maintenance	59
6.3.1	Mécanismes administratifs de cession d'eau	59
6.3.2	Particularités propres au mode de valorisation	60
6.4	Rôle des différents ministères et organismes	62
6.5	Données économiques et financières	62
6.5.1	Montant de tous les investissements	62
6.5.2	Plan de financement	62
6.5.3	Budgets de fonctionnement	63
6.5.4	Politique tarifaire	63
6.5.5	Rentabilité des différentes composantes du projet	63
6.6	Aspect sociaux	64
6.7	Suivis des cultures	64
6.8	Conclusion	65
6.9	Documents consultés	65
6.10	Liste des personnes rencontrées	65
6.11	Sigles et acronymes	66

7. FICHE DE PROJET SHAFDAN	67
7.1 Définition du projet	67
7.1.1 Localisation	67
7.1.2 Aspects climatiques	68
7.1.3 Historique	69
7.1.4 Objectifs poursuivis	69
7.1.5 Effets indirects du projet	69
7.1.6 Risques	70
7.1.7 Contexte des ressources en eau et de la GIRE dans la région	70
7.1.8 Volume disponible d'EUT	73
7.1.9 Mesures d'accompagnement	73
7.1.10 Perspectives d'évolution	73
7.2 Caractéristiques techniques	74
7.2.1 Épuration : process, qualité des eaux en sortie	74
7.2.2 La désinfection de l'effluent par le SAT	74
7.2.3 Le cas des eaux industrielles	75
7.2.4 Les dispositifs propres au mode de REUT : désignation des ouvrages, dimensionnements	76
7.3 Organisation et maintenances	76
7.3.1 Identification des opérateurs	76
7.3.2 Mécanismes administratifs de cession d'eau	76
7.3.3 Particularités propres au mode de valorisation	76
7.4 Rôle des différents ministères et organismes	77
7.5 Données économiques et financières	78
7.5.1 Montant de tous les investissements	78
7.5.2 Plan de financement	79
7.5.3 Budgets de fonctionnement	79
7.5.4 Politique tarifaire	79
7.5.5 Rentabilité des différentes composantes du projet	79
7.6 Aspect sociaux	80
7.6.1 Considérations de base	80
7.6.2 Acceptabilité par les bénéficiaires	80
7.7 Suivis	80
7.7.1 Suivi analytique des effluents	80
7.7.2 Suivi des cultures	81
7.8 Conclusion	81
7.9 Personnes rencontrées	81
7.10 Documents consultés	81
7.11 Sigles et acronymes	81
8. FICHE DE PROJET MILAN	82
8.1 Définition du projet	82
8.1.1 Localisation	82
8.1.2 Historique	82
8.1.3 Aspects climatiques	83
8.1.4 Objectifs poursuivis	84
8.1.5 Effets indirects du projet	84
8.1.6 Risques	84
8.1.7 Contexte des ressources en eau et de la GIRE dans la région	85
8.1.8 Volume disponible d'EUT	85
8.1.9 Mesures d'accompagnement	86
8.1.10 Perspectives d'évolution	86
8.2 Caractéristiques techniques	87
8.2.2 Le cas des eaux industrielles	89

8.2.3	Les dispositifs propres au mode de REUT : désignation des ouvrages, dimensionnements	89
8.3	Organisation et maintenance	90
8.3.1	Identification des opérateurs	90
8.3.2	Mécanismes administratifs de cession d'eau	90
8.3.3	Particularités propres au mode de valorisation	90
8.4	Cadre institutionnel	91
8.4.1	Textes législatifs relatifs au secteur	91
8.4.2	Rôle des différents ministères et organismes	91
8.4.3	Textes réglementaires techniques (normes, valeurs guide)	91
8.4.4	Textes réglementaires sanitaires	92
8.5	Données économiques et financières	92
8.5.1	Montant de tous les investissements	92
8.5.2	Plan de financement	93
8.5.3	Budgets de fonctionnement	93
8.5.4	Politique tarifaire	93
8.5.5	Rentabilité des différentes composantes du projet	93
8.6	Aspect sociaux	94
8.7	Acceptabilité par les bénéficiaires	94
8.8	Prise en compte et évaluation des risques	94
8.9	Suivis	94
8.9.1	Contenu des protocoles de suivi	94
8.9.2	Évaluations et conséquences sur le projet	94
9.	UTILISATION DES INDICATEURS ECONOMIQUES D'EVALUATION.....	95
9.1	Rappel des indicateurs utilisés	95
9.2	Commentaires sur les indicateurs économiques retenus	95
10.	UTILISATION DES INDICATEURS FINANCIERS D'EVALUATION.....	99
10.1	Rappel des indicateurs utilisés	99
10.2	Commentaires sur les indicateurs financiers retenus	99
11.	CONCLUSIONS ET PREMIERES PERSPECTIVES POUR L'ACTION.....	101
11.1	Modalités d'appréciation des opérations visitées	101
11.2	Synthèse des enseignements des visites	103

1. Fiche de projet Nabeul

1.1 CONSISTANCE DU PROJET

La station expérimentale de recharge de nappe par les eaux usées traitées de l'oued Souhil¹ a été conçue comme étant une station pilote et avait pour objectifs :

- (i) l'étude en vraie grandeur de l'infiltration avec des eaux usées traitées,
- (ii) l'évaluation du pouvoir épurateur du sol et l'étude de l'impact de la recharge sur la qualité des eaux de recharge et sur celle des eaux de la nappe,
- (iii) la détermination des paramètres hydrauliques pouvant servir de référence pour le montage d'autres stations. Le site est situé à 2,5 km au nord-ouest de Nabeul. Il comprend un premier dispositif, construit en 1985, de 4 bassins de 400 m² (20 m x 20 m) chacun de superficie au sol, et de 1,5 m de profondeur, implantés en rive droite de l'oued Souhil, un deuxième dispositif de 5 bassins, aménagés à proximité immédiate du lit de l'oued et, plus en amont, un troisième de 3 bassins dans le lit majeur de l'oued même.



Figure 1 : Situation des bassins de recharge de Oued Souhil².

La plage d'infiltration au fond des bassins du premier dispositif représente une surface totale d'infiltration de 1365m². Les eaux usées traitées (après un traitement secondaire) proviennent de la STEP dite SE4 d'une capacité de 14000m³/j, située sur le littoral et à 7 km du site de recharge. Les eaux traitées sont refoulées dans un bassin étanche de stockage et de répartition d'une capacité de 4500m³, situé à 700 mètres en amont du premier dispositif de bassins de recharge. Elles sont acheminées gravitairement vers les bassins d'infiltration à travers le réseau d'irrigation.

Le dispositif de contrôle de la nappe comprend 17 piézomètres, de 12 à 20 m de profondeur, et une quarantaine de puits de surface. L'épaisseur de la zone non saturée, de nature sableuse, est comprise entre 10 et 13 mètres. Les premiers essais d'infiltration (1985) donnent une vitesse moyenne d'infiltration de 0.3 m/jour.

¹ La rédaction de cette fiche a bénéficié des commentaires et des suggestions de Mr Moncef Rekaya, Directeur Régional de l'Hydraulique, CRDA de Nabeul

² D'après H.Chaieb (2009) : Recharge artificielle des nappes par les EUT, point et perspectives ; Journée ONAS sur le transfert des eaux usées du Grand Tunis, 17 Fév.2009.

Les courbes de surveillance piézométrique, de mai 1994 à septembre 2000, publiées par la DGRE dans l'annuaire piézométrique de l'année 2000, montrent que, sur cette période, les opérations de recharge ont lieu au cours des mois d'avril-mai. Ces courbes font apparaître une remontée du niveau de la nappe de l'ordre de 1,50 m sous l'effet de la recharge, aux alentours du site d'injection, et de 4 m au droit des bassins lors des phases d'injection. Cette expérimentation met en évidence les points suivants³ :

- (i) l'infiltration dans les bassins se fait sans nuisances, notamment olfactives, sur l'environnement immédiat, et ceci malgré une qualité d'effluent souvent médiocre,
- (ii) le maintien de la capacité d'infiltration des bassins nécessite un entretien de la plage d'infiltration, notamment en raison de la teneur en MES des effluents ; lorsque cet entretien n'est pas réalisé systématiquement, la baisse de capacité d'infiltration enlève beaucoup d'intérêt à l'utilisation des bassins, et il devient alors plus rentable sur le plan hydraulique d'effectuer des lâchers directement dans le lit de l'oued.

Les résultats relatifs au pouvoir épurateur du sol et du sous-sol et de leur impact sur la qualité des eaux de recharge montrent que :

- (i) les phosphates sont piégés dans la zone non saturée,
- (ii) l'ammoniaque subit une nitrification,
- (iii) la concentration en nitrates de l'eau de la nappe semble diminuer, sous l'effet de l'injection des eaux usées traitées qui ont une teneur en nitrates inférieure à celle de la nappe,
- (iv) les sulfates, les chlorures et la conductivité de l'eau de recharge demeurent constants.

Du point de vue microbiologique, le protocole de mise en œuvre de la recharge joue énormément sur l'amélioration de la qualité bactériologique des eaux rechargées. Plus le temps de rotation entre les bassins d'infiltration est court (1 à 2 jours), plus la qualité des eaux rechargées est augmentée. Les contrôles effectués montrent l'efficacité de l'infiltration au travers de la zone non saturée au droit du site de recharge et encore plus suite au déplacement vers l'aval des eaux de recharge. Néanmoins les suivis ont également mis en évidence la présence de germes témoins de contamination fécale attribuables à la recharge avec des eaux usées traitées qui semblent manifestement dues à une saturation de la capacité d'épuration du massif filtrant lorsque le protocole de rotation entre les bassins n'est pas respecté.

En conclusion, l'expérience de l'oued Souhil fait ressortir les points suivants :

- (i) la recharge de nappe par bassin avec des eaux usées traitées, après un traitement secondaire, s'effectue sans nuisances sensibles sur l'environnement immédiat,
- (ii) la qualité de l'effluent utilisé pour la recharge et notamment la teneur en matière en suspension a une incidence directe sur les conditions de fonctionnement et les contraintes d'entretien des bassins ; l'infiltration d'effluent insuffisamment épuré peut réduire de façon substantielle le potentiel du système de recharge en raison de charge d'entretien trop importante,
- (iii) l'épuration dans le sol est dans la majorité des cas suffisante pour garantir à quelques centaines de mètres en aval n'importe quel usage des eaux souterraines. Néanmoins le dépassement ponctuel de la capacité épuratoire du massif filtrant milite probablement pour la recharge avec des EU ayant subi un traitement tertiaire efficace sur la pollution microbiologique.

³ BURGEP, CRDA de Nabeul (2004) : *Projet de recharge des nappes du Cap Bon à partir des eaux usées traitées ; Etude de faisabilité environnementale d'avant projet et d'exécution ; Rapport de la phase 1 ; Diagnostic préliminaire ; Etude de faisabilité de la recharge avec les EUT sur 4 sites ;*

1.2 CRITERES PERTINENTS ET INDICATEURS POUR L'EVALUATION

1.2.1 Qualité de l'eau

- Niveau de qualité des eaux recyclées requis ;
Il n'existe pas de normes tunisiennes pour la qualité des eaux d'irrigation non restrictive ; en pratique la qualité chimique de l'eau de la nappe devrait être améliorée par la recharge; sur le plan bactériologique aucune contamination n'est tolérée ;
- Type de traitement nécessaire en rapport avec le type de réutilisation ;
Les eaux utilisées proviennent de la station d'épuration SE4 de Nabeul où elles subissent un traitement d'épuration par boues activées. Ces eaux usées traitées contiennent dans 100 ml, en moyenne 4.105 coliformes totaux, 3.105 coliformes fécaux et 2.105 streptocoques fécaux.
Pour éviter tout risque de contamination bactériologique irréversible de la nappe, il y a généralement lieu d'appliquer un traitement tertiaire complémentaire en deux phases : filtration et désinfection ;

1.2.2 Risques sanitaires

- Normes et règles de l'art,
Au moment de la réalisation du projet (1985), aucune norme ni réglementation pour la REUT ; Depuis 1989, les eaux de recharge sont conformes à la Norme de réutilisation à des fins agricoles, NT 106.03, qui ne précise pas le taux de coliformes ; Un nouveau projet de Normes de qualité d'eau de recharge par les EUT est en préparation, plus restrictif, qui limite le taux de coliformes.
- Aspects juridiques et réglementaires,
Le Code des Eaux a prévu la réglementation de la REUT (art.105 et 106 du Code des Eaux tunisien)
- Dispositif de surveillance épidémiologique et enquêtes sanitaires;
Le maître d'ouvrage (CRDA de Nabeul) est responsable de la surveillance de la qualité microbiologique et chimique devant les autorités sanitaires. Les services d'hygiène de la Direction régionale de la santé (Ministère de la santé publique) sont compétents pour le contrôle de la qualité microbiologique et limitent leurs contrôles à l'amont du système, à la sortie de la Station de traitement. En outre, ces services assurent le suivi épidémiologique du personnel du site et des populations voisines.
- Références aux Directives OMS 2006; et aux directives de l'AFSSA 2008;
Les directives OMS 2006 ont inspiré les textes en cours de préparation relatifs aux normes de REUT en irrigation, recharge, arrosage des jardins publics et espaces sportifs ;

1.2.3 Risques techniques

- Fiabilité du traitement
Traitement Secondaire à la station SE4 de l'ONAS, qui respecte les Normes d'utilisation à des fins agricoles.
- Modalités de garantie du niveau d'épuration de l'eau livrée aux utilisateurs
Accords verbaux entre ONAS, CRDA et GDA (groupement d'utilisateurs). Ces derniers sont conscients du rapport risque/bénéfice et acceptent le niveau de qualité (diminution de la salinité de la nappe) et le risque microbiologique. Usage de la nappe strictement réservé à l'irrigation non restrictive.

1.2.4 Risques environnementaux: Impacts sur les eaux souterraines

Il a été observé un impact limité de la recharge artificielle par les EUT sur la qualité microbiologique des eaux de la nappe. Toutefois, la contamination bactérienne des eaux de nappe suite à la recharge diminue considérablement avec : i) la distance par rapport aux bassins d'infiltration; ii) le niveau d'aérobiose de la zone non saturée favorisé par l'intermittence des injections d'EUT.

1.2.5 Programmes de recherche

- Programmes Réalisés

Très nombreux projets de thèses et mémoires, disparates, réalisés pour le compte de plusieurs universités et institutions différentes, mais aucun programme continu et visible n'a été poursuivi sur le site au cours de ses 24 années de fonctionnement, si bien qu'il n'est plus possible d'établir un diagnostic clair et précis sur une expérience au départ visionnaire, originale et prometteuse de recharge par des eaux ayant uniquement subi un traitement 2aire, sur un site favorable du fait de la mauvaise qualité chimique initiale de la nappe (salinité relativement élevée).

- Qualité du suivi scientifique

Nombreux piézomètres et puits de surveillance ; données archivées mais incomplètement analysées ;

- Qualité des résultats obtenus

Les bassins sont situés au sein d'un périmètre irrigué avec des EUT, si bien que la part de chacune des deux sources de contamination bactériologique potentielles demeure difficile à établir.

Retombées socio économiques de la recherche Réplication de l'expérience difficile à concevoir ; le projet de recharge par les EUT de Mornag, prévu à une échelle industrielle, ne s'y réfère pas ;

- Synergie scientifique occasionnée par le projet

Plusieurs projets de coopération réalisés entre institutions de recherche tunisiennes et européennes autour de travaux de doctorat ou mastères, mais pas de synergie réelle au plan national.

1.2.6 Valeurs financière et économique de l'eau recyclée

- Coûts d'investissement et de fonctionnement

Investissement : 20 000 DT (de 1985)

Fonctionnement : 10 000 DT/an

Coût du m³ rechargé : (amortissement : 1 000 ; renouvellement : 1 000 ; Exploitation : 10 000 TD/an) ; soit pour 120 000 m³/an rechargés = 0.100 DT /m³.

- Coût d'opportunité y compris valeur saisonnière de l'eau

Indéterminé

- Modalités et niveau de recouvrement des coûts liés aux opérations de réutilisation

Néant

- Rentabilité économique et financière

Plutôt faible

- Valeur ajoutée scientifique et environnementale

Quelques résultats scientifiques, incomplets ; Impacts sur la nappe souterraine : bénéfique en termes quantitatifs, incertains en ce qui concerne la qualité chimique et microbiologique.

1.2.7 Aspects climatiques

Il n'existe pas de stratégie d'adaptation au changement climatique à proprement parler dans cette opération ; en effet conçu en 1983, le projet précède le développement même du concept de changement climatique, mais s'intègre dans la vision globale de l'amélioration des ressources en condition de rareté.

1.3 INFORMATION SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

1.3.1 Liste des études consultées ou identifiées

Bedmar, A. P.; Rekaya, M. (1987) : Application des techniques nucléaires aux études de recharge artificielle d'un aquifère côtier en Tunisie. Rapp. Final. Projet PNUD. RAB/80/011. DGRE, Tunis.

GFA consulting & al. (2008) : Projet d'amélioration de la gestion intégrée des eaux des périmètres irrigués de Mornag ; Étude de factibilité; MARH-DGGREE ;

Rekaya, M. (1992) : La recharge artificielle des nappes du Cap Bon. Actes de la 10ème journée des ressources en eau, DGRE, Tunis, pp. 19-42.

Rekaya. M (1987) : Réutilisation des eaux usées après traitement ; Recharge artificielle des nappes ; Rapp. Final. Projet PNUD. RAB/80/011. DGRE, Tunis.

Trad Rais M. (1997): Expérience tunisienne en réutilisation des EUT par recharge de la nappe phréatique; Microb.Hyg.Alim. Vol.9; N°25; Juil.1997

1.3.2 Liste des acteurs du savoir-faire et de l'assistance technique

Moncef REKAYA ; Directeur Régional de l'Hydraulique ; CRDA Nabeul ; moncefrekaya@yahoo.com

Habib CHAIEB; Dir. des Ressources non conventionnelles et de la Recharge Artificielle ; chai_hab@yahoo.fr

Faycel JLASSI; Chef Arrond. Ressources en Eau, CRDA Nabeul ; faycel_ayma@yahoo.fr

Mohsen MABROUK; Directeur Régional ONAS à Nabeul ; nabeul@onas.nat.tn

Nedhif MABROUK ; Directeur Hygiène du Milieu et Protection de l'Environnement; MSP; Mabrouk.nedhif@rns.tn

Jamel CHALOUF ; Chef du service de contrôle des eaux; Min Santé ; Jamel.chalouf@yahoo.fr

M.TRAD RAIS ; Microbiologiste ; INRGREF, Tunis;

Nejib REJEB ; DG. INRGREF, Tunis; rejeb.nejib@iresa.agrinet.tn

1.4 CONTEXTE SOCIO ECONOMIQUE

1.4.1 Adéquation aux finalités déclarées

(Pourquoi cette utilisation a-t-elle été choisie et à qui est-elle destinée ?)

Objectifs déclarés : i) expérimentation et recherche sur la REUT, ii) ressource additionnelle destinée aux agriculteurs.

1.4.2 Alternatives et niveau d'utilisation des eaux conventionnelles

Eaux conventionnelles surexploitées : rabaissement de nappe et saturation des autres moyens hydrauliques de mobilisation des eaux du nord.

1.4.3 Acceptabilité du dispositif par les utilisateurs

Bonne ; utilisé comme ressource additionnelle de meilleure qualité chimique et sans contrepartie financière.

1.4.4 Points clés de la réussite du projet

- Mesures d'accompagnement,
Le suivi scientifique est insuffisant ; et l'entretien des bassins est irrégulier en raison des insuffisances du montage institutionnel ;
- Cahier des charges du fournisseur,
Circonstances transitoires : l'ONAS fournit l'EUT au CRDA à titre gracieux et sur la base de protocoles encore informels ; le CRDA facture à la DGRE 20 millimes/m³ rechargé (facturation interne au MARH) ; l'utilisateur final (les agriculteurs, une quarantaine), ne paie aucune redevance sur l'eau prélevée dans la nappe, sur la base du caractère expérimental du dispositif ;
- Positionnement de l'utilisateur,
Les agriculteurs sont organisés en groupement d'utilisateurs (GDA) et contribuent au contrôle général du système, en contribuant très modérément à l'entretien et au contrôle sanitaire ;
- Montage institutionnel ;
Le montage institutionnel est déficient : le promoteur et maître d'ouvrage est la DGRE, l'ONAS fournit l'eau à l'entrée du site, le propriétaire du site est l'INRGREF, le CRDA est le gestionnaire local et est censé facturer l'eau rechargée à la DGRE, le monitoring est assuré par la DGRE qui n'est pas en situation d'assurer une interprétation scientifique en temps réel des résultats, le suivi scientifique est indéterminé, le GDA utilise l'eau sans contrepartie ; il n'existe aucune convention écrite entre les différents intervenants ;

Paramètre	Unité	Valeur NT.106.03 *	Norme Recharge **
Turbidité	NTU	-	5
DBO5	mg/L	30	-
DCO	mg/L	90	125
MES	mg/L	30	10
pH		6.5 - 8.5	6.5 - 8.5
Conductivité	µS/cm	7000	3000
Salinité (RS)	g/L	4.4	2
SAR	mg/L	-	10
Sodium (Na)	mg/L	-	1000
Magnesium (Mg)	mg/L	-	200
Calcium (Ca)	mg/L	-	500
Azote Total	mg/L	-	15
NH ₄ -N	mg/L	-	2
NO ₃ -N	mg/L	-	10
Chlorures (Cl)	mg/L	2000	2000
Fluorures (F)	mg/L	3	1
Organochlorés	mg/L	0.001	-
Arsenic (As)	mg/L	0.1	0.1
Bore (B)	mg/L	3	2
Cadmium (Cd)	mg/L	0.01	0.01
Cobalt (Co)	mg/L	0.1	0.05
Chrome (Cr)	mg/L	0.1	0.1
Cuivre (Cu)	mg/L	0.5	0.2
Fer (Fe)	mg/L	5	2
Manganèse (Mn)	mg/L	0.5	0.2
Mercuré (Hg)	mg/L	0.001	0.001
Molybdène (Mo)	mg/L	-	0.01
Nickel (Ni)	mg/L	0.2	0.2
Plomb (Pb)	mg/L	1	0.1
Sélénium (Se)	mg/L	0.005	0.05
Vanadium (V)	mg/L	0.1	
Zinc (Zn)	mg/L	5	0.5
Œufs de Nématodes	n/100 mL	0.1	1
Coliformes fécaux	n/100 mL	-	200

* Norme Tunisienne 106.03 (1989): Spécifications pour REUT à des fins agricoles;
 ** Nouvelles normes en préparation pour la Recharge par les EUT

Tableau 1 : Norme actuelle de REUT à des fins agricoles, et projet de nouvelle Norme pour la recharge par les EUT (d'après GFA⁴, 2008).

1.5 RENDEMENT EPURATOIRE DE LA RECHARGE PAR LES EUT A OUED SOUHIL

paramètre	Cn initiale nappe	Cn entrée SAT	Cn finale nappe	Rendement
Phosphate		8 mg/L	0.4 mg/L	
DCO		60 à 100 mg/ L	10 à 48 mg/ L	
N Ammoniacal		60 à 90 mg/ L	2 mg/ L	
N Nitrique		1.6 mg/ L	12 mg/ L	
Ca		400 mg/ L	600 mg/ L	
Dureté Ca CO ₃		770 mg/ L	1000 mg/ L	
Coliformes totaux	446 /100 mL	4.3 E+05/100 mL	faible	non signific
Coliformes fécaux	31 /100 mL	3.6 E+05/100 mL	faible	non signific
Streptocoques fécaux	871 /100 mL	2.2 E+05/100 mL	faible	non signific

suivi bactériologique: campagne unique 1986 (1ère mise en eau des bassins); Concentrations initiales non négligeables dues aux retours d'irrigation par les EUT

Tableau 2 : Quelques données sur le rendement épuratoire de la recharge (d'après M.Trad Rais⁵, 1997)

⁴ GFA consulting & al. (2008) : *Projet d'amélioration de la gestion intégrée des eaux des périmètres irrigués de Mornag ; Etude de factibilité; MARH-DGGREE ;*

⁵ Trad Rais M. (1997): *Expérience tunisienne en réutilisation des EUT par recharge de la nappe phréatique; Microb.Hyg.Alim. Vol.9; N°25; Juil.1997*

1.6 FICHE RECAPITULATIVE DES CARACTERISTIQUES DU SITE

Catégorie	Indicateur	
Objectifs	Production d'eau potable	Non
	Irrigation non restrictive	Oui
	Expérimentation	Oui
Faisabilité	Superficie du site ha	1 ha
	Propriété du terrain	Institut National du Génie Rural, des Eaux et Forêts
	proximité groupe d'habitations	200 m
	proximité captage eau potable	3 Km
Procédé	Epanchage en surface	Oui
	SAT (Soil Aquifer Treatment)	Non
	Année mise en service	1985
Bassins d'infiltration	Nombre	9
	Superficie Moyenne m2	300 m2
	Superficie Totale m2	2500 m2
	Profondeur m	1.6 m
	Charge moyenne m	0.9 m
	Vitesse filtration m/j	1.5 m/j
	Charge totale annuelle m	70 m
	Nb jours inondés	3 j/sem en hiver; rien en été
	Nb jours à sec	4 j/sem en hiver
	Entretien colmatage nj/an	2 j / an
	Volume rech. moyen m3/an	120 000 m3/an
	Capacité de rech. du site m3/an	240 000 m3/an
Zone Non Saturée	Volume total rechargé m3	3 Mm3 (1986 à 2009)
	Epaisseur moyenne	12 m
	Nature lithologique	Sables, Alluvions
	Présence hétérogénéités	Non
	Nj aérobic	n.d
	Nj anaérobic	n.d
Aquifère cible	Temps de séjour ds la zns	n.d
	Nature lithologique	Alluvions
	Nappe libre-captive	Libre
	Usage AEP	Non
	Fluctuation du niveau	Stable
	Monitoring nappe	50 puits et piézomètres
	Qualité initiale eau	Salinité 4 à 5 g/L
Source d'eau	Temps séjour dsnappe	n.d
	Distance STEP (SE4)	2500 m
	Traitement (1,2,3,Av)	2 aire
	Production journalière	14 000 m3/j
	Production annuelle	3 Millions m3/an
	Qualité de l'effluent	forte teneur MES, en coliformes totaux et fécaux
Rendement épuratoire SAT	Exist.Norm.spécif.recharge	Non; en cours de préparation
		Voir Tableau 2
Récupération eau rechargée	Nb.Forages de récup. de l'eau rechargée	récupération occasionnelle par puits privés
	Distance du site rech.	200 m
	Vol. pompé m3/an	n.d
	%vol pompé originaire rech	n.d
Participation du public	Réunions	Non
	Brochur; Affiches; Film	Non
	Visites guidées	Non
	Pas d'implication	L'association d'usagers (GDA) participe au nettoyage du site
Formule Institutionnelle	Maitre d'Ouvrage	Direction Générale des Ressources en Eau
	Administration publique	Oui
	Délimitation Bénéficiaires	Quelques agriculteurs, sans délimitation précise
	coût d'entretien m3	0.1 TD/m3 (# 0.08 US\$/m3)
	Revenus Vente eau	Néant
Suivi scientifique	Expériment. préalable	Non
	Suivi du prétraitement	Oui
	Monitoring syst. Rech	Oui;
	suivi post traitement	Oui;
Information scientifique et technique	Rapp intern (Nb, date)	2 rapp. 1987, 1988
	Revues scientifiques	2 art. 1991, 1997
	Accessibilité web; contact	moncefrekaya@yahoo.com

1.7 ABREVIATIONS ET ACRONYMES

DGRE Direction Générale des Ressources en Eau

GDA Groupement départemental d'Agriculteurs

INRGREF Institut national du Génie Rural et des Eaux et Forêts

MARH Ministère de l'Agriculture et des Ressources Hydriques

ONAS Office national de l'Assainissement

2. Fiche de projet Korba

2.1 CONSISTANCE DU PROJET

La rédaction de cette fiche a bénéficié des commentaires de Mr Moncef Rekaya, Directeur Régional de l'Hydraulique, CRDA de Nabeul

Le site, de 4.4 ha de superficie, se trouve à 500 mètres de la station d'épuration de Korba et à 1,5 km de la côte méditerranéenne, altitude 15 m. Un piézomètre de suivi de la nappe en limite du site fonctionne depuis 1993. Au droit du site, la surface de la nappe est à 16 m de profondeur et se trouve à des cotes négatives en certains endroits, témoignant d'une invasion marine manifeste. Les caractéristiques du site ont permis d'établir deux limites de sécurité pour les usages de la nappe : 170 m pour l'irrigation non restrictive et les usages domestiques, 615 m pour l'eau de boisson. Toutefois, la salinité élevée de la nappe phréatique (3.5 à 10 g/L) est incompatible avec tout usage d'eau potable.

La station d'épuration de Korba fonctionne sur le process des boues activées à faible charge, après un prétraitement mécanisé. Le réacteur biologique inclut une élimination des nitrates par dénitrification anoxique. Une épuration tertiaire par 3 bassins de maturation, fonctionnant en série, affine la qualité des effluents avant le rejet dans le milieu naturel et la lagune côtière qu'elle contribue à alimenter hydrauliquement.

Mise en service en 2002, elle est dimensionnée pour 7 500 m³/j. Les débits disponibles sur la station, les besoins de la lagune et les capacités d'infiltration du site ont permis de dimensionner le dispositif d'infiltration à 1 500 m³/j et de fixer le volume annuel infiltré à 500 000 m³ ; Sur la base d'une capacité d'infiltration de 0,5 m³/j, le site comporte 3 bassins de 1500 m² chacun.

Le temps de séjour dans les bassins de maturation est de 6 jours. Sur le plan physico-chimique, les effluents en sortie sont conformes à la norme tunisienne NT 106.002 de rejet dans le domaine public hydraulique, pour la DCO, la DBO5 et les MES. Pour la bactériologie, en sortie du traitement tertiaire par lagunage, les données semblent montrer un niveau de contamination faible en sortie de lagune. Mais les résultats des analyses bactériologiques ne montrent pas toujours une efficacité totale du lagunage ; aussi, un traitement complémentaire a-t-il été préconisé lors de l'étude du projet⁶, qui comporte : i) une filtration rapide ; ii) une décontamination par UV ; dimensionnés pour 1500 m³/j

Par la suite, et pour des raisons économiques mais considérant que : i) la station d'épuration fonctionne correctement et dispose d'un lagunage (dont l'efficacité doit être surveillée), ii) les usages de l'eau souterraine sont situés au-delà des zones de sécurité, iii) les conditions d'épuration par le sol paraissent très favorables, le traitement complémentaire a été abandonné. La recharge, au-delà du périmètre de sécurité instauré de facto en raison de l'absence d'usage à proximité immédiate du site, ne s'accompagne d'aucune restriction d'usage. Néanmoins, les habitations proches du site ne sont pas toutes raccordées au réseau d'eau potable SONEDE ; et celles qui ne sont pas raccordées n'utilisent pas l'eau des puits comme eau de boisson.

⁶ BURGEAP, CRDA de Nabeul (2004) : *Projet de recharge des nappes du Cap Bon par des eaux usées traitées ; Etude de faisabilité environnementale, d'avant projet et d'exécution ; Rapport de la phase 1 ; Diagnostic préliminaire ; Etude de faisabilité de la recharge avec les EUT sur 4 sites ; 3^{ème} partie : Etude d'avant projet sommaire sur le site de Korba.*



Figure 2 : Situation des bassins de recharge de Korba7.

La mise en eau du site et le démarrage de la recharge ont eu lieu le 22/12/2008. Une année plus tard, un volume d'environ 400000 m³ d'EUT a été infiltré, soit 80 % du volume projeté⁸.

2.2 CRITERES PERTINENTS ET INDICATEURS POUR L'EVALUATION

2.2.1 Qualité de l'eau

- Niveau de qualité des eaux recyclées requis ;

Il n'existe pas de normes tunisiennes pour la qualité des eaux d'irrigation non restrictive ; en pratique la qualité chimique de l'eau de la nappe devrait être améliorée par la recharge; sur le plan bactériologique aucune contamination n'est tolérée.

- Type de traitement nécessaire en rapport avec le type de réutilisation ;

Les eaux utilisées proviennent de la station d'épuration de Korba, mise en service en 2002, dimensionnée pour un débit de 7 500 m³/j. Elle dispose d'un traitement secondaire par boues activées et d'un lagunage en traitement tertiaire. Le lagunage comprend 3 bassins d'une capacité volumétrique de 45 000 m³ pour une surface de plan d'eau de 36 000 m². Le temps de séjour est de l'ordre de 6 jours. La qualité des effluents à la sortie de la station est résumée par le tableau 3.

Paramètres	Moyenne	Mini	Maxi	Norme NT106.002
DCO mg/l *	68,7	60	91	90
DBO5 mg/l *	7	5	12,8	30
MES mg/l *	10,5	4	21	30
Salinité g/l	3,3	2,5	5	
Coliformes fécaux / 100 mL	1/12 >1000	< 0,3	1100	2000
Streptocoques fécaux / 100 mL	3/12 >1000	< 0,3	24000	1000

Tableau 3 : Qualité des effluents à la sortie de la station de Korba, d'après Burgeap (2004)

Le lagunage a un effet bénéfique sur la qualité bactériologique des eaux usées, mais cet effet est limité en raison d'un temps de séjour assez court. Le lagunage a également un effet positif sur la décantation des boues et des MES qui pourraient être larguées par la station d'épuration.

⁷ D'après H.Chaieb (2009) : *Recharge artificielle des nappes par les EUT, point et perspectives ; Journée ONAS sur le transfert des eaux usées du Grand Tunis, 17 Fév.2009.*

⁸ D'après H.Chaieb (2009) : *L'expérience tunisienne en matière de recharge artificielle des nappes par les eaux usées traitées ; Doc.inédit.*

2.2.2 Risques sanitaires

- Normes et règles de l'art,
Les eaux de recharge doivent au minimum respecter la Norme de réutilisation à des fins agricoles, NT 106.03, qui ne précise pas le taux de coliformes.
- Aspects juridiques et réglementaires,
Le Code des Eaux réglemente la REUT (art.105 et 106 du Codes des Eaux tunisien)
- Dispositif de surveillance épidémiologique et enquêtes sanitaires;
Le maître d'ouvrage (CRDA de Nabeul) est responsable de la surveillance de la qualité chimique et microbiologique du milieu non saturé et de la nappe. Les services d'hygiène de la Direction régionale de la santé (Ministère de la santé publique) sont compétents pour le contrôle de la qualité microbiologique et limitent leurs contrôles à l'amont du système, à la sortie de la STEP de Korba. En outre, ces services assurent le suivi épidémiologique du personnel du site et des populations voisines. Par ailleurs, toutes les habitations proches alimentées par les puits doivent être branchées incessamment au réseau d'eau potable SONEDE.
- Références aux Directives OMS 2006; et aux directives de l'AFSSA 2008;
Les directives OMS 2006 ont inspiré les textes en cours de préparation relatifs aux normes de REUT en irrigation, recharge, arrosage des jardins publics et espaces sportifs ;

2.2.3 Risques techniques

- Fiabilité du traitement,
Traitement Tertiaire à la station Korba de l'ONAS.
- Modalités de garantie du niveau d'épuration de l'eau livrée aux utilisateurs,
Accords verbaux entre ONAS et CRDA. Usage de la nappe à terme strictement réservé à l'irrigation non restrictive. Toutefois, une année après la mise en eau de la recharge (Déc.2008-Déc.2009), les habitations voisines ne sont pas encore toutes raccordées au réseau SONEDE.

2.2.4 Risques environnementaux : Impacts sur les eaux souterraines

Le suivi de l'impact de la recharge sur la composition chimique et bactériologique de la nappe a démarré mais aucun résultat n'est encore publié à ce jour (fin 2009).

2.2.5 Programmes de recherche

- Programmes Réalisés ;
Le laboratoire Géorressources du CERTÉ est en convention avec la DGRE pour le suivi et l'interprétation des paramètres hydrodynamiques et géochimiques du site. En revanche, aucun partenaire officiel n'est encore identifié pour assurer le suivi et l'analyse des paramètres bactériologiques.
- Qualité du suivi scientifique ;
- Les aspects hydrodynamiques et géochimiques semblent être bien maîtrisés ; par contre le suivi bactériologique ne paraît pas suivre la même dynamique ;
- Qualité des résultats obtenus ;
Il n'existe pas encore de résultats élaborés ;
- Retombées socio économiques de la recherche ;
Il n'existe pas encore de résultats et le projet de recharge par les EUT de Mornag, prévu à une échelle industrielle, ne se réfère pas à l'expérience de Korba;
- Synergie scientifique occasionnée par le projet ;
Une seule équipe de recherche (hydrodynamique et Géochimie) est réellement mobilisée ;

2.2.6 Valeurs financière et économique de l'eau recyclée :

- Coûts d'investissement et de fonctionnement,
Investissement : 700 000 TD
Fonctionnement : 20 000 TD/an
Coût du m³ rechargé : (amortissement : 33 000 ; renouvellement : 30 000 ;
Exploitation : 20 000 TD/an) ; soit pour 500 000 m³/an rechargés = 0.166 DT /m³.
- Coût d'opportunité y compris valeur saisonnière de l'eau,
Indéterminé
- Modalités et niveau de recouvrement des coûts liés aux opérations de réutilisation,
Néant
- Rentabilité économique et financière ;
Plutôt faible,
- Valeur ajoutée scientifique et environnementale ;
Importants résultats scientifiques attendus ; Impacts sur la nappe souterraine : très probablement bénéfique pour la protection de la nappe contre l'invasion saline ;
Préservation du littoral - très fréquenté en saison estivale- contre un excès de rejets d'EUT.

2.2.7 Aspects climatiques : Existence d'une stratégie d'adaptation au changement climatique

Le projet s'intègre dans la vision globale de l'amélioration des ressources en condition de rareté.

2.3 INFORMATION SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

2.3.1 Liste des études consultées ou identifiées

H.CHAIEB (2009) : Recharge artificielle des nappes par les EUT, point et perspectives ; Journée ONAS sur le transfert des eaux usées du Grand Tunis, 17 Fév.2009.

BURGEAP, CRDA de Nabeul (2004) : Projet de recharge des nappes du Cap Bon par des eaux usées traitées ; Étude de faisabilité environnementale, d'avant projet et d'exécution ; Rapport de la phase 1 ; Diagnostic préliminaire ; Étude de faisabilité de la recharge avec les EUT sur 4 sites ; Étude d'avant projet sommaire sur le site de Korba.

2.3.2 Diffusion web - accessibilité

Néant

2.3.3 Liste des acteurs du savoir-faire et de l'assistance technique

Moncef REKAYA ; Directeur Régional de l'Hydraulique ; CRDA de Nabeul; moncefrekaya@yahoo.com

Habib CHAIEB; Directeur des Ressources non conventionnelles et de la Recharge Artificielle; chai_hab@yahoo.fr

Faycel JLASSI; Chef Arrondissement Ressources en Eau, CRDA Nabeul; faycel_ayma@yahoo.fr

Mohsen MABROUK; Directeur Régional ONAS à Nabeul; nabeul@onas.nat.tn

Mabrouk NEDHIF; Directeur Hygiène du Milieu et Protection de l'Environnement; MSP; Mabrouk.nedhif@rns.tn

Jamel CHALOUF; Chef du service de contrôle des eaux; Min Santé ; Jamel.chalouf@yahoo.fr

M.TRAD RAIS ; Microbiologiste ; INRGREF, Tunis;

Nejib REJEB ; DG. INRGREF, Tunis; rejeb.nejib@iresa.agrinet.tn

2.4 CONTEXTE SOCIO ECONOMIQUE

2.4.1 Adéquation aux finalités déclarées

Pourquoi cette utilisation a-t-elle été choisie et à qui est-elle destinée ?)

Objectifs déclarés :

- (i) prototype de barrage hydraulique contre l'invasion de la nappe par l'eau de mer;
- (ii) expérimentation et recherche sur la REUT, Projet Pilote, avec pour objectif final d'infiltrer une grande partie des EUT de Korba.

2.4.2 Alternatives et niveau d'utilisation des eaux conventionnelles

Eaux conventionnelles surexploitées.

2.4.3 Acceptabilité du dispositif par les utilisateurs

Bonne ; il n'y a pas encore de bénéficiaire déclaré.

2.4.4 Points clés de la réussite du projet

- Mesures d'accompagnement,
Le suivi scientifique n'est pas encore entièrement mis en place; l'entretien des bassins et l'alimentation en eau est très bien assurée.
- Cahier des charges du fournisseur,
Circonstances transitoires : l'ONAS fournit l'EUT au CRDA à titre gracieux et sur la base de protocoles encore informels ; le CRDA facture à la DGRE 20 millimes/m³ rechargé (facturation interne au MARH) ; l'utilisateur final (les agriculteurs), n'ont pas encore clairement ressenti l'impact en termes d'amélioration de la ressource;
- Positionnement de l'utilisateur,
Les agriculteurs organisés en groupement d'utilisateurs (GDA : Groupement de Développement Agricole) ne paraissent pas explicitement associés au projet ;
- Montage institutionnel ;
Le montage institutionnel est correctement élaboré ; il y a un seul opérateur : le CRDA en collaboration avec la DGRE, qui est en convention avec le CERTE pour le suivi scientifique ; il n'existe pas de convention écrite avec l'ONAS ;

2.5 RENDEMENT EPURATOIRE DE LA RECHARGE PAR LES EUT A KORBA

Non encore déterminé, vu l'âge du projet.

2.6 FICHE RECAPITULATIVE DES CARACTERISTIQUES DU SITE

Catégorie	Indicateur	
Objectifs	Production d'eau potable	Non
	Irrigation non restrictive	Oui
	Barrière eau de mer	Oui
	Expérimentation	Oui
Faisabilité	Superficie du site ha	4.4
	Propriété du terrain	Domaines de l'Etat
	proximité groupe d'habitations	200 m
	proximité captage eau potable	puits eau de boisson à 500 m
Procédé	Epannage en surface	Oui
	SAT (Soil Aquifer Treatment)	Oui
	Année mise en service	22-déc-08
Bassins d'infiltration	Nombre	3
	Superficie Moyenne m2	1500 m2
	Superficie Totale m2	4500 m2
	Profondeur m	1.5 m
	Charge moyenne m	0.3 m
	Vitesse filtration m/j	1 m/j
	Charge totale annuelle m	20 m
	Nb jours inondés	6 heures / jour, toute l'année sauf Dim et J.F
	Nb jours à sec	
	Entretien colmatage nj/an	=
	Volume rech. moyen m3/an	400 000 m3/an
	Capacité de rech. du site m3/an	1 000 000 m3/an
Volume total rechargé m3	0.4 Mm3	
Zone Non Saturée	Epaisseur moyenne	12 m
	Nature lithologique	Dune consolidée
	Présence hétérogénéités	intercalation grès moins perméables
	Nj aérobic	n.d
	Nj anaérobic	n.d
Temps de séjour ds la zns	n.d	
Aquifère cible	Nature lithologique	Dune consolidée
	Nappe libre-captive	Libre
	Usage AEP	Non
	Fluctuation du niveau	Stable
	Monitoring nappe	Oui
	Qualité initiale eau	Salinité 3 à 4 g/L
Source d'eau	Temps séjour dsnappe	n.d
	Distance STEP (SE4)	500 m
	Traitement (1,2,3,Av)	3 aire
	Production journalière	7500 m3/j
	Qualité de l'effluent	
Exist.Norm.spécif.rech.	Non	
Rendement épuratoire SAT		n.d
Récupération eau rechargée	Nb.Forages récup.	récupération occasionnelle par puits privés
	Distance du site rech.	200 m
	Vol. pompé m3/an	n.d
	%vol pompé originaire rech	n.d
Participation du public	Réunions	Non
	Brochur; Affiches; Film	Non
	Visites guidées	Non
	Pas d'implication	Oui
Formule Institutionnelle	Maitre d'Ouvrage	Direction Générale des Ressources en Eau
	Administration publique	Oui
	Délimitation Bénéficiaires	Barrage hydraulique; et qq agric, sans délimitation précise
	coût d'exploitn & suivi scientifique	0.2 TD/m3 (# 0.15 \$/m3)
Revenus Vente eau	Néant	
Suivi scientifique	Expérim. préalable	Non
	Suivi du prétraitement	Oui
	Monitoring syst. Rech	Oui
	suivi post traitement	Oui
Information scientifique et technique	Rapp intern (Nb, date)	Etude du site, Rapp. 2004
	Revue scientifique	Non
	Accessibilité web; contact	faycel_ayma@yahoo.fr ; chai_hab@yahoo.fr ; moncefreykaya@yahoo.com

3. Fiche de projet golfs de Hammamet

3.1 CONSISTANCE DU PROJET

Le projet consiste en la récupération des eaux usées traitées de la station d'épuration de Hammamet sud pour l'arrosage de deux cent cinquante ha environ des espaces verts des deux golfs de Citrus et Yasmine dans l'arrière pays. Le dispositif d'épuration principale est constitué par une step sous gestion de l'ONAS. Les eaux au sortir de cette step sont ensuite refoulées par une conduite de treize km vers le site des deux golfs où deux installations respectivement dans l'enceinte des deux terrains achèvent le traitement grâce via un lagunage aéré. Le stockage de l'eau est également assuré par des bassins intégrés dans l'aménagement paysagé global du site propre des deux golfs.





Sur le total des 650 000 m³ consommés à l'année la step de Hammamet sud fournit 550 000 m³ et un résiduel de 100 000 m³ est pompé dans la nappe pour compléter les besoins en eau et éventuellement pratiquer en été une dilution en vue d'un abattement de la teneur en sels (en cours d'analyse)

Une des particularités du système est que sur le plan commercial et administratif, la gestion de la step est sous responsabilité de l'ONAS tandis que le refoulement des eaux traitées et leur désinfection est sous responsabilité des deux golfs. Par ailleurs la mise en place de cette solution d'irrigation est le résultat d'une directive de l'Administration qui au moment de la demande de forage introduite par les responsables des deux terrains de golfs a clairement refusé la surexploitation de la nappe et a préconisé la REUT.

L'acceptabilité du dispositif tant par les gestionnaires et le personnel mais aussi les clients des deux structures ne semble pas poser de problème.

A noter qu'au titre de la lutte contre les odeurs en période estivale et pour l'élimination des dégagements de H₂S, l'ONAS est amené à traiter les eaux de sortie au nitrate de calcium pour réduire la concentration en sulfures. Les dépenses d'exploitation liées à ce surcroît de réactifs est pris en charge par le Ministère du Tourisme, via l'ANAT (Agence National de l'Aménagement Touristique). Ainsi cet ultime partenaire complète un ensemble institutionnel placé sous le signe d'une GIRE véritablement opérationnelle.

3.2 OBJECTIFS DU PROJET

Comme souvent en matière de REUT, à l'objectif principal qui est de sauvegarder le milieu en fournissant une ressource non conventionnelle à un utilisateur, en l'occurrence les golfs, un autre objectif caractérise le projet : en refoulant les eaux usées même traitées depuis les abords du rivage jusque sur les hauteurs et en évitant ce faisant le rejet en mer d'un effluent "limite" pour la bonne santé du milieu balnéaire, le projet participe à la sauvegarde de l'espace marin.

3.3 CRITERES PERTINENTS ET INDICATEURS POUR L'EVALUATION

3.3.1 Volume d'eau concerné

Compte tenu de la variabilité inter mensuelle des besoins en eau des deux golfs, la cession de l'eau usée traitée par l'ONAS prend deux formes différentes : fourniture d'une fraction importante en période hivernale et totale en période estivale, selon la répartition du tableau suivant. Au total la step produit annuellement 1,270 millions de m3 dont 1,150 sont repris par les golfs, soit 90 %.

Volumes en m3/mois	janvier	février	mars	avril	mai	juin
Eau traitée	76 610	70 770	92 960	90 450	103 498	107 002
Eau réutilisée	50 920	38 315	83 465	90 450	103 498	107 002

	juillet	aout	septembre	ocobre	novembre	décembre
Eau traitée	152 898	161 820	122 590	113 860	100 500	76 200
Eau réutilisée	152 898	161 820	119 865	104 170	86 850	51 350

3.3.2 Qualité de l'eau

Le niveau de qualité des eaux recyclées requis est celui d'une irrigation de cultures de type A

Le type de traitement nécessaire en rapport avec le type de réutilisation est donc successivement un dispositif par boues activées sur site de l'ONAS puis sur place (au niveau des bassins de stockage en tête) une désinfection via des bassins de lagunage intégrés au paysage global des terrains de golfs (dans des vallons adaptés à cet effet) dont certains sont équipés d'aérateurs.



3.3.3 Risques sanitaires

Les asperseurs permettant d'irriguer le gazon des golfs ne sont activés que la nuit. Dans le golf Citrus le mécanisme est totalement automatisé, un logiciel calculant en fonction de la pluviométrie, de l'hygrométrie et des besoins du sol les doses d'arrosage nécessaires. Le même protocole est mis en œuvre manuellement sur le golf Yasmine.

Dans les cahiers des charges des niveaux de désinfection à atteindre, il est explicitement fait référence aux normes édictées par la Direction Générale du Génie Rural de janvier 2000 Références aux Directives OMS 2006; et aux directives de l'AFSSA 2008

3.3.4 Risques techniques

La fiabilité du traitement des eaux usées est garantie par le professionnalisme des équipes de l'ONAS au niveau de la step et idem au niveau des golfs pour qui l'enjeu technique et sanitaire est essentiel. De plus on constate une coordination effective entre les services techniques des deux entités.

3.3.5 Risques environnementaux

L'allocation de 100 000 m³/an d'eau souterraine servant à compléter le débit global d'irrigation ne met pas en péril la nappe et se trouve en tout état de cause sous contrôle du Ministère de l'Agriculture et des Ressources Hydrauliques, et plus précisément de la Direction des Eaux non Conventionnelles en charge de la régularisation de ce mode de couplage REUT / prélèvement dans la nappe.

A noter qu'avec l'accroissement des volumes traités par la step dans le cadre de son extension, les volumes alloués aux golfs seront plus importants et que les pompages dans la nappe sont appelés à diminuer significativement, voire même à disparaître.

Par ailleurs le reliquat d'eaux usées traitées qui atteint la mer (cf. bilans en § 3.2.1 ci-dessus) n'affecte pas les conditions balnéaires puisque ce reliquat intervient durant la période hivernale.

3.4 VALEURS FINANCIERE ET ECONOMIQUE DE L'EAU RECYCLEE

Coûts d'investissement et de fonctionnement :

- Investissements : il n'a pas été possible de recueillir les montants d'investissement spécifique step et lagunage aéré
- Fonctionnement : énergie + entretien + gardiennage = 50 000 DT par mois + coûts internes d'irrigation via asperseurs (énergie ...)

Coût d'opportunité y compris valeur saisonnière de l'eau : non évalué

Rappel : impact du projet sur l'emploi ; les deux golfs sont à l'origine de 170 emplois directs.

3.5 INFORMATION SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

3.5.1 Liste des études consultées ou identifiées

ENGREF – OIEAU Synthèse technique – la REUT pour l'irrigation des golfs en France et dans le monde – Exemples, motivations, contraintes sanitaires, techniques et aspects pratiques

3.5.2 Liste des personnes rencontrées sur les golfs

- Nizar Jebali, directeur administratif et financier du golf Citrus
- Mabrouk Nedhif ingénieur général directeur de l'Hygiène du Milieu et de la Protection de l'Environnement
- Jamel Chalouf, ingénieur santé à la direction de l'Hygiène du Milieu et de la Protection de l'Environnement
- Habib Chaieb directeur des eaux non conventionnelles au Ministère de l'Agriculture et des ressources Hydrauliques – Direction Générale des ressources en eau
- Zacharie Mechali chargé de mission AFD Tunis
- Mohamed Néjib Rejeb directeur général, INRGREF
- Madame Trad, chargée de mission REUT INRGREF
- Moncef REKAYA ; Directeur Régional de l'Hydraulique ; CRDA de Nabeul
- Mohsen MABROUK; Directeur Régional ONAS à Nabeul

3.5.3 Diffusion web

Dans les publicités commerciales diffusées sur le web, les méthodes d'irrigation ne sont pas encore mises en avant. Néanmoins les responsables des golfs disent y penser.

3.5.4 Contacts avec des partenaires pratiquant la REUT

Les gestionnaires de Citrus et Yasmine signalent qu'ils sont en collaboration technique et scientifique avec les golfs américains via l'AWWA (American Water Works Association) dans le cadre d'échanges tant au moment de la conception des sites que de l'exploitation.

3.6 CONCLUSION

L'opération d'irrigation de ces deux golfs avec les eaux usées traitées de la step de Hammamet est à considérer comme prometteuse en termes de REUT.

- En effet le premier impact direct qui est d'éviter le rejet en mer des eaux traitées de la step est parfaitement net : l'acheminement des eaux vers les golfs supprime ipso facto l'ancien transit depuis la step jusqu'au rivage et simplifie la surveillance de cet espace balnéaire
- Le deuxième impact est la préservation de la nappe et l'économie d'une prise sur les autres ressources qui auraient du être mobilisées (l'alternative étant en l'espèce un prélèvement sur le canal nord préjudiciable aux autres usages de l'eau dans la zone)
- S'agissant de la relation conventionnelle entre l'ONAS pourvoyeur d'eau épurée et les services techniques des golfs, il apparaît que les dispositifs mis en œuvre permettent une cohérence dans la gestion hydraulique. En effet la sous traitance du pompage entre la step et les golfs confiée par les golfs à l'ONAS fonctionne à la satisfaction des deux parties
- consommateur certes d'énergie le projet constitue néanmoins une solution pertinente.
- S'agissant de la qualité de ce traitement en termes de maintenance, l'obligation commerciale (pour le confort et la sécurité du personnel et des clients directement concernés par l'opération) de respecter les normes est garante de la fiabilité du dispositif.

4. Fiche de projet Clermont Ferrand

4.1 DEFINITION DU PROJET

4.1.1 Localisation et contexte du projet

Le projet consiste en l'irrigation de terres agricoles en Limagne noire sur environ 700 ha à l'aval de la station d'épuration de Clermont Ferrand (France). L'eau utilisée subit en sortie de step municipale un traitement final avant utilisation dans des installations spécifiques dédiées au projet. La justification de cette mobilisation réside dans l'absence d'eau souterraine d'une part et du coût important pour solliciter l'Allier à plus de vingt km du site.

Des circonstances particulières sont à mentionner : une partie des agriculteurs concernés par l'intérêt d'irriguer leurs terres, sont coopérateurs dans une sucrerie, les établissements Bourdon, établie précisément à côté de l'emplacement de la step. Et au titre de la dépollution des effluents en provenance de la sucrerie il existe des bassins de décantation qui fonctionnent durant la phase de production de l'usine. Un plan d'épandage fixe les conditions d'utilisation de ces effluents après transit dans ces lagunes. Ce plan d'épandage est le premier lien "historique" entre les agriculteurs et l'utilisation d'eau non conventionnelle.

Quant il s'est agi de concevoir un traitement tertiaire des eaux usées traitées de la step pour les rendre aptes à l'irrigation, on a très vite pensé à l'opportunité d'utiliser ces bassins en guise de lagunes de maturation. Un simple travail de cloisonnement des bassins suffisait en effet à transformer ces ouvrages. Cette opportunité permettait ainsi une économie substantielle pour assurer la phase finale du traitement des EU, non prévue aux objectifs de qualité initiaux de la step. Le point est important à mentionner car il illustre le bon sens et l'adaptation pratique aux conditions locales des porteurs du projet, en dehors de toute considération de GIRE

<< Terre privilégiée pour les céréales et les betteraves sucrières, la Limagne noire est engagée dans des productions contractualisées de grande qualité. 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 >> peut on lire dans la brochure de présentation de l'opération édité par le maître d'ouvrage. Ces attendus résumant bien le contexte de la vision pragmatique de cette mise en valeur.

4.1.2 Historique

Le dispositif actuel résulte donc d'une histoire complexe qui à elle seule illustre les objectifs principaux et secondaires du projet et l'ensemble des dispositions prises pour arriver aux résultats

- 1976 : été très sec : premières réflexions entre voisins agriculteurs sur l'opportunité d'une mise à l'irrigation.
- 1987 – 1989 : Étude de faisabilité du projet .par la SOMIVAL
- 1989 – 1992 : Examen à différents niveaux et avis. Un premier avis négatif du CSHPF a été suivi d'un deuxième, favorable, en 1992, assorti de prescriptions rigoureuses.
- 1992 : formation d'une l'Association Syndicale Libre, en préfiguration de l'ASA de Limagne Noire.
- 1993 – 1995 : Mise au point et procédures administratives (enquête publique en 1995).
- 1996-1997 : Cloisonnement des premiers bassins de la sucrerie Bourdon et projet pilote sur 50 ha.

- 1997 Début de l'étude épidémiologique menée par l'OBRESA pour déterminer les effets éventuels de l'irrigation avec des EUT. Conclusion de l'effet non nocif.
- 1998 : mise en service sur 580 ha.
- 1999 : mise en service sur 700 ha.

4.1.3 L'étude épidémiologique de démarrage du projet

Le frein de base à la mise en place du projet a été l'aspect sanitaire lié à l'origine des eaux d'irrigation. C'est la raison pour laquelle l'OBRESA, Observatoire de la santé d'Auvergne, a conduit durant trois ans un suivi épidémiologique sur les huit communes où sont établies les zones d'irrigation. L'objectif était de vérifier l'efficacité du système de santé sur le personnel des parcelles (particulièrement les personnes affectées à la castration des maïs) et sur la population avoisinante.

Le suivi s'est appuyé sur deux réseaux sentinelles (15 médecins et 7 pharmaciens) et le recueil et le traitement hebdomadaire de leurs observations durant la campagne d'irrigation. Après l'établissement de l'état de santé de base de la population, il a été possible de déterminer des seuils d'alerte et donc d'établir les conditions d'apparition d'un phénomène épidémique éventuel.

Les résultats ont conclu qu'aucun événement particulier n'a été observé durant les trois années de l'étude. La seule conclusion restrictive a été de recommander à l'issue de cette procédure, de supprimer la castration manuelle du maïs au profit de techniques mécaniques

4.1.4 Volume disponible d'EUT

Volume journalier disponible au niveau de la step : 50 000 m³/j

Volume journalier maximum en période d'irrigation réutilisé : 25 000 m³/j

Période d'épandage des effluents décantés de la sucrerie : avril – mai. Volume annuel de l'ordre de 200 000 m³/an

Période d'irrigation avec les EUT : juin à septembre. Volume annuel moyen de l'ordre de 800 000 m³/an, avec une fourchette comprise entre 300 000 m³ (année humide) et 2 000 000 m³ (canicule 2003).

Dose annuelle comprise entre 100 et 140 mm.

4.1.5 Perspectives d'évolution

- En matière de superficie irriguée, la perspective envisagée est un maintien global, avec toutefois des évolutions notables de la répartition des débits sur les différentes branches, en fonction des modifications d'assolement sur les exploitations, ce qui est susceptible de poser des problèmes hydrauliques.
- En matière de désinfection des EUT traitées, la poursuite du lagunage, est conditionné par le maintien par la sucrerie de sa maîtrise foncière sur la zone, ce qui pourrait s'avérer problématique sur ce secteur convoité situé aux portes de l'agglomération clermontoise.
- Pour parer à cette éventualité, une solution plus compacte par traitement UV a fait l'objet d'une étude préalable.
- Dans cette dernière hypothèse, une étude d'avant projet validant le bien fondé de cette filière sera à programmer.

4.2 CARACTERISTIQUES TECHNIQUES

4.2.1 Épuration

La station, mise en service en 2005 fonctionne en boues activées faible charge. Elle inclut dénitrification et déphosphoration.

Les boues sont déshydratées et envoyées au Centre d'Enfouissement.

4.2.2 Les dispositifs propres au mode de REUT : désignation des ouvrages, dimensionnements

Lagunes de finition propres au projet de REUT : Surface totale 13 ha répartis en six bassins de profondeur comprise entre 5,5 et 1,5 m ; volume disponible cumulé : 300 000 m³

Temps de séjour minimal dans les lagunes de 13 jours, assurant un niveau inférieur à 1 œuf d'helminthe parasite/l et un abattement bactérien de 3 log (de 10⁶/l en sortie de step à 10³/l en moyenne en sortie de lagunes.)

Station de pompage : Q max 1500 m³/h pression départ 17 bar.

Réseau de 60 km de linéaire total, de diamètre 500 mm à 75 mm ; 150 vannes équipées de compteurs.

Superficie équipée de 1500 ha dont 700 irrigués chaque année.

Arrosage par enrouleurs, pression inférieure à 5 bars au canon.

L'appareil à pendillard initialement prévu pour arroser le bord des routes n'est plus utilisé.

4.3 ORGANISATION ET MAINTENANCES

4.3.1 Identification des opérateurs

La step est sous maîtrise d'ouvrage de Clermont Communauté qui en a délégué la gestion à un opérateur privé

Maîtrise d'ouvrage de l'aval (traitement tertiaire et irrigation) : ASA de Limagne noire.

Ingénierie, maîtrise d'œuvre, assistance à la gestion administrative : SOMIVAL, société d'aménagement régional.

Maintenance et télésurveillance électromécanique assurée par société sous-traitante.

Police de l'eau assurée par les adhérents de l'ASA.

Comité de pilotage : DDASS, DDAF, DRIRE, OBRESA, sucrerie Bourdon, ASA de Limagne, Clermont Communauté.

Particularités propres au mode de valorisation

Cultures pratiquées : maïs semence, autres spécialités de maïs grain à sucrer (amidonnerie...), betterave sucrière, pomme de terre.

Présence de structures coopératives de valorisation de la production agricole : société LIMAGRAIN et sucrerie de Bourdon.

4.4 DONNEES ECONOMIQUES ET FINANCIERES

4.4.1 Montant de tous les investissements

Le montant total des investissements mis en œuvre, non compris les investissements relatifs à la step, s'élève à 5,3 millions d'euros selon le sous détail ci dessous

	(millions d'euros HT)
Infrastructures (aménagement des lagunes, pompage et réseau d'irrigation)	4,6
Matériel mobile d'arrosage	0,5
Budget « communication »	0,05
Etude épidémiologique	0,15
TOTAL	5,3

4.4.2 Plan de financement

Le montage financier relatif aux installations d'irrigation a fait appel à plusieurs contributions

	Pourcentage de participation
ASA de Limagne Noire	34,6 %
Financement européen LIFE	14,3 %
Etat (agriculture+ aménagement du territoire)	17,4 %
CG63	13,4 %
Agence de l'eau LB	13,4 %
Sucrerie de Bourdon	6,3 %
Divers (Chambre d'Agriculture, Crédit agricole, Domagri, FDCSlait, Limagrain, SIEAC)	0,6 %
TOTAL	100 %

Le plan de financement est atypique par rapport à celui des autres périmètres irrigués étudiés par SOMIVAL :

- Le total des subventions atteint 65,4% du total, contre un peu de moins de 60 % sur les autres périmètres à cette époque, et moins de 50% dans les conditions économiques actuelles.
- Les financements « environnementaux » (LIFE et Agence de l'eau) représentent 27,7% du total.
- La participation de la sucrerie de Bourdon résulte de son intérêt économique au projet : contre la mise à disposition saisonnière de ses bassins, elle bénéficie de l'épandage de ses eaux usées, en substitution de leur rejet après maturation dans le réseau d'assainissement, ce qui lui permettait de ne plus payer de taxe d'assainissement (350 000 F/an en 1995).

4.4.3 Politique tarifaire

L'investissement initial représentait environ 1800 euros/ha.

Chaque borne est équipée d'un compteur. Le débit souscrit est de 2 m³/ha.

La tarification est binôme, avec une redevance/ha à laquelle s'ajoute un prix/m³.

Prix de l'eau : 0,2 à 0,3 €/m³.

4.5 SUIVIS

- Suivi de la qualité des eaux de la step : protocole habituel d'autocontrôle par le gestionnaire.
- Suivi sanitaire lors de la phase pilote : Un suivi sanitaire important a été réalisé de 1996 à 1999, comportant l'embauche par l'OBRESA (Observatoire régional de la santé) d'une thésarde à plein temps pendant 4 ans ; 15 000 personnes vivant aux abords du site ont été prises en compte dans le cadre de ce travail, avec une attention particulière pour les agriculteurs et les saisonniers travaillant à la castration des maïs. Le travail s'est également appuyé sur les observations d'un réseau de médecins et pharmaciens « sentinelle ».

4.6 PERSONNES RENCONTREES

- Christian Liabeuf président de l'ASA Limagne Noire
- Michel Saintemartine, chargé d'affaires SOMIVAL
- Chef de station de la step de Clermont Ferrand
- Madame Surel et M. Petit, DDAS Puy de Dôme
- Clermont Communauté

4.7 DOCUMENTS SPECIFIQUES CONSULTES

- Limagne noire ou comment l'irrigation recycle les eaux urbaines clermontoises
- Projet d'arrêté du 10 novembre 2009 relatif à l'utilisation d'eaux issues du traitement d'épuration des eaux résiduaires urbaines pour l'irrigation de cultures ou d'espaces verts
- Afsset : avis relatif à l'utilisation d'eaux issues du traitement d'épuration des eaux résiduaires urbaines pour l'irrigation de cultures ou d'espaces verts – saisine n° DGS 090029 – 8 octobre 2009
- Le programme européen LIFE Environnement – présentation de 112 projets français – mai 2007
- Arrêté préfectoral autorisant l'utilisation d'eaux résiduaires urbaines à des fins d'irrigation par l'Association syndicale autorisée de Limagne noire et la vidange des lagunes de la sucrerie de Bourdon en milieu naturel, en fin de campagne d'irrigation – 19 avril 2007

4.8 CONCLUSION

L'opération de valorisation agricole de Clermont Ferrand est intéressante parce qu'elle illustre la dimension humaine particulière de cette mise en valeur. Sans la pugnacité du président de l'ASA, sans aussi le contexte particulier des installations existantes de la sucrerie et sans la motivation de tous les acteurs impliqués, le projet n'aurait peut être pas vu le jour.

L'expérience, réussie en termes techniques et financiers, vient rappeler que la GIRE ne fait pas tout en matière de programmation et d'initiative Les enseignements du projet concernent donc non seulement les méthodes de traitement / épuration, les voies et moyens pour conduire le cheminement administratif et réglementaire des dossiers, les aspects culturels de l'acceptation de la réutilisation d'eaux d'origine humaine mais également la volonté d'un porteur de projet motivé par les enjeux économiques de l'activité professionnelle d'un groupe de cultivateurs.

5. Fiche de projet Ouagadougou

5.1 DEFINITION DU PROJET

5.1.1 Localisation

Le périmètre de maraîchage irrigué avec des EUT de Ouagadougou se situe au nord est de l'agglomération, dans le quartier de Kossodo, en aval immédiat de la station de traitement des eaux par lagunage.

Il couvre 10 ha ; une réserve foncière supplémentaire de 20 ha, actuellement cultivée en pluvial, le jouxte.

5.1.2 Historique

5.1.2.1 Historique de l'assainissement à Ouagadougou

La mise en place du PSAO (Plan Stratégique d'Assainissement de la ville de Ouagadougou) concerne deux phases :

Phase 1 : 1999-2010

La phase 1 du PSAO porte sur l'assainissement de la partie centrale de la ville, les quartiers administratif et universitaire et les principaux gros pollueurs presque tous localisés dans la zone industrielle de Kossodo au nord est de la ville. Il est conçu pour collecter et traiter environ 5 300 m³ d'effluents domestiques et industriels ;

Le reste du territoire de la ville demeure couvert par l'assainissement individuel autonome, selon une typologie comprenant notamment les latrines traditionnelles, les latrines traditionnelles réhabilitées, les latrines à fosse s étanches, les systèmes à doubles fosses, les systèmes à fosses sceptiques « toutes eaux ».

Les dates repère de mise en œuvre de la phase 1 sont les suivantes :

1997	Acquisition des terrains pour la step (20ha, phase 1 + réservation pour la phase 2.
1999 - 2001	APD du système d'assainissement
2002	Demande de financement pour le renforcement du laboratoire « eaux usées » de l'ONEA
2003 - 2004	Etudes préalables du périmètre de REUT
2005	Mise en service de la station de traitement ?
2005	Maîtrise d'œuvre du périmètre de REUT
2006-2007	Mise en service du périmètre de REUT
2008	Mission d'appui et de conseil auprès des exploitants du périmètre de REUT (ONEA)
2009	Plan de Gestion Environnemental et Social : Actualisation du plan de contrôle des rejets phase 1

Phase 2 : 2008→

Les dates repère de cette phase sont les suivantes :

2007 - 2008	Etude de faisabilité
2009	Révision de l'Etude de faisabilité (diminution du périmètre suite à une réévaluation des coûts)

5.1.2.2 Le maraîchage urbain à Ouagadougou

Le développement du maraîchage urbain à Ouagadougou remonte à l'époque coloniale, notamment au cours des années 1920-30 sous l'impulsion des prêtres catholiques. Un double objectif était poursuivi : approvisionner les populations, principalement d'origine européenne, en produits frais, et développer l'agriculture locale.

Cette production était initialement concentrée autour des barrages situés dans le périmètre urbain.

La réutilisation, informelle ou organisée des eaux usées brutes ou traitées s'est développée parallèlement à l'apparition de cette nouvelle ressource, suite à la création d'usines et à la mise en place progressive d'un réseau d'assainissement.

En 2001, la superficie totale de maraîchage urbain était estimée entre 40 et 50 ha en saison d'extension maximale, répartie selon la typologie suivante :

- Le long des grands collecteurs d'eaux pluviales,
- Autour des barrages,
- En aval de step antérieures au lagunage de phase I du PSAO, et non fonctionnelles,
- Autour de mares plus ou moins temporaires

A cette date, les sites de production étaient les suivants :

- Boulmiougou : agriculteurs organisés en coopérative,
- Tanghin (autour du barrage n°2, côté nord) : agriculteurs organisés en association mixte,
- Canal central – hôpital – Barrage n°3 : producteurs non organisés,
- Aval de l'abattoir : demande de récépissé de reconnaissance d'organisation en cours,
- Aval de la brasserie : producteurs non organisés,
- Aval de la tannerie : idem.

5.1.2.3 Le « Plan de contrôle des rejets »

Suite aux travaux de phase 1 du PSAO, les terres et/ou la ressource en eau utilisées sur le site du canal central et ceux situés en aval des industries se sont trouvées indisponibles.

Un « plan de contrôle des rejets en aval de la station d'épuration » a été mené en parallèle du PSAO. Il aborde les points suivants :

- Procédure de bornage, morcellement réquisition et attribution des parcelles,
- Aménagement de la zone de projet,
- Information et prévention des riverains,
- Information et prévention auprès des maraîchers,
- Organisation pour la gestion de la ressource,
- Suivi sanitaire.

Le plan prévoyait initialement la mise en place d'un comité de gestion coordonné par la mairie annexe de Nongremasson et regroupant les partenaires du projet : ONEA, organisation des exploitants, structure de santé et éducation sanitaire, ministères de la santé et de l'agriculture, organisations internationales.

Les 330 producteurs installés sur les 11,4 ha actuellement équipés de nouveau périmètre mis en place par l'ONEA en aval du lagunage proviennent notamment de ces emplacements. Ils ont fait l'objet d'une sélection préalable, en fonction notamment des répercussions du PSAO sur leur activité antérieure. Cette opération s'est déroulée en 2006-2007, après une phase d'arbitrage entre les différents ayant droits (utilisateurs antérieurs de droit coutumier, personnes déplacées suite au PSAO, déménagement d'autres sites de maraîchage, réattribution des parcelles d'attributaires absentéistes...)

Ils sont organisés en groupement (« Groupement de Exploitants du périmètre de la station d'épuration de Kossodo »). La structure a été dotée d'un cahier des charges fixant les droits et obligations des adhérents, de statuts et d'un règlement intérieur.

Par ailleurs, en aval du périmètre mis en place, d'autres agriculteurs, non organisés, utilisent à la fois le surplus d'EUT, notamment la nuit et des eaux usées brutes, dont le volume a augmenté en 2009 suite à des actes de vandalisme ayant endommagé à plusieurs reprises les postes de relèvement du collecteur principal d'EU.

Pour l'avenir, des interrogations se font jour sur l'évolution de ces pratiques de maraîchage urbain et sa compatibilité avec la densification de l'habitat.

5.1.3 Objectifs poursuivis

Le projet d'assainissement collectif de la ville de Ouagadougou s'inscrit dans le contexte de la mise en œuvre du Plan Stratégique d'Assainissement de Ouagadougou (PSAO) et du Projet d'Amélioration des Conditions de Vie Urbaines (PACVU).

Il constitue l'un des trois volets majeurs du PSAO en plus de l'assainissement autonome et de l'assainissement scolaire et a pour but l'amélioration du cadre de vie des citoyens en préservant leur santé et en protégeant l'environnement à travers une gestion centralisée des eaux usées et excréta de la ville de Ouagadougou.

Dans ce cadre général, la mise en place du périmètre de REUT intégré à la 1^{ère} phase du PSAO fait figure en premier lieu de mesure d'accompagnement au projet, permettant notamment l'installation de producteurs impactés par le projet d'assainissement.

L'objectif est également de contribuer à améliorer les pratiques d'irrigation préexistantes en évitant la réutilisation à l'état brut d'environ 5 300 m³/j d'effluents industriels et domestiques.

Il convient de noter également la présence d'un environnement institutionnel favorable :

- Tissu enseignement – recherche particulièrement dense (2EI(ex EIER), CREPA, université...),
- Présence de nombreux bailleurs de fonds et ONG.

5.1.4 Effets indirects du projet

La conception du projet et le contexte dans lequel il s'est développé permettent d'identifier les principaux effets attendus :

- La protection du milieu naturel en contrôlant les écoulements liquides des zones urbaines et industrielles
- La diminution des risques sanitaires, donc un meilleur confort de vie pour les populations locales
- La valorisation des eaux traitées par un maraîchage de qualité
- L'accroissement du revenu pour les maraîchers
- La création d'emplois, surtout pour les femmes

5.1.5 Contexte des ressources en eau et de la GIRE dans la région

Pays en voie de développement, la situation économique du Burkina Faso s'explique en partie par la faiblesse des ressources naturelles et de leur prix sur le marché mondial, l'aridité des sols et la démographie. En effet l'économie du pays est fortement dominée par l'agriculture, l'élevage et la foresterie qui sont trois secteurs mobilisant près de 85% de la population et produisant près de 2/3 des richesses nationales. Les conditions climatiques adverses (sécheresse récurrente et inondation), l'enclavement du pays, la faible productivité de l'agriculture, la dégradation des sols et des ressources en eau (causée par la rareté et la mauvaise répartition des pluies qui font que la pénurie d'eau est quasi permanente), constituent la cause de la grande pauvreté en général et de l'insécurité alimentaire sévère des populations rurales en particulier.

Au Burkina Faso cette concentration de la population dans les grandes villes est également la cause de graves problèmes environnementaux en l'occurrence les problèmes de pollution et d'assainissement. L'air est de moins en moins sain à Ouagadougou et Bobo Dioulasso, causé par les émissions de gaz produites par le parc auto en raison de sa vétusté et du manque d'entretien auquel s'ajoutent la mauvaise qualité et le mauvais choix du carburant selon le rapport 2004 sur l'état de l'environnement. A côté de la pollution atmosphérique, le problème de gestion des déchets solides et liquides se pose, accentué par le phénomène de modernisation qui induit une forte utilisation d'eau, à l'origine de l'augmentation de la consommation urbaine d'eau, toute chose qui concourt à un important rejet de déchets liquides.

Cet état de pauvreté dans les grandes villes couplé à d'autres facteurs que sont les problèmes d'assainissement et le manque d'eau, font que les populations défavorisées qui pour une question de survie utilisent les eaux usées dans les activités de production telles que l'agriculture urbaine (le maraîchage, l'arboriculture, l'horticulture), l'entretien du bétail et la confection de briques. L'assainissement au Burkina Faso présente donc de grands risques environnementaux et de santé pour la population ; ce qui exige qu'on l'améliore dans l'intérêt du développement.

Avec une population dépassant le million d'habitants, l'agglomération de Ouagadougou connaît un développement urbain soutenu qui suscite des besoins importants d'amélioration et extension des infrastructures et services.

L'alimentation en eau potable constitue un des secteurs clés dans la stratégie du gouvernement et de la municipalité comme facteur de développement social et de réduction de la pauvreté.

Le Plan d'Action pour la Gestion Intégrée des Ressources en Eau au Burkina est mis en place depuis 2003 et comprend 8 domaines d'action qui se décomposent en 2 phases : 2003-2008 et 2009-2015.

Le Programme National d'Approvisionnement en Eau Potable et Assainissement PN-AEPA a pour objectif de réduire de moitié d'ici 2015 la proportion des personnes n'ayant pas un accès adéquat à l'eau potable et à l'assainissement.

La quasi totalité des eaux provient des eaux de pluie drainées en surface par les 4 bassins hydrographiques ou s'infiltrent dans les aquifères du socle cristallin et du sédimentaire.

Un effort important a été engagé avec l'appui de la communauté internationale pour développer l'accès à l'eau potable pour tous et atteindre les objectifs de développement du millénaire. La construction du barrage de ZIGA à une quarantaine de km au nord-est de l'agglomération devrait permettre d'assurer l'approvisionnement en eau potable au moins jusqu'à l'horizon 2025. La mise en service en 2005 d'une première tranche du système de production – adduction pour une capacité de production nominale de 60 000 m³/jour et l'exécution de travaux de renforcement et extension du système de distribution ont entraîné une amélioration significative de la desserte et des conditions de service.

Un programme de promotion massive de nouveaux branchements lancé en 2006 vise à étendre rapidement la desserte par branchements particuliers en relation avec les Objectifs de Développement du Millénaire (ODM).

Dans le cadre des ODM il est prévu d'atteindre dès 2015 une couverture du service de 95% (contre 87% en 2005) dont 75% à travers les branchements particuliers (contre 41% en 2005).

La prise en compte de ces objectifs implique de prévoir d'ores et déjà la programmation des futures étapes du système ZIGA ainsi que l'aménagement du système de distribution en cohérence avec les perspectives de développement urbain et socioéconomique.

5.1.6 Volume disponible d'EUT

5.1.6.1 Données du projet actuellement en service (phase 1)

Le dispositif d'assainissement collectif de la ville de Ouagadougou actuellement en service correspond à la première phase de réalisation du PSAO, tel que précisé par l'étude d'APD « phase 1 » de 1999-2001.

Le volume d'effluent attendu pour cette première phase est de 5300 m³/j pour 3 500 kg/j de DBO5 à l'horizon 2010, répartis comme suit :

- 3 400 m³/j apportés par 3 industriels de la zone de Kossodo, représentant 66% des volumes à traiter et 72 % de la charge organique, compte tenu des prétraitements effectués sur les sites industriels.
- 1 900 m³/j d'effluents de type domestique, représentant 34 % du volume et 28% de la charge organique et comprenant pour 610 m³/j des gros consommateurs (notamment les grands hôtels, l'hôpital, le marché), ainsi que pour 1290 m³/j un nombre limité de raccordements domestiques.
- Un volume de quelques dizaines de m³/j de dépotage de fosses étanches.

Il est à noter que sur la base du ratio de 40 g DBO5/hab./j figurant à l'APD, la pollution de type domestique raccordée au traitement par lagunage à l'horizon 2010 correspond à 24 500 EH, soit environ 2% de la population de la ville.

A la date de l'étude d'APD (2000), les 3 industriels représentaient 75 % du volume et 90% de la charge, en raison de l'échelonnement du raccordement des particuliers.

5.1.6.2 Situation à la date de la visite (janvier 2010)

A la date de la visite (janvier 2010), le volume effectivement disponible d'EUT est cependant inférieur au volume de projet, pour au moins 3 raisons :

Un des 3 industriels concernés, la tannerie, n'est pas encore raccordé, son système de prétraitement (notamment l'élimination du chrome de tannage) n'étant pas encore considéré comme suffisamment fiable par les responsables de l'ONEA. Ce rejet représente un débit de 800 m³/j.

-Le coût de l'eau étant relativement élevé, les autres industriels (abattoir et surtout brasserie) mettent en œuvre des mesures d'économie d'eau internes à l'usine.

-Tous les branchements prévus dans cette première phase ne sont pas encore effectués, mais seulement environ 80 % d'entre eux.

Les dernières évaluations disponibles, sur la base semble-t-il de compteurs horaires de pompes, seraient comprises entre 2000 et 3000 m³/j.

Par ailleurs, 3 postes de relèvement équipent le réseau primaire d'adduction. Ils ont récemment été l'objet de plusieurs actes de vandalisme (vol des tableaux électriques...) ayant entraîné des ruptures d'approvisionnement de la station de lagunage, et les protestations des agriculteurs utilisateurs. Ces déprédations empêchent également actuellement l'évaluation des volumes traités, les compteurs horaires étant installés sur les tableaux électriques dérobés.

Cette problématique de dégradations volontaires influe à la fois sur la quantité d'effluents traités, l'hygiène générale de la zone, et les volumes disponibles pour l'irrigation, à savoir :

- Les volumes d'EUT à disposition du groupement des producteurs de Kossodo,
- Les volumes d'eau brute récupérés hors cadre institutionnel par les agriculteurs précaires situés plus en aval.

Certains agriculteurs de la 1ère catégorie n'excluent pas un rôle des seconds dans les dégradations constatées sur le PR, situation qui avantagent ces derniers en termes de volume d'eau disponible.

Enfin il semblerait qu'aucun déversement de fosse étanche ne soit réalisé dans les lagunes de tête, contrairement à ce qui avait été envisagé dans le cadre de l'APD.

5.1.6.3 Prévisions de phase 2

La phase 2 porte sur 5400 m³/j supplémentaires, avec une mise en service prévisionnelle actuellement envisagée fin 2011.

Cette phase porte sur un linéaire de réseaux supplémentaires, une augmentation de la surface de lagunage et une unité de traitement des matières de vidange, mais pas d'aménagements agricoles supplémentaires.

Cependant, une réserve foncière non aménagée de 20 ha, juxtaposée au périmètre équipé, est disponible.

5.1.7 Mesures d'accompagnement

On peut observer en préalable que le projet de REUT réalisé dans le cadre du PSAO en constitue déjà lui-même une mesure d'accompagnement.

Par ailleurs, la maîtrise d'œuvre du projet de REUT comprenait une étape 4 qui consistait à l'installation, la sensibilisation et à l'encadrement des exploitants pour la mise en valeur du périmètre aménagé.

Afin de consolider les acquis de cette phase, l'ONEA a prolongé en 2008 pendant plusieurs mois cette mission d'appui conseil, avec l'intervention d'un sociologue et d'un agroformateur. Ces interventions ont notamment porté sur les points suivants :

- Appui au montage d'un groupement d'exploitants au statut juridique reconnu, représentatif de l'ensemble des exploitants et opérationnel,
- Information sur le statut juridique d'occupation des parcelles et les droits et devoirs des exploitants,
- Formation à la gestion rationnelle de l'eau et aux techniques culturales, à l'entretien et à la maintenance des ouvrages, aux consignes de sécurité et d'hygiène.

Un effort certain a donc été consenti pour les mesures d'accompagnement du projet. Il semblerait malgré tout que les études préliminaires aurait été insuffisantes sur le plan socio-économique, notamment par rapport à la capacité technique des exploitant et à la pédologie du site.

5.1.8 Perspectives d'évolution

La première phase du PSAO, portant sur un volume journalier de 5300 m³/j, comprenait donc la création d'un périmètre de REUT de 11,4 ha.

Il n'en sera pas de même de la seconde, qui porte sur 5400 m³/j : la mise à l'irrigation d'une tranche supplémentaire de la réserve foncière disponible n'est actuellement pas programmée.

L'ONEA ne souhaite en effet pas généraliser, sous sa propre responsabilité, la démarche menée à bien pour la 1^{ère} phase. La raison pourrait se résumer par la devise « à chacun son métier ».

L'extension du périmètre est donc conditionnée aux paramètres suivants :

- Susciter un maître d'ouvrage. A priori, la commune ou le Ministère de l'agriculture pourraient apparaître comme les possibilités institutionnellement les plus logiques.
- Vérifier les aptitudes agronomiques des sols de la réserve foncière.
- Assurer après la mise en service un appui agronomique de durée suffisante. Une baisse des rendements entre 2008 et 2009 a en effet été mentionnée par les exploitants, dont la cause précise devra être identifiée (manque d'eaux périodiques suite aux actes de vandalisme sur les Postes de Relèvement ? début de salinisation des sols ? fumures ou pratiques agronomiques inadéquates ?).

5.2 CARACTERISTIQUES TECHNIQUES

5.2.1 Épuration : process, qualité des eaux en sortie

5.2.1.1 Process ; objectifs de traitement

Une étude de validation avait préalablement vérifié la faisabilité d'un système de lagunage avec lagunes anaérobies en tête sur le site prévu, avec des critères de rejet autorisant une utilisation des effluents de la station pour l'irrigation restrictive ($CF < 1000/100\text{ml}$, $DBO_5 < 100 \text{ mg/l}$), ce qui amène à une contrainte de 10 ha de plan d'eau.

Cette option a été retenue, l'objectif de qualité en sortie de traitement étant finalement fixé à : $DBO_5 < 50 \text{ mg/l}$; Coliformes fécaux $< 1000/100 \text{ ml}$.

Le calcul de dimensionnement est effectué pour la période la plus froide ($T^\circ \text{ eau} = 20^\circ \text{C}$), sur la base du World Bank Technical Paper, des travaux de Mara et de l'expérience du BE.

L'ouvrage comprend 5 étages en série :

- Etage anaérobie : 3 bassins en parallèle ; dimensions unitaires $L=100\text{m}$; $l=30\text{m}$; $P=4\text{m}$; surface totale de plan d'eau 0,9 ha ; volume utile 36 000 m³ ; temps de séjour pour débit de projet = 6,8j.
- Etage aérobie facultatif : 2 bassins en parallèle ; dimensions unitaires $L=285\text{m}$; $l=100\text{m}$; $P=1,8\text{m}$; surface totale de plan d'eau 5,7 ha ; volume utile 102 600 m³ ; temps de séjour pour débit de projet = 19,3j
- Etage maturation1 : 1 bassin ; dimensions $L=200\text{m}$; $l=65\text{m}$; $P=1,8\text{m}$; Surface de plan d'eau 1,3 ha ; volume utile 23 400 m³ ; temps de séjour pour débit de projet = 4,4 j.
- Etage maturation2 : 1 bassin ; dimensions $L=145\text{m}$; $l=50\text{m}$; $P=1,8\text{m}$; Surface de plan d'eau 0,7 ha ; volume utile 13 050 m³ ; temps de séjour pour débit de projet = 2,5 j.
- Etage maturation3 identique au précédent.

Soit un total de 10 ha de bassins, un volume stocké de 180 000 m³ et un temps de séjour pour le débit de projet de 35j. L'emprise totale est de 20ha, afin de permettre la construction ultérieure d'une 2^{ème} tranche (terrains acquis en 1997).

Par ailleurs :

- Les ratios de consommation unitaire d'eau potable retenus sont de 85l/hab./j en 2005 et 90 en 2010. ratios auxquels est appliqué un coefficient minorateur de 0,8 pour le volume moyen des rejets.
- Le débit journalier prévisionnel est 5300 m³/j, pour 3500 kg DBO₅/j, dont 75% de pollution industrielle (brasserie, abattoir, tannerie essentiellement, complétée par grands hôtels, hôpital, marché, BCEAO), prenant en compte un prétraitement des effluents industriels écrétant la DBO₅ à 700 mg/l.

5.2.1.2 Qualité des eaux en sortie

RESULTATS D'ANALYSES

Les éléments suivants sont calculés à partir des prélèvements ponctuels effectués par l'ONEA

Charge organique

Moyennes de valeurs en entrée de lagunage :

	2006	2007
DCO non filtré (mg/l)	2 313	2 561
DCO filtré (mg/l)	1 430	
DBO5 non filtré (mg/l)	1 015	548
MEST (mg/l)	361	535

Moyennes de valeurs en sortie de lagunage :

	2006	2007
DCO filtré (mg/l)	113	123
DBO5 non filtré (mg/l)	132	148
DBO5 filtré (mg/l)	46	32
MEST (mg/l)	110	111

Abattement de la charge organique (période de janvier 2006 à mars 2007)

	DCO mini (mg/l)	DCO maxi (mg/l)	Moyenne (mg/l)
Entrée lagunage (effluent non filtré)	1 162	3 152	2 122
Sortie lagunage (effluent filtré)	59	677	149
Abattement %			93 %

A noter que les analyses de DBO5 et DCO en sortie de lagunage doivent être effectuées sur effluent filtré pour s'affranchir de la charge organique liée aux algues.

Dans son fonctionnement actuel, le lagunage présente un abattement important, même si 13 prélèvements sur 39 au cours de la période investiguée ne respectaient pas la norme de rejet dans les eaux superficielles (150 mg/l DCO).

Qualité bactériologique

Moyennes de valeurs en sortie de lagunage :

	2006	2007
Coliformes fécaux (/100ml)	132	170

Abattement de la charge bactériologique (période de janvier 2006 à mars 2007)

	CF mini (u/100ml)	CF maxi (u/100ml)	CF moyenne (u/100 ml)
Entrée lagunage	2 10 ⁶	14 10 ⁸	2 10 ⁸
Sortie lagunage	20	930	270
Abattement (unités log)			#6

Ces résultats respectent le niveau de rejet bactériologique fixé par les directives OMS de 1988 (rapport d'Engelberg) pour une irrigation non restrictive.

Il convient de rappeler cependant que ces résultats sont obtenus avec un volume d'effluent inférieur d'au moins 50% au volume de projet. Le temps de séjour effectif a été évalué en 2007 à 80 jours par le BCEOM, au lieu des 35 jours projetés.

Pouvoir fertilisant

Il ressort d'un premier examen des résultats fournis par l'ONEA les éléments suivants :

- Azote Kjeldahl : teneurs de l'ordre de 10 à 50 mg/l, soit 100 à 500 kg d'azote pour une lame d'eau annuelle de 10 000 m³/ha/an : cet apport peut constituer un complément de fertilisation.
- Acide phosphorique : les teneurs sont faibles, moins de 10 mg/l PO₄ soit #3 mg/l P : l'apport fertilisant est négligeable en cet élément
- Potassium : teneurs très variables : quelques dizaines à plusieurs centaines de mg/l, ce qui peut constituer des apports excessifs susceptibles de déséquilibrer à terme la capacité d'échange de sols.

Éléments minéraux indésirables

Prélevée dans un milieu naturel granitique, l'eau potable distribuée à Ouagadougou est très peu minéralisée (Conductivité 25°C sur prélèvement ponctuel du 14/01/2010 à l'hôtel « indépendance » = 77 µS.cm)

La charge en sels des eaux usées en entrée de traitement est supérieure, du fait de l'activité domestique et surtout industrielle.

Elle augmente également le plus souvent en cours du traitement, par concentration, du fait de l'évaporation dans les bassins de lagunage.

Un résultat ponctuel d'une stagiaire ONEA 2008-2009 donne les résultats suivants :

	Sodium (Na ⁺)	Calcium (Ca ⁺⁺)	Magnésium (Mg ⁺⁺)	Potassium (K ⁺)	SAR(sodium adsorption ratio)
mg/l	736	34	23.13	584	
me/l	18,9	1,7	1,9	14,9	14,1

On constate une minéralisation dominée par le sodium, ce qui est nuisible à terme à la stabilité et à la productivité des sols.

La conductivité attendue de cet échantillon ponctuel (8 à 12 fois la somme des cations en me, soit 3 à 4 *S.cm) est cependant environ 2 fois supérieure aux résultats moyens résultant du suivi hebdomadaire de l'ONEA. (1,56 mS.cm en 2006 et 1,61 mS.cm en 2007). La représentativité de cet échantillon reste donc à confirmer.

La tendance générale mériterait néanmoins une attention particulière.

OBSERVATIONS VISUELLES

Lors de la visite du 13/01/2010, les observations suivantes ont pu être effectuées sur la couleur de l'eau :

- Bassins anaérobies : couleur gris – brun, sans modification notable par rapport à celle de l'effluent brut.
- Bassin aérobie facultatif : couleur rosâtre à lie de vin.
- Bassins de maturation et effluent de sortie : couleur verte soutenue.

Les agriculteurs rencontrés ont signalé qu'une couleur rouge pouvait également être parfois observée en sortie, et ils s'interrogent sur les conséquences pour la qualité de l'eau réutilisée.

Le Directeur de l'assainissement, Mr F. Zabsonre, a confirmé le phénomène, en précisant qu'il se produisait en période chaude.

Les éléments bibliographiques sommaires que nous avons recueillis sur le sujet suite à notre visite, mettent en relation cette évolution colorée avec la prédominance dans les bassins de bactéries rouges utilisant le soufre, par rapport aux algues vertes photosynthétiques. On pourrait faire l'hypothèse que la cause de cette évolution est due soit à une augmentation saisonnière de la charge organique de l'effluent, qui serait insuffisamment abattue en sortie de bassin anaérobie, soit à l'expression d'une situation défavorable aux algues photosynthétiques ou à l'oxygénation des bassins (absence de vent, augmentation de la température de l'eau, augmentation de la nébulosité...).

L'influence de ce phénomène d'eaux rouges sur l'abattement de la pollution organique semblerait irrégulière. Concernant l'abattement bactériologique, il n'y a priori pas de raison qu'il soit affecté, tant que le temps de séjour de l'eau dans les bassins reste conforme aux hypothèses de projet. L'ONEA a prévu de faire étudier cette question par un bureau d'études, dans le cadre d'une action d'assistance à maîtrise d'ouvrage.

5.2.1.3 La problématique du curage des bassins

L'APD prévoit que les boues curées soient séchées sur place puis épandues en agriculture. Un espace de séchage est prévu à cet effet dans le cadre de la phase II du PSAO.

Aucun curage n'a encore été réalisé à ce jour, les volumes traités étant inférieurs au volume de projet (cf. supra). La première opération de ce type est actuellement programmée pour 2012.

L'ONEA s'est récemment équipée d'un détecteur de voile de boue afin de suivre la bathymétrie et le niveau de colmatage des bassins. Cet appareil n'a cependant pas encore été mis en service.

5.2.2 Le cas des eaux industrielles

5.2.2.1 La part des eaux industrielles

Comme déjà indiqué, la phase 1 du PSAO concerne l'assainissement de la partie centrale de la ville, les quartiers administratif et universitaire et les principaux gros pollueurs presque tous localisés dans la zone industrielle de Kossodo au nord est de la ville.

Ces industries sont en fait au nombre de trois : une brasserie, un abattoir et une tannerie.

Selon les données de l'APD Phase 1, sur les 5400 m³/j d'effluent à traiter à l'horizon 2010, les 3 industriels de Kossodo représentent au total 66% des volumes à traiter et 72 % de la charge organique, compte tenu des prétraitements effectués sur les sites industriels.

A la date de l'étude (2000), ils représentaient 75% du volume et 90% de la charge, en raison de l'échelonnement du raccordement des particuliers.

5.2.2.2 Nature et objectifs qualité des prétraitements

La concentration des rejets bruts des industriels étant incompatibles avec le bon fonctionnement d'une station d'épuration par lagunage naturel, il est apparu impératif de mener une campagne de sensibilisation des industriels à la dépollution, de les assister techniquement et financièrement à la mise en place d'unités de prétraitement. Les objectifs assignés aux prétraitements des eaux industrielles sont les suivants :

- Matières en suspension : éliminer les éléments grossiers susceptibles de perturber le traitement en aval, et/ou de conduire à un remplissage prématuré des bassins de lagunage par les boues (ex : poils, matières stercoraires, drèches de brasseries résiduelles, boues de décantation d'eaux potables de la chaîne de production de sodas, diatomées des filtres à kieselgur...)
- Charge organique : Envoyer sur la station un effluent de concentration compatible avec un traitement par lagunage naturel. Un seuil de 750 mg/l DBO₅, comparable à la concentration des effluents domestiques, a été retenu.
- Métaux lourds : éliminer ces derniers à un niveau n'étant plus susceptible de remettre en cause la valorisation agricole des boues de curage des bassins de lagunage (notamment bains chromés de tannage). Il en est de même des sulfures en sortie de tannerie, afin d'éviter les dégagements d'H₂S sur les bassins anaérobies.
- Régulation du pH entre 7 et 9 par un stockage d'homogénéisation. Le minimum de 7 est requis pour éviter la putréfaction dans les bassins anaérobies et maintenir la prépondérance des bactéries méthanogènes sur les acidogènes. Le maximum de 9 est requis à la fois pour des questions de solubilité du chrome (tannerie). C'est également nécessaire pour éviter les problèmes agronomiques.

5.2.3 Les dispositifs propres au mode de REUT : désignation des ouvrages, dimensionnements

En aval des lagunes, on trouve successivement :

- Un seuil de mesure (déversoir triangulaire 90°) : ce moyen de mesure est cependant actuellement inutilisé.
- Une canalisation gravitaire enterrée Ø 500mm, L=50m, assurant le transfert jusqu' au périmètre irrigué.
- Un canal d'irrigation en béton préfabriqué de section rectangulaire (l=400mm ; h=800mm) d'une longueur d'environ 800m. Ce canal est équipé d'une douzaine de batardeaux amovibles permettant le déversement dans les rigoles secondaires (1600 ml de longueur cumulée), aboutissant elles mêmes dans 48 bassins de volume unitaire 1m³, dans lesquels l'eau est puisée pour un arrosage manuel à l'arrosoir.
- Un ouvrage de chute permettant le rejet de l'effluent excédentaire dans un marigot, à sec l'été.

Le périmètre total du projet ONEA couvre environ 50ha, dont 20ha réservés pour l'épuration (10 ha phase I + 10 ha phase II) et 30 ha pour la REUT.

La phase I prévoyait l'équipement de 10 ha irriguées en REUT. Les 20 ha restant sont actuellement vouées aux cultures pluviales (mil, sorgho...)

Les 610 parcelles du périmètre, d'une superficie unitaire 150 à 200 m², sont bornées par des plots en béton.

Afin d'assurer l'hygiène sur le site, l'ONEA a mis en place des latrines collectives et deux bornes fontaine. Celles –ci ont cependant fait l'objet de déprédations et sont actuellement hors service.

Environ 330 maraîchers sont concernés par cet aménagement.

Les cultures pratiquées en 2008 respectaient le cahier des charges. La principale était l'épinard (80% de la surface), les autres étant les suivantes : courgettes, gombo, haricot feuille, aubergine, maïs, pommes de terre, boulenboula, boulovoaka.

Le périmètre est essentiellement constitué de sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés. Ces sols sont généralement pauvres en azote total et en potassium disponible, de même qu'ils présentent des carences en phosphore assimilable.

Les sondages géotechniques réalisés sur l'emprise du lagunage on conduit à décrire le développement de profil ci-après : Sur 30 cm de grave latéritique limoneuse et de terre végétale, 70 à 160 cm d'argiles latéritiques aptes au compactage et à la confection de digues, 70 à 210cm argile latéritique plus ou moins kaolinisée, apte au compactage mais cependant déconseillée pour la confection des digues, et 2 à 3,8m d'arène granitique argileuse farineuse à caractéristiques géotechniques défavorables.

Si l'adduction est gravitaire, il est important de préciser que l'arrosage final d'effectue à l'arrosoir. **Du point de vue sanitaire, il s'agit donc d'un périmètre par aspersion.**

Une démarche avait été engagée en 2008 par l'agroformateur rémunéré par l'ONEA pour l'achat de pompes à pédale, permettant d'arroser plus aisément les parcelles. L'évolution de ce dossier ne nous a pas été mentionnée lors de notre visite.

Du point de vue climatique, la pluviométrie annuelle est comprise est de l'ordre de 750 mm/an, avec une saison des pluies d'une durée de 4 à 5 mois (mai à septembre). L'évaporation moyenne est estimée à 210 mm/mois, soit 2500 mm/an et 6,9 mm/j. Les maxima d'ETP interviennent dans la 3^{ème} décade de mars et la 3^{ème} décade d'octobre (environ 7,5 mm/j).

Un relevé effectué en 2002 auprès des maraîchers des différents secteurs de Ouagadougou (séminaire CREPA) a conduit a observer les doses d'arrosage suivantes sur différents cultures : gombos et épinards : 15 à 20 l/j/m² ; carotte et oseille #7l/j/m²

5.3 ORGANISATION ET MAINTENANCES

5.3.1 Identification des opérateurs

L'ONEA reste l'opérateur unique de l'ensemble REUT en centralisant la collecte et le traitement des eaux usées, ainsi que leur distribution auprès des agriculteurs.

D'autres partenaires œuvrent en étroite collaboration avec l'ONEA, mais cet organisme public porte seul le fonctionnement du système d'épuration et participe fortement à la valorisation des effluents par le contrôle permanent de la qualité de l'eau et par l'encouragement qu'il porte aux agriculteurs.

L'ONEA apparaît donc à ce jour comme l'opérateur omniprésent du projet. Il n'est cependant pas dans les intentions du directeur de l'assainissement, M Zabsonre, que cette situation perdure. La responsabilité légale de l'ONEA s'arrête à la fourniture d'un effluent traité conforme au cahier des charges du projet, la gestion foncière et la tutelle des associations agricoles incombant réglementairement à la mairie d'arrondissement.

Cependant, en phase de lancement, l'ONEA est allé au-delà de son rôle statutaire, du fait que le réseau d'EUT a été considéré comme une mesure d'accompagnement du projet d'assainissement collectif. Ce dernier a en effet eu une incidence sur les populations utilisant les effluents bruts pour l'agriculture, effluents devenus indisponibles du fait de la mise en place du réseau.

Concernant le régime foncier, la propriété du sol appartient à l'état. L'ONEA ou la commune disposent d'un droit d'usage. Cette dernière passe des contrats avec les différents exploitants.

Le Maire d'arrondissement de Nongr-Maason est le président en titre du comité de gestion du projet de REU. Cependant les exploitants agricoles semblent continuer à s'adresser préférentiellement à l'ONEA.

On se trouve donc actuellement du point de vue institutionnel dans une période charnière qui devrait prochainement prendre fin.

5.3.2 Mécanismes administratifs de cession d'eau

Le statut de l'ONEA ne prévoit pas que la société puisse établir une transaction commerciale sur la base des rejets de la station d'épuration. L'ONEA ne tient pas à s'engager dans l'établissement d'un contrat commercial de mise à disposition de l'eau aux agriculteurs ni dans une relation de service pour la distribution de l'eau recyclée. Son champ d'action s'arrête au contrôle de la qualité des eaux en sortie de la STEP, et il a été admis que l'utilisation de l'eau par les agriculteurs pouvait être considérée comme une mesure d'accompagnement du projet d'assainissement. Il n'y a donc pas de facturation pour la consommation des eaux traitées.

5.3.3 Particularités propres au mode de valorisation

La production de cultures maraîchères irriguées, venant en remplacement d'un maraichage sauvage utilisant des effluents non traités, est devenue l'élément d'accompagnement essentiel d'une volonté locale d'assainir les rejets en milieu naturel.

Dans ce contexte les agriculteurs ont été fortement accompagné par l'ONEA pour :

- maîtriser l'irrigation collective et raisonnée,
- réorienter leur activité vers des productions conformes aux exigences sanitaires,
- s'adapter à des conditions de sols différentes, pauvres et carencés en matière organique.

Les appuis directs concernant essentiellement les aspects agronomiques et la maîtrise de l'irrigation ont été maintenus au cours de la première année d'exploitation. Actuellement le programme d'appui n'a pas été reconduit et semble manquer fortement aux agriculteurs. Le succès de l'opération s'en trouve actuellement fragilisé, d'autant plus que des agressions extérieures (vandalisme, concurrence commerciale par des produits de maraîchage non autorisés à la consommation) perturbent le service de l'eau et obèrent les avantages commerciaux qui pourraient être réalisés. L'absence du contrôle de qualité et de la provenance des produits sur les marchés ne permet pas aux maraîchers qui respectent les consignes sanitaires d'obtenir une plus value sur la qualité biologique de leurs produits.

5.4 CADRE INSTITUTIONNEL

5.4.1 Textes législatifs relatifs au secteur

D'une façon globale, il apparaît que les textes Burkinabé relatifs à l'assainissement et à l'environnement sont nombreux, qu'ils sont régulièrement modifiés et que leur nombre est en augmentation rapide.

Les principaux textes constituant le cadre juridique, législatif et réglementaire dans le secteur des eaux usées, la gestion de l'environnement urbain et la décentralisation sont notamment les suivants :

- Loi 005/97/ADP du 30/01/1997 portant Code de l'Environnement
- Loi 41/98/AN du 06/08/1998 portant organisation de l'administration du territoire au Burkina Faso,
- Loi 42/98/AN du 06/08/1998 portant organisation et fonctionnement des collectivités locales,
- Loi 005/97/AN du 30/01/1997 portant Code de l'Environnement du Burkina Faso (intègre notamment les aspects liés aux déchets),
- Loi 22/2005/AN portant **Code de l'Hygiène Publique**,
- Décret 98-322/PRES/PM/MCIA/MEM/MS/MATS/METTS/MEF du 28/07/1998 portant conditions d'ouverture et de fonctionnement des établissements dangereux, insalubres et incommodes,
- Décret 98-323/PRES/PM/MEE/MATS/MIHU/MTT du 28/07/1998 portant réglementation de la collecte, du transport, du traitement et de l'élimination des déchets urbains,
- Loi n° 23/96/ADP du 19/05/1996 portant Code de la Santé.

Par ailleurs, si les acteurs s'accordent à trouver des avantages au maintien de l'agriculture urbaine (maraîchage, horticulture), la question du devenir de l'activité reste ouverte, compte tenu de l'insécurité juridique de son exercice. Le SDAU élaboré en 1997 mentionne à plusieurs reprises le maraîchage, mais il subsiste semble-t-il des ambiguïtés sur des notions telles que le statut foncier de certains sites ou l'affectation des eaux des barrages à cette activité.

Les aspects propres à la REUT sont discutés au § 1.4.3.

5.4.2 Rôle des différents ministères et organismes

Plusieurs structures et acteurs ont été amenés à collaborer et à conjuguer leur compétences et leur savoir faire. Parmi les acteurs institutionnels se trouvent les principaux ministères ayant en charge un des aspects relevant du projet.

Ministère de la Santé et de l'Action Sociale

A travers ses attributions ce ministère a en charge le volet de l'Assainissement et de l'Hygiène publique liée à la santé. Ce département abrite en son sein le Laboratoire National de la Santé Publique (LNSP) qui constitue un des partenaires clés dans le domaine de l'assainissement. Cette structure en sa qualité de Laboratoire de Référence réalise les analyses contradictoires sur la qualité de l'eau potable produite par l'ONEA (prélèvements quotidiens sur plusieurs sites), et sur la qualité des rejets de la station d'épuration de Kossodo (tous les trimestres). La confrontation des analyses entre les deux laboratoires ne se fait que lorsque le LNSP constate une non-conformité (généralement dépassement des normes) sur les résultats. Dans la pratique la réactivité reste très faible et les non-conformités sont signalées avec un décalage moyen de deux semaines.

Il faut observer que pour l'instant l'ONEA n'est pas tenue de communiquer les résultats de ses analyses au LNSP. De même l'Audit de certification 9001 de la fin de l'année 2009 n'inclut pas de protocole spécifique sur le transfert des résultats d'analyses. Mais déjà l'ONEA a inscrit dans son programme 2010 un objectif Qualité visant la réduction du temps de réaction et celui de la communication des écarts observés entre les résultats des deux laboratoires, celui du Ministère et celui de l'ONEA.

Ministère de l'Agriculture

Ce ministère participe à l'encadrement des agriculteurs en général et plus spécifiquement des agriculteurs en milieu urbain. Mais dans les faits ce ministère s'est peu penché sur la zone agricole irriguée qui dépend de la station d'épuration. L'aide apportée aux agriculteurs est exclusivement réalisée par l'ONEA qui s'est appuyée en 2008 (pour 6 mois) sur les services d'un agro-formateur afin renforcer le savoir faire des agriculteurs et les aider à mieux maîtriser les techniques d'irrigation et de production.

Ministère de L'Environnement et du Cadre de vie

Au plan institutionnel, le Ministère de L'Environnement et du cadre de Vie, garant d'un environnement sain au Burkina Faso est organisé suivant le décret N°2008-822/PRES/PM/MECV du 22 décembre 2008 autour des structures suivantes :

Au niveau central, trois Directions Générales, dont deux ont un rôle important à remplir au niveau du projet :

- La Direction Générale de l'Amélioration du Cadre de Vie (DGACV) qui comprend entre autre le Direction de l'Assainissement, de la Prévention des pollutions et des nuisances
- La direction Générale du Bureau National des Evaluations Environnementales et de gestion des Déchets spéciaux (BUNED).

Ministère en charge de l'Urbanisme

Le Ministère de l'Habitat et de l'Urbanisme mis en place en 2005 intervient sur l'organisation harmonieuse de l'espace urbain. De fait tout projet doit se référer au schéma directeur du grand Ouaga à l'horizon 2025. Dans la pratique, une fois le projet approuvé ce ministère n'a pas de rôle particulier sur le périmètre.

Les structures locales

Il s'agit essentiellement de la commune de Ouagadougou qui intervient par le biais de la mairie du cinquième arrondissement, celui de Nongremassom sur lequel se trouve le site de la STEP de Kossodo. Le Maire de cet arrondissement est le président du Comité de pilotage ayant suivi la réalisation des travaux, et responsabilise la collectivité à travers le Comité de gestion des rejets. Dans la pratique c'est l'ONEA qui agit sur le terrain et qui pour les agriculteurs reste le contact efficace pour résoudre les problèmes techniques ou pour améliorer la situation.

Les Sociétés para publiques

Au premier rang se trouve l'ONEA qui est une société d'Etat depuis 1994, placée sous la tutelle technique du Ministère chargé de l'eau et la tutelle financière du Ministère chargé des finances.

L'ONEA a deux grands objectifs qui sont :

- la création, la gestion et la protection des installations de captage, d'adduction, de traitement et de distribution d'eau potable pour les besoins urbains et industriels ;
- la création, la promotion de la création et l'amélioration ainsi que la gestion des installations d'assainissement collectifs, individuels ou autonomes pour l'évacuation des eaux usées et excréta.

Dans ce projet l'ONEA est non seulement responsable de la conception des ouvrages d'assainissement, mais en est le propriétaire et l'exploitant. Sa mission est complète et permanente puisque l'office a réalisé les infrastructures d'irrigation, ainsi que l'équipement du périmètre irrigué. Il continue encore aujourd'hui à accompagner les maraîchers dans leurs productions.

Les acteurs non institutionnels

D'autres organismes restent partie prenante dans le projet en appuyant l'ONEA de leurs conseils et par des travaux de recherche visant à améliorer d'une part le fonctionnement du process et d'autre part la situation agricole. Il faut citer l'INERA l'Institut d'Etude et de Recherche Agricole, mais aussi le CNSF Centre National des Semences Forestières, le centre de recherche Zie (ex EIER) de la faculté de Ouagadougou, et enfin le CREPA.

Les acteurs informels

Les agriculteurs forment le groupe d'acteur le plus important. Les quelques CO maraîchers qui sont installés sont officiellement représentés par le Groupement des exploitants de Kossodo qui bénéficie d'un statut juridique reconnu. Les agriculteurs payent une cotisation d'entrée au groupement d'un montant de 500 cfa. Puis mensuellement ils s'acquittent d'une participation de 100 cfa pour les dépenses du groupement : achat de petit matériel, entretien des équipements et des canalisations. Ce second volet de leur contribution financière n'est pas toujours honoré par les paysans qui la trouvent excessive, surtout en cas de baisse des rendements et de mévente des produits agricoles.

Les grossistes et les acheteurs forment un groupe présent sur la zone quoique plus informel. 70% de la production est achetée bord champ par des revendeurs. Lesquels écoulent les produits soit sur les marchés voisins soit auprès de semi-grossistes. Si ce système évite aux maraîchers d'avoir à se déplacer vers les points de vente, il n'est pas prouvé qu'il leur garantisse les meilleurs revenus.

5.4.3 Textes réglementaires techniques (normes, valeurs guide)

Le décret n° 2001-185/PRES/PM/MEE porte fixation des normes de rejet de polluants dans l'air, l'eau et le sol.

Ce texte est pris notamment en application de la Loi n° 23/94/ADP du 19/05/1994 portant Code de Santé Publique, le Code de la Santé ayant également fait l'objet de la loi 23/96/ADP du 19/05/1996.

- L'article 10 fixe les normes de déversement des eaux usées dans les eaux de surface. Ces normes sont notamment de 50 mg/l pour la DBO, 150 mg/l pour la DCO, 200 mg/l pour les MES, entre 6,4 et 10,5 pour le pH. Pour la DBO et la DCO, il n'est pas précisé s'il s'agit d'un échantillon filtré ou non filtré.
- L'article 11 fixe les normes de déversement des eaux usées dans les égouts.
- L'article 14 fixe des objectifs de qualité pour différents polluants dans les sols, ainsi que des valeurs limite pour un usage agricole, industriel ou d'habitat.

Ce décret faisait l'objet en 2007, avec l'appui de la coopération belge, d'un projet de révision des paramètres et des valeurs limite/

Par ailleurs, et selon les informations recueillies, il n'existe pas à l'heure actuelle au Burkina Faso de norme réglementaire spécifique à la REUT.

Il est également précisé par L. Wilhelm (AFD, 2007) que le périmètre de Kossodo présente un caractère novateur en ce qu'il constitue le premier cas de REUT « organisé » au Burkina Faso.

D'autre part, l'effluent issu du lagunage de Kossodo est pour une part réutilisé directement et pour une autre part rejeté dans le réseau hydrographique superficiel, en extrémité aval du canal d'irrigation.

Dans ce contexte, les objectifs de traitement ayant guidé le dimensionnement du projet reposent sur les éléments suivants :

- Paramètres bactériologiques : recommandations OMS de 1987 (« rapport d'Engelberg »)
- Abattement de la charge organique (DBO, DCO, MES), pH : décret Burkinabé n°2001-185.

5.4.4 Textes réglementaires sanitaires

Au vu de ce qui précède, il a paru nécessaire aux partenaires du projet nécessaire de doter le groupement des exploitants de Kossodo d'outils réglementaires permettant la gestion du périmètre dans le respect des pratiques sanitaires appropriées (cf. §1.6.2 Prise en compte et évaluation des risques).

On notera notamment que, du fait des risques liés à la REUT, des règles et procédures doivent être suivies pour assurer la santé des acteurs. La culture des produits maraîchers destinés à être consommés crus est interdite, de même que l'abreuvement des animaux d'élevage avec les EUT.

5.5 DONNEES ECONOMIQUES ET FINANCIERES

5.5.1 Montant de tous les investissements

Phase 1	
Investissements de la station de lagunage 2005 - 2007	9.85 M° euros
Investissements sur le périmètre irrigué : Etudes, travaux, accompagnement des maraîchers, matériel d'exploitation, alimentation eau potable. Sur fonds propres ONEA	0.2 M° euros
Prétraitements en aval des 3 industriels de Kossodo : brasserie Brakina, tannerie Tan Aliz, abattoir frigorifique. (hors taxes, douane et frais d'assistance technique)	0.9 M euros
Phase 2 (porte sur 8 villes)	
Volet « Ouagadougou »	6,2 M euros
-Dont volet « boues de vidange »	1,6 M euros
-Dont périmètre REUT	/

5.5.2 Plan de financement

Investissement de la station de lagunage	%
AFD (sous forme de subvention)	71,1%
Banque Mondiale (prêt à LT , taux 1%)	20.3%
Fonds propres ONEA	8.6%

5.5.3 Budgets de fonctionnement

Les dépenses de fonctionnement de la station de lagunage se limitent à des dépenses en personnel et à des dépenses énergétiques qui sont celles des trois stations de pompage qui acheminent les eaux collectées vers la STEP. La dernière station de relevage SP5 est de loin la plus importante en traitant les volumes apportés par les entreprises industrielles et permettant d'envoyer une eau sous-pression vers la station.

En l'absence de comptabilité analytique il est difficile d'isoler la partie des coûts de l'assainissement collectif de l'ensemble des activités de la direction assainissement. La partie assainissement collectif de Ouagadougou ne concernerait qu'1% des ménages, mais représenterait environ 3% des dépenses de l'Office.

La facture des consommations énergétiques des trois stations indique pour 2008 une dépense de l'ordre de 15 millions cfa. Par approximation il est possible d'identifier que la dépense en personnel est à peu près du même montant.

Sur l'ensemble des activités assainissement de l'ONEA au Burkina les recettes 2008 ont été de 797,6 millions cfa et les dépenses ont atteint 978,3 millions cfa. Montrant ainsi un déficit de cette activité. La part de la seule ville d'Ouagadougou dans les recettes est de 66%.

5.5.4 Politique tarifaire

Les tarifs assainissements sont couplés avec ceux de l'eau potable. L'ONEA émet des factures mensuelles auprès de ses abonnés (111 000 en 2008 à Ouagadougou). La facturation eau potable s'effectue par tranches de volume avec un prix unitaire au m³ qui augmente avec le volume des tranches. La partie assainissement est facturée au prix de 21 CFA par m³ consommé dans le cas de l'assainissement autonome, et 90 CFA par m³ dans le cas de l'assainissement collectif. La tarification est binôme avec une redevance fixe de 1000 CFA appliquée à tous les contrats.

Les recouvrements de la facturation s'effectuent correctement avec un taux élevé au niveau des ménages, mais sont moins performants au niveau des administrations et des organismes publics.

Pour l'eau traitée de la STEP il convient de rappeler que l'eau est délivrée gratuitement aux agriculteurs.

Il convient à ce propos de préciser que l'élimination de la pollution organique et de la charge bactériologique sont indissociables dans le cas du traitement par lagunage naturel. Il n'y a donc pas de surcoût spécifique à cette dernière, contrairement à ce qui se passe par exemple par exemple pour un traitement complémentaire de désinfection en aval d'une boue activée.

5.5.5 Rentabilité des différentes composantes du projet

Les éléments communiqués permettent de dire que :

- le système assainissement est globalement déficitaire, avec des dépenses annuelles qui ne sont pas couvertes par les recettes auprès des usagers,
- le fonctionnement de la STEP ne génère aucune recette pour son gestionnaire,
- le périmètre irrigué reste une charge pour l'ONEA, comprenant l'entretien des canaux d'irrigation comme l'accompagnement aux agriculteurs. Cette charge peut être estimée à 3 ou 4 millions CFA par an. Les actes de vandalisme sont pour la plupart responsables de ces dépenses.
- la valorisation des eaux traitées reste de très faible valeur économique pour les maraichers.

Le projet est entièrement porté par l'ONEA, qui en accompagnant les agriculteurs dans leur démarche irrigation, intervient au-delà de son secteur de compétence. Mais tout autre opérateur sur les terres agricoles ne retrouverait pas pour autant un meilleur bénéfice financier.

Cela est essentiellement dû à la faiblesse des revenus de la production agricole. Cantonnés vers une gamme restreinte de produits, avec une faible technicité et des sols peu productifs, les exploitants obtiennent des résultats nettement insuffisants par rapport à la fois à leurs attentes et à leurs besoins, mais aussi par rapport aux enjeux sanitaires. D'autre part le rapport de l'agro-formateur de M. Soubeiga en 2008 souligne que la taille des parcelles ne correspond pas aux exigences de production agricole des exploitants.

Dans une étude réalisée par l'ONEA en 2008, des enquêtes très poussées ont pu être réalisées auprès de 73 exploitants (soit 12% des effectifs). L'enquête révèle que 3% des maraîchers disent écouler leur production d'une manière satisfaisante, et 15% déclarent que leur situation actuelle est meilleure que celle d'avant le projet.

Actuellement il semblerait que le revenu mensuel d'une parcelle de 200m² soit de l'ordre de 50 000 CFA pour une culture d'épinards. D'après l'enquête de 2008 des valeurs plus élevées pouvant aller jusqu'à 100 000 CFA par mois ont été affichées. Les valeurs annoncées avant le projet se situaient dans une fourchette de 15 à 30 000 CFA par mois.

5.6 ASPECT SOCIAUX

L'installation des maraîchers sur le périmètre n'a pas été sans provoquer des heurts d'une part entre les agriculteurs initialement implantés sur la zone, d'autre part entre les futurs candidats à l'installation, et naturellement entre ces deux groupes.

Les maraîchers actuellement en place sont à 90% originaire de la zone et sont des habitants de Kossodo. Une grande partie d'entre eux se trouvant avant 2005 sur les terres réquisitionnées pour le projet. Ceux-là étaient en grande majorité (72 %) déjà agriculteurs en pratiquant des activités céréalières, du maraichage ou de l'élevage.

La formation scolaire des paysans reste très faible (87 % n'ont jamais été scolarisés). Les familles rassemblent 7 à 8 personnes, mais ce sont les femmes qui participent le plus à la mise en valeur des parcelles irriguées, les hommes ont une autre activité agricole généralement sur un espace céréalier et les jeunes garçons cherchent des activités plus urbaines.

5.6.1 Acceptabilité par les bénéficiaires

C'est la recherche d'un meilleur revenu qui a été la motivation principale des nombreux candidats au projet de Kossodo. Pour les femmes c'était la garantie d'avoir une activité fixe. Mais l'installation des maraîchers sur les parcelles bornées a été une étape difficile, suscitant beaucoup de controverses chez les paysans et les agriculteurs de la commune⁹. Dans un premier temps les agriculteurs ont assez vite accepté de réduire leur production à une gamme limitée de cultures : épinards, courgettes, aubergines, gombos haricots feuilles, maïs, et bouléboula et boulvoaka qui sont des produits locaux. La production d'épinards domine en occupant 80% de la superficie. Actuellement en observant une diminution des rendements beaucoup de maraîchers restent déçus des choix qui sont imposés.

⁹ Le bornage des parcelles n'a pas été accompagné de leur numérotation entraînant des confusions entre parcelles et des conflits entre attributaires, notamment entre les « coutumiers résidents » et les rares allochtones ayant décidé de s'installer. – Rapport final d'appui conseil et accompagnement des exploitants du périmètre irrigué de Kossodo – Dec 2008 Gilbert SOUBEIGA

Depuis la numérotation des parcelles est effective – Enquêtes BRL 2010

Les différentes études menées sur le périmètre montrent que le fait d'utiliser des eaux issues d'une station de traitement n'est pas spécifiquement ressenti comme un aspect négatif. La mauvaise composition des sols ou la couleur rouge de l'eau au moment des périodes les plus chaudes, ou encore l'apparition de maladies de la peau restent par contre des effets qui inquiètent d'avantage les agriculteurs.

5.6.2 Prise en compte et évaluation des risques

Les sociologues ayant travaillé sur le périmètre soulignent le refus de prise en compte du risque de pollution par les maraîchers dès lors qu'ils utilisent des eaux d'écoulements naturels non traitées.

A contrario, l'association des producteurs de Kossodo dispose d'un cahier des charges, de statuts et d'un règlement intérieur mis au point dans le cadre des actions d'appui au projet.

5.6.2.1 Cahier des charges, statuts et règlement intérieur de l'association des producteurs

Ces trois textes ont fait l'objet d'une première rédaction en 2004, dans le cadre de l'intervention du BE SahelConsult. Ils ont été reformulés et réactualisés en 2007, en tenant compte de l'évolution du contexte, et notamment du passage d'une logique de « projet » à une logique de « droit commun ». Ceci concerne particulièrement la question clé de la maîtrise d'ouvrage du périmètre.

Ci-joint quelques dispositions parmi les plus significatives du point de vue de la REUT, de la version de 2007 de ces documents.

Cahier des charges :

- Art.5 : l'occupation et l'exploitation des parcelles est subordonnée à la délivrance d'un titre de jouissance par l'autorité compétente. La mutation autorisée est celle à titre gratuit qui se fera selon la voie de la succession familiale ou le transfert à un demandeur de la liste d'attente. La vente et la location sont formellement interdites.
- Art 6 : L'attribution et le retrait d'une parcelle sont du ressort de Monsieur le Maire de Nongr-Mâassom, maître d'ouvrage du périmètre (*NB : fonction attribuée au comité de gestion dans la version initiale de 2004*). En cas de défaillance d'un exploitant, le bureau exécutif du groupement soumettra à l'assemblée générale les nouvelles demandes pour expression d'un avis qui sera transmis aux autorités communales pour décision finale.
- ART.11 : L'attributaire est tenu de participer aux travaux collectifs d'entretien des ouvrages.
- Art.12 : L'attributaire devra verser annuellement une redevance, proposée par le bureau exécutif et approuvée par l'assemblée générale des exploitants, servant aux frais de fonctionnement et à l'entretien des ouvrages, ainsi qu'une taxe de jouissance fixée par les autorités communales en échange des droits d'exploitation.
- Art. 15 - 17 : Du fait des risques liés à la REUT, des règles et procédures doivent être suivies pour assurer la santé des acteurs. La culture des produits maraîchers destinés à être consommés crus est interdite, de même que l'abreuvement des animaux d'élevage avec les EUT : *Nb : dans la rédaction initiale, l'interdiction des cultures destinées à être consommées crues était limitée à une phase transitoire de 6 mois, soit 2 campagnes, et que cette restriction serait levée dès que les connaissances sur la qualité de l'eau traitées seraient affermiées et que le risque serait mieux cerné. L'interdiction a donc été pérennisée, quand bien même la qualité bactériologique de l'eau en sortie de lagunage semble répondre à l'objectif fixé.*

- Art. 18 : Un comité de suivi de la qualité des eaux épurées et de la prévention des risques édictera des règles claires pour l'alerte. En cas d'eau jugée impropre, l'ONEA alerte le maire de Nongremasson, président du comité de suivi et maître d'ouvrage du périmètre, et le bureau exécutif des exploitants. Il interrompt la fourniture d'eau et prend les mesures nécessaires au rétablissement de la conformité des EUT.
- Art.19: L'exploitant dispose librement de sa production et sa commercialisation auprès des circuits qu'il juge appropriés.

Statuts

- Art.1 : Tout attributaire de parcelle est membre du groupement.
- Art.23 : Le comité exécutif du groupement comprend 12 membres élus pour 3 ans.

Règlement intérieur

- Art.13 : Les exploitants ont le devoir de : respecter les consignes liées à la REUT pour se prémunir des risques sanitaires. Nb : la phrase suivante, figurant au projet de 2004, est abandonnée dans la version de 2007 : Les exploitants doivent se soumettre à la visite médicale annuelle avec les membres de leur famille impliqués sur l'exploitation ; tenir à jour leur carnet de vaccination ; faire les vaccinations conseillées (hépatite A et typhoïde).

5.7 SUIVIS

5.7.1 Contenu des protocoles de suivi

5.7.1.1 *Suivi analytique des effluents*

L'ONEA réalise un suivi chimique et bactériologique des effluents bruts et traités. Le laboratoire a été spécifiquement renforcé pour cette mission (demande de financement de 2002) et un technicien, M SOUDRE Soumaïla, plus particulièrement affecté à cette tâche.

Les points de contrôle concernent la sortie des collecteurs des 3 industriels de Kossodo (brasserie, abattoir, tannerie), l'entrée du lagunage, la sortie de chaque bassin.

C'est le chimiste lui-même qui réalise les prélèvements, ce qui permet d'assurer à cette occasion une surveillance générale du système.

La fréquence des analyses est hebdomadaire pour les analyses chimiques. Pour les analyses bactériologiques la fréquence, hebdomadaire jusqu'à fin 2007, a été ramenée à une fréquence semestrielle depuis cette date. Les paramètres suivis sont les suivants :

- paramètres chimiques : T°, pH, EC, O2 dissous, PO', SO4, DCO, DCO filtré, DBO5, MES.
- Paramètres bactériologiques : coliformes fécaux.

Les résultats d'analyses sont adressés chaque semaine au responsable « exploitation » de l'ONEA, Mr Jean Ouedraogo.

Par ailleurs, deux ministères disposent ou disposeront prochainement de laboratoires équipés pour les analyses d'effluent.

Le laboratoire du ministère de l'environnement exerce notamment une surveillance des rejets industriels. Il fait en particulier pression sur la tannerie pour qu'elle finalise la réalisation des prétraitements qui permettront l'admission de l'effluent prétraité dans la station de lagunage de l'ONEA.

Le laboratoire du ministère de la santé se limite actuellement au suivi des eaux potables mais sera également prochainement équipé pour réaliser les analyses d'eaux usées.

5.7.1.2 Suivi des cultures

Le processus d'attribution des parcelles a débuté en juillet 2006, l'exploitation devenant significative à partir de février-mars 2007. Le taux d'exploitation de 50 % était atteint en juin 2007.

L'ONEA a ensuite rétrocédé le périmètre à la mairie annexe de Nongremasson, tout en prolongeant l'appui aux exploitants prévu au plan de contrôle des rejets.

Dans cette phase de mise en service du projet, l'ONEA a financé pendant 6 mois en 2008 l'intervention d'un agro-formateur, M Soubeiga Gilbert, afin de conseiller les agriculteurs et promouvoir des pratiques agricoles adéquates, en particulier dans le choix des cultures compatibles avec la qualité de la ressource en eau.

Cette mission a été prise en charge par l'ONEA en tant que mesure d'accompagnement du projet global d'assainissement, mais ne rentre pas dans ses responsabilités statutaires.

Légalement, c'est en effet la mairie d'arrondissement qui est en effet en charge des questions foncières et d'organisation paysanne. Cependant le périmètre de REUT ne lui a pas encore été formellement rétrocédé par l'ONEA.

5.7.2 Les premiers résultats d'objectifs

Trois ans après la mise en eau du petit périmètre irrigué de 11,4 ha des effets positifs et des effets négatifs peuvent être mis en évidence.

Parmi les aspects positifs il faut souligner le transfert du droit d'usage de l'espace agricole riverain de la STEP. Dans un premier temps l'ONEA après avoir aménagé le périmètre l'a rétrocédé à l'arrondissement de Nongremasson pour son exploitation conformément au protocole préliminaire entre ces deux acteurs, qui stipulait en particulier que la gestion du foncier revenait à la collectivité territoriale de Ouagadougou et en l'occurrence à son cinquième arrondissement celui de Nongremasson. L'usage de cet espace de 30 ha doit par la suite être affecté aux agriculteurs, sur la base d'un contrat individuel entre l'arrondissement et chaque maraîcher, donnant ainsi le droit à ses derniers d'exploiter la parcelle qu'il leur a été attribué. La procédure d'enregistrement des usagers qui a connu beaucoup de difficultés va pouvoir officialiser, et en quelque sorte pérenniser, l'usage agricole de cet espace.

En assainissant une partie de la ville le projet avait aussi l'objectif de diminuer, voire d'éradiquer les productions maraîchères qui s'effectuaient en utilisant des eaux brutes du bassin versant, fortement polluées car issues des activités industrielles et hospitalières. Mais les maraîchers délocalisés ont progressivement reproduit leur système de production dans un espace qui n'est pas contrôlé, et où la qualité de la ressource en eau l'est encore moins. Mettant ainsi sur le marché des produits dangereux pour la santé des consommateurs. Le conflit persiste et s'aggrave aux dépend des agriculteurs installés sur les zones où la ressource en eau, mais aussi l'état sanitaire de la production agricole sont contrôlés. De fait le projet n'a pas pu produire la rupture espérée avec le système maraîcher précédent et contribue même à amplifier les risques sanitaires.

5.8 CONCLUSION

Au terme de cette visite, l'impression dominante est que le périmètre de REUT associé au PSAO phase 1 de Ouagadougou se trouve actuellement à la croisée des chemins.

Après la mise en place d'appuis conséquents à la mise en service, puis à la phase de démarrage de 2008, qui avait abouti à la mise en place d'une organisation agricole et à des résultats agronomiques encourageants, des signes de détérioration apparaissent sur 2009 : interruptions imprévisibles de la ressource en EUT suite aux actes de vandalismes perpétrés sur les postes de relèvement du réseau de collecte, diminution du rendement des cultures, rivalités entre groupes d'agriculteurs installés d'une part sur le périmètre organisés et sur les secteurs informels situés à l'aval.

A contrario, la mise en service prochaine (2011 ?) de la phase II du PSAO doublera la ressource potentielle en EUT, pour peu que la sécurité des biens et des personnes puisse être maîtrisée.

Cette perspective continuera d'améliorer les conditions de travail des exploitants et la qualité sanitaire de la production maraîchère de Ouagadougou, pour peu que les actions d'accompagnement adéquates soient maintenues le temps nécessaire.

On pourrait suggérer notamment d'exercer un contrôle plus strict sur les prélèvements d'EUT effectués à l'aval de l'actuel périmètre organisé, afin d'assurer l'équité des droits et devoirs entre groupes de producteurs et améliorer la sécurité sanitaire des producteurs et consommateurs des denrées produites.

5.9 PERSONNES RENCONTREES

- M Félix Zabsonre, ONEA, Directeur de l'assainissement.
- M Jean Ouedraogo, ONEA, Responsable d'exploitation « assainissement ».
- M. Godié Yonli, ONEA, technicien supérieur chargé de la maintenance électromécanique des équipements d'assainissement.
- M Daouda Pankolo, technicien supérieur chargé des travaux « assainissement ».
- M Soumaïla Soudré, ONEA, chimiste chargé des prélèvements et analyses « assainissement ».
- Dr.Ing. Simeon Kenfack, CREPA, Chef d'unité de recherche « Gestion intégrée des Eaux Usées et Excreta ».
- Mme Mélanie CANET, AFD, Chargée de mission secteur rural.
- M. Christophe BARAT, AFD, Macro-économiste « Eau et assainissement ».
- M Gilbert Soubeiga, consultant agroformateur (par téléphone).
- Un groupe de maraîchers membres du groupement « Ne laissez pas l'eau se perdre » fédérant les exploitants du périmètre mis en place dans le cadre du projet d'assainissement, dont deux membres du bureau.

6. Fiche de projet SAMRA

6.1 DEFINITION DU PROJET

6.1.1 Localisation

Le "projet" est localisé à la fois au niveau de la step SAMRA qui collecte les E.U de Amman pour ce qui concerne le volet assainissement et épuration d'une part et sur la Zarqa river et le barrage de King Tallal qui constituent l'aval immédiat de cette step et surtout dans la Jordan valley où se pratique l'irrigation de vastes territoires agricoles d'autre part.

Concrètement La step de SAMRA de 2,5 millions d'équivalents habitants, établie au nord est de la conurbation de Amman – Zarka a été conçue explicitement en vue d'une valorisation aval des effluents de sortie ; elle intègre donc au-delà du process classique de boues activées, une étape de désinfection au chlore. Les eaux sont rejetés dans un cours d'eau, le wadi Duhleil, affluent de la zarka river qui aboutit quarante kilomètres plus à l'aval dans le lac de retenue du King Talal dam qui intercepte les eaux d'un bassin versant de 2 000 km². De ce lac les eaux issues du mélange eaux météoriques stockées + eaux épurées en provenance de SAMRA rejoignent les installations d'irrigation qui couvrent la Jordan Valley entre lac Tibériade et Mer Morte.



La valorisation des eaux issues de la step s'intègre ainsi dans un complexe qui mêle les eaux en provenance du barrage et celles qui sont issues du King Abdallah Canal. Cette spécificité est à garder en mémoire quant il s'agira d'estimer spécifiquement ce qui ressortit à des investissements propres à l'irrigation "ordinaire" et celle qui ressortit à la catégorie, objet de cette étude, la REUT.

6.1.2 Aspects climatiques

Les données climatiques jordaniennes s'établissent comme suit, illustrant le caractère semi aride de la zone

6.1.3 Historique

Avant de disposer de cette nouvelle step de SAMRA, Amman gérait l'épuration de ses eaux usées avec un système de lagunes qui durant les années 70 / 80 donnait satisfaction. Le process novateur à l'époque et surtout la taille des bassins (plusieurs dizaines d'hectares) faisaient de ces installations une référence en matière de lagunage. Le schéma hydraulique consistait déjà à récupérer les eaux traitées dans la Zarka river puis dans les système d'irrigation de la Jordan valley à l'aval du Tahal dam.

L'efficacité épuratoire a rapidement chuté avec le développement très intense de la ville et l'augmentation corrélative des raccordements aux réseaux d'assainissement aboutissant aux lagunes. Sous dimensionné le système a commencé à gravement dysfonctionner, entraînant odeurs sur le site et début d'eutrophisation du lac de retenue du barrage.

Les Autorités jordaniennes (WAJ et JVA) ont pris la mesure des enjeux et décidé de prendre en compte la nouvelle donne. Le maintien du process extensif étant incompatible avec l'équation foncière et géotechnique (le lagunage demandant des centaines d'hectares additionnels), il était logique d'envisager une solution intensive ; l'option boues activées était alors l'option rationnelle. Et dans une logique assumée de REUT, en addition du process d'épuration, la conception du nouveau design a été d'inclure la filière de désinfection, à savoir la chloration finale avant sortie de step.

6.1.4 Objectifs poursuivis

La mise en œuvre de la step de SAMRA obéit donc à une série d'objectifs qu'on peut résumer comme suit :

- Remplacer des ouvrages saturés
- Accroître la ressource en eau
- Fournir de l'eau épurée pour l'irrigation
- Soutenir l'étiage du wadi Duhleil et de la Zarka river, étant entendu que quelques riverains de ces cours d'eau peuvent faire valoir leurs droits d'eau d'irrigation
- Contrôler l'arrivée d'azote dans le King Tahal dam via la Zarka river, et sauvegarder l'environnement

6.1.5 Spécificités et contexte de l'usage de l'eau

Les irrigants à l'aval immédiat de la step

Lors de la mise en service de la nouvelle step de SAMRA, il a fallu prendre en compte des irrigants particuliers, à savoir les usagers à proximité immédiate des anciennes lagunes et qui avaient pour technique de pomper l'eau directement dans les derniers bassins de la station. Ce faisant ces paysans disposaient d'une eau correctement épurée à l'époque où la station fonctionnait bien et n'était pas en surcharge ; le pompage à partir des lagunes de finition étant en effet garant d'une épuration efficace.

Cette habitude, ou plutôt cet usage ont perduré et au moment du démantèlement de la station de lagunage et du comblement partiel et progressif de certains bassins reconvertis en stockage de boues, ces irrigants ont maintenu leur dispositif de pompage mais dans des bassins devenus impropres à une épuration de qualité.

En pratique cette situation reste tolérée, à charge pour le gestionnaire de la step d'alimenter les bassins et de faire fonctionner à minima les lagunes encore en service. Il est souhaitable de mettre de l'ordre à cette situation qui concerne tout de même une cinquantaine de paysans.

Les irrigants riverains de la Zarka river

D'autre part, une catégorie moins "clandestine" d'irrigants est constituée par une série d'usagers qui sont établis de part et d'autre de l'aval de la station jusqu'au barrage King Tahal. Certains de ces riverains ont des droits d'eau en bonne et due forme et la qualité de sortie de la nouvelle step leur donne satisfaction en termes sanitaires. Par contre il existe également des prélèvements dits illicites qui permettent à d'autres familles de vivre en bordure de la rivière au moyen de systèmes de pompage plus ou moins sommaire. La JVA doit tenir cette situation en mains en vue de régulariser ces usages.

Bilan

Pour mettre en perspective les pourcentages d'eau concernés par ces usages on peut retenir les chiffres de prélèvements d'eaux usées traitées comme suit :

- Irrigants branchés sur l'ancienne station de lagunage : 5 %
- Irrigants au fil de l'eau du wadi, de la Zarka river et directement dans le lac du barrage : 15 %
- Reliquat au niveau de la Jordan valley (l'essentiel) : 80 %

6.1.6 Effets indirects du projet

Avec le changement de process dans le traitement, les premiers irrigants ont obtenu (forte pression politique ou similaire) que la fourniture de l'eau soit maintenue à partir des lagunes bien que le système lagunaire ne soit plus en état de fournir une eau épurée. Au moins 30 000 m³ / jour sont mis à la disposition des agriculteurs à titre gratuit. La superficie concernée est difficile à évaluer, elle concerne moins de 900 ha. Sur la base des informations fournies par les agriculteurs qui utilisent 20 000 m³ / an sur le Bersim (luzerne) 550 ha seraient irrigués par les lagunes. De fait ce système produit des nuisances olfactives, maintien un système d'irrigation officieux (absence de droits pour prélever de l'eau), diminue le volume des eaux transitant par le nouveau système d'épuration, contribue à un gaspillage de l'eau sur des parcelles qui ne sont pas suivies ni sur le plan agronomique ni sur le plan qualitatif. Enfin il est clair que le caractère ambigu de cet usage complique les relations entre les différents partenaires : agriculteurs – O&M ; agriculteurs – Ministère de l'environnement ; agriculteurs - JVA.

L'utilisation des produits chlorés pour le traitement final gêne les utilisateurs. L'eau issue du nouveau process véhicule moins de phosphate et de potassium. Les achats d'engrais composés (NPK) ont augmenté. Il existe un vrai paradoxe entre la volonté de diminuer les risques d'eutrophisation du KTD et celle de fournir une eau qui permettrait aux agriculteurs de diminuer le coût des intrants.

Contamination de la nappe par la station, les puits ne peuvent plus être utilisés. D'où une certaine obligation de fournir l'eau par la station. Il n'y a pas d'accès à l'eau potable.

La perte d'une superficie (au moins 100 ha) d'oliviers morts de sécheresse après l'abandon de l'irrigation au moment du transfert de process à la STEP. La gestion future de cet espace agricole n'est pas encore définie. L'olivette abandonnée constitue une image négative pour la qualité du traitement par la STEP.

6.1.7 Risques

Sur les trois catégories d'irrigants mentionnés plus haut, ceux qui s'alimentent directement aux bassins de l'ancienne step sont actuellement dans une situation à risque sanitaire en attendant qu'une solution durable soit mise en œuvre ; il est en effet prévu que l'opérateur de la step supprime le dispositif actuel et alloue une dérivation spéciale en sortie de la step actuelle à destination de ces usagers.

6.1.8 Contexte des ressources en eau et de la GIRE dans la région



Le projet de réutilisation s'inscrit dans le contexte de la Vallée du Jourdain espace de plus en plus exposé à un déficit global des ressources hydriques dans une région aride à évaporation intensive. L'ensemble du bassin versant concerne des entités de droit ou de fait, le Liban, Israël, la Palestine et la Jordanie où l'eau reste un enjeu majeur à la fois politique, social et économique. Dans chacun des trois pays les programmes de bassin intégré ont été depuis très longtemps confrontés à des crises majeures. A l'heure actuelle des conventions internationales gèrent le partage des eaux, mais des tensions subsistent¹⁰ surtout depuis les quatre dernières années où les sécheresses ont été plus marquées que d'habitude, alors que dans le même temps les besoins se sont intensifiés.

¹⁰ Une croissance démographique élevée qui accroît les besoins en eau

C'est la JVA qui a la charge depuis 1977 du développement intégré de la vallée, sous tous ces aspects géographiques. La JVA se trouve confrontée à un problème de gestion de la distribution qui dépasse maintenant celui de gestion de la ressource. Dans le contexte où toute goutte d'eau disponible prend un intérêt majeur, et ceci quelque soit sa provenance, la réutilisation des eaux usées devient la seule ressource qui puisse augmenter avec la croissance urbaine. De fait cette ressource prend une valeur économique et sociale renforcée.

Six barrages ont été construits dans la partie Nord et centrale de la vallée du Ghor, rassemblant une capacité nominale de stockage de 160 Millions de m³. Les six barrages sont : Wadi Arab, Ziglab, King Talal, Karamah, Shueib, et Kafrein. Le barrage King Tallal a une capacité de 75 Millions de m³. Ce réservoir n'est actuellement pas à sa côte maximale.

Dans le sud de la vallée trois autres barrages stockent 57,3 M de m³: Tannour, Wala and Mujib

En amont le barrage de Wehda a été construit sur le Yarmouk pour stocker 110 M de m³ destinés principalement aux besoins de la ville d'Amman mais aussi à l'irrigation de la Vallée. Cette capacité est loin d'être atteinte les volumes annuels du Yarmouk diminuent fortement de 13,7 millions de m³ en 1992 à 5 millions en 2004.

Le King Abdullah Canal a été construit pour collecter l'ensemble des apports sur 110 kilomètres.¹¹

La zone irriguée couvrirait environ 36 000 ha. Face au déficit de la ressource ces superficies sont certainement en diminution. Les valeurs de l'étude effectuée par la coopération française, à partir de la Mission Régionale pour l'Eau et l'Agriculture (MREA), en étroite collaboration avec la JVA annoncent 31160 hectares. (Pilot phase of a project called IOJoV – "Irrigation optimization in the Jordan Valley").

Mais il est général de remarquer qu'en cas de pénurie la dotation à l'agriculture est toujours celle qui est affectée en priorité. Aucune réponse précise n'a pu être apportée à la question du comblement éventuel du déficit que pouvait potentiellement représenter un meilleur contrôle de la réutilisation, portant en particulier sur une efficacité accrue du transfert de l'eau entre la STEP et les agriculteurs. Il convient toutefois de souligner que le thème de l'optimisation des efficacités reste fortement d'actualité sur la vallée avec le développement de l'irrigation localisée et les aides financières apportées aux agriculteurs pour limiter les consommations. Un vaste programme de modernisation des équipements à la parcelle est en cours de réalisation avec l'aide depuis plusieurs années de la SCP et de l'ONG MIRRA, en accompagnement de JVA.

Pour résumer il faut rappeler que l'ensemble de la ressource de la vallée est constituée d'un assemblage de plusieurs origines : Le Jourdain et son stockage sur le Tibériade, le Yarmouk, les affluents de la rive droite, la station de traitement de Samra. L'ensemble théorique serait de 327 millions de m³ par an (l'inconnue reste l'eau en provenance du lac de Tibériade et la dotation d'Israël pour respecter les accords de partage des eaux). Dans cet ensemble l'apport de la STEP serait voisin du quart des ressources. Ce qui est loin d'être négligeable, et qui permettrait d'irriguer environ la moitié des surfaces agricoles de l'ensemble de la vallée.

Les utilisations sont celles de la ville d'Amman (plus de 2 .2 millions d'habitants, avec un besoin entre 60 et 90 millions de m³ par an, selon hypothèses de consommation par habitants), ce qui avec les pertes porterait les besoins à 135 millions de m³. L'agriculture émettrait un besoin de 160 à 190 millions de m³.

Inégalité des pays/ressources en eau (certains pays, comme le Liban, ont plus d'eau que les autres)

Inégalité des niveaux de consommation étroitement corrélés aux contrastes de développement

Complexité des réseaux hydrologiques qui ne respectent pas les frontières

Faiblesse des capacités institutionnelles qui aggrave le niveau élevé des pertes et des gaspillages.

¹¹ L'ensemble des données techniques sont accessibles sur le site internet de JVA et n'ont pu faire l'objet d'une communication personnalisée de cette autorité.

6.1.9 Volume disponible d'EUT

Compte tenu des performances de la step le volume disponible en moyenne inter mensuelle est de 7,5 millions de m³, soit un total annuel de 130 à 140 millions de m³, incluant des volumes d'eau pluviale additionnelle qui transitent jusqu'à la station après prise en compte des échappées au niveau des déversoirs d'orage.

6.1.10 Mesures d'accompagnement

Dans ce type de projet les mesures d'accompagnement concernent en priorité les activités induites par la réutilisation, ici l'activité agricole, qui ne peut se développer qu'avec l'irrigation.

La Ministère de l'Agriculture serait le premier concerné pour aider les agriculteurs à produire des cultures à haute valeur ajoutée tout en cherchant à réduire les coûts de production et à optimiser l'usage des biens rares que sont l'eau et le sol. Mais ce Ministère manque de moyens et c'est surtout vers le gestionnaire de la STEP que se sont tournés les attentes en matière d'accompagnement du projet.

Théoriquement le rôle de l'exploitant s'arrête à la sortie des eaux de la STEP, et les mesures d'accompagnement ne concernent pas directement le gestionnaire O&M (Samra Plant Operation & Maintenance). Toutefois le groupe développe actuellement une politique de communication plus soutenue et a nommé un médiateur pour intervenir auprès des agriculteurs dans la négociation des usages de l'eau, et surtout dans la prise en compte des volumes à mettre à leur disposition.

A l'aval de la STEP il faut distinguer deux zones d'intervention:

- en amont du KTD, un espace agricole qui utilise exclusivement une eau issue de la STEP. Cette zone bénéficie peu des mesures d'accompagnement, même si la WAJ a engagé des tentatives d'appui par rapport aux volumes distribués. Les agriculteurs semblent se baser sur un privilège acquis pour utiliser l'eau de la station et sont peu contrôlés ni encadrés. C'est principalement sur cette zone qu'intervient le médiateur de O&M. Il faut remarquer que toutes les interventions dans cette zone sont ciblées sur la continuité du service de l'eau et non pas sur le développement agronomique.
- en aval du KTD, les agriculteurs utilisent une eau mélangée provenant du KAC (Tibériade + Yarmouk + petits réservoirs à partir de petits affluents + eau du KTD), mais aussi ont parfois accès à une ressource individuelle à partir de forages dans la nappe. Cette dernière ressource allant vraisemblablement vers un épuisement total à court terme. Le mélange des eaux de la STEP avec celles du milieu naturel est récent et date de 2008. Comme le périmètre irrigué est par contre très ancien le suivi agronomique dans la vallée du Jourdain est plus précis et identifiable. Un large programme d'appui aux techniques d'irrigation a été conduit par JVA + SCP, essentiellement sur les économies d'eau à la parcelle. D'autre part GTZ apporte un soutien aux WUAS's. Le volet commercialisation n'est apparemment pas intégré au volet agronomique et l'esprit filière intégrée de produit est peu mis en avant.

6.1.11 Perspectives d'évolution

Agrandissement de la station

Mettre de l'ordre dans l'obtention des droits d'eau

6.2 CARACTERISTIQUES TECHNIQUES

6.2.1 Épuration : process, qualité des eaux en sortie

La station est un ensemble complet fonctionnant en boues activées. Plusieurs éléments de modernité à signaler : la récupération d'énergie via le turbinage des effluents bruts entre la sortie des réseaux urbains et le site de la step en contrebas d'une part et la récupération de biogaz d'autre part rendent l'usine quasiment autonome en énergie.

6.2.2 Le cas des eaux industrielles

Les unités industrielles sont tenues d'installer avant rejet dans le réseau municipal un dispositif de prétraitement. Il semble que cette disposition est plus ou moins respectée. En effet au vu de la qualité de l'effluent d'entrée dans la step (charge organique élevée par rapport aux standards d'un effluent domestique) certains industriels ne doivent pas être en règle ; il doit s'agir des industriels de la filière agro alimentaire

6.2.3 Les dispositifs propres au mode de REUT : désignation des ouvrages, dimensionnements

6.3 ORGANISATION ET MAINTENANCE

6.3.1 Mécanismes administratifs de cession d'eau

L'organisme responsable de la gestion de l'eau dans la vallée de la Zarqa est maintenant la JVA. Mais c'est le Ministère de l'eau qui est en charge de la régulation de l'utilisation des eaux usées, avec une unité spécifiquement adaptée qui est la Water Reuse and Environmental Unit (WREU). Théoriquement pour irriguer les exploitants doivent obtenir un droit d'eau, avec une inscription sur un rôle dont la contrepartie est le paiement d'une redevance, 12 fils pour 1 m³ en 2009.

Sur la partie irriguée par les lagunes les agriculteurs ont obtenus un engagement écrit de l'exploitant de la Step (O&M) pour disposer d'un volume au moins égal à 30 000 m³ / jour. Ce document n'est en fait pas reconnu par la JVA. D'après JVA moins d'un quart des agriculteurs en amont du KTD seraient autorisés à irriguer une superficie de 2500 dunums. Ces observations laissent à penser que tout autour de la STEP les agréments entre les usagers et les organismes gouvernementaux ne sont pas clairement établis. Il existe une volonté de modifier la situation actuelle, mais les divers projets pour clarifier les autorisations de prélèvement ne sont pas du tout aboutis.

6.3.2 Particularités propres au mode de valorisation

La valorisation des rejets se fait sur les terres agricoles, il est possible de distinguer quatre espaces agricoles, ainsi identifiés par rapport à la ressource en eau utilisée :

1. Le premier espace comprend les terres agricoles la plupart situées en contre bas des bassins de lagunage construits en 1985 pour le premier système de traitement de la STEP. Ces bassins depuis 2008 ne participent plus au process de traitement des eaux et servent uniquement à l'irrigation de cet espace. Il s'agit d'une eau non traitée provenant du système d'assainissement de la ville d'Amman. L'espace agricole couvre environ 600 ha. Les terres sont utilisées pour la culture du bersim et de quelques céréales. L'eau est prise par gravité dans les lagunes. Elle est mise gratuitement à la disposition des agriculteurs. Les besoins sont considérables, environ 18 000 m³ à l'ha en moyenne pour les cultures fourragères pérennes (7 à 8 coupes par an) et les céréales. Cet espace consommerait quelques 11 millions de m³ par an.
2. Le second espace est encore proche de la STEP mais pompe l'eau dans le Wadi Dhuleil. C'est donc une eau épurée en sortie de station qui est utilisée, là encore pour des cultures fourragères. 300 ha sont concernés, un seul propriétaire regroupe ces terres. Les volumes utilisés dans l'année sont de 6 millions de m³. L'irrigation ici a un cout : celle du pompage, mais surtout celle d'une redevance liée à un droit d'eau identifié sur l'unique propriétaire de la zone. Il n'est pas sur que ce droit d'eau s'applique à l'ensemble des 300 ha.

Une association d'agriculteurs regroupe ces deux premiers espaces irrigués. Ensembles ils irriguent 900 hectares. La forte consommation annoncée correspond aux valeurs que l'on peut recouper à partir des chiffres fournis par la STEP ou par le représentant local du Ministère de l'environnement, une luzerne (bersim ou alfalfa) bien conduite c'est au moins 15 000 m³ par ha, mais ici cette consommation paraît démesurée par rapport aux objectifs locaux de réduction des gaspillages. De fait ces deux zones sont actuellement considérées en sursis, il est possible qu'à terme, et au mieux, que leur plan cultural évolue complètement, ou encore que la ressource en eau ne soit plus attribuée.
3. Le troisième espace est plus diffus. C'est celui qui longe la rivière Zarka jusqu'au barrage King Tallal (KTD). Il est estimé à 300 ha, en s'étirant sur des parcelles assez étroites sur lesquelles sont irriguées des cultures alimentaires : un peu de légumes, céréales, oliviers et parfois du bersim. L'eau est celle qui provenant de la STEP est traitée et déversée dans le wadi Dhuleil, affluent de la rivière Zarka. Les besoins en eau sont ici plus modestes, estimés à 5000 m³ par ha. Soit un total annuel qui est de 1,5 millions de m³.
4. L'espace suivant est celui qui se situe dans la moyenne vallée du Jourdain, en aval du KTD. Plusieurs périmètres recevant les eaux du KTD ont été identifiés par l'étude du MREA aussi bien en rive gauche et en rive droite du King Abdullah Canal (KAC). Tous reçoivent des eaux mélangées venant du KAC et du KTD. En estimant une consommation de 5000 m³ par ha les ressources du seul KTD permettraient d'irriguer 17 400 ha

LES USAGES AGRICOLES DE LA STEP SAMRA

Espace		M3/s	M3/j	M3/an	ha	Besoin en eau/ha	Commentaire
	Rejet nominal de la step	3	259 200	94 608 000			
	Rejet janv. 2010	2,55	220 000	80 300 000			
2	Usage irrigation à partir du pompage dans Wadi Dhuleil			6 000 000	300	20 000	Irrigation + - contrôlée
3	Usage d'irrigation à partir du pompage dans As Zarqua			1 500 000	300	5 000	Irrigation + - contrôlée
4	Apport nominal dans KTD			87 108 000	17422		
	Apport brut dans KTD			72 800 000	14560		
1	Apport de la STEP à partir des anciens bassins de lagunage		30 000	10 950 000	608	18 000	Irrigation peu contrôlée et apparemment sans droits
	Association à proximité de la STEP					908	

En 2006 Les terres irriguées en aval du KTD représentaient 19 660 ha (source étude MREA). Soit les eaux de la STEP vont permettre de pérenniser ces espaces agricoles, soit elles vont permettre d'accroître la superficie des terres irriguées dans la vallée et se rapprocher ainsi des 40 000 ha en production. Le volume disponible grâce à la STEP permettrait de penser qu'une solution mixte de renforcement des espaces irrigués pourra être retenue, cependant les entretiens sur le site n'ont pas permis de savoir ce qu'il pouvait en être exactement.

La particularité du mode de valorisation vient du fait qu'il est difficile d'unifier les modes d'usage de l'eau dans la vallée. D'une part parce que certains fermiers irriguent sans droit à partir d'une eau non traitée donc la ressource et leurs activités sont non contrôlées. D'autre part plusieurs fermiers, et ils sont majoritaires en nombre et en superficie, ont plusieurs ressources à leur disposition mais le système actuel ne permet pas de distinguer de manière très précise les origines des volumes utilisés. De fait les effets de la ressource créée par la STEP sont estimés mais non validés par l'organisme le plus concerné qui est la JVA. Le calcul indique un ordre de grandeur entre 17 000 et 19 000 ha irrigués (en fonction de la réduction des besoins en fourrages) au total à partir de cette ressource, c'est dans cette fourchette de valeurs, considérée comme une estimation, que pourront être approchés les calculs de l'impact économique du projet.

6.4 ROLE DES DIFFERENTS MINISTERES ET ORGANISMES

Le Ministère clef en matière de réutilisation agricole reste le Ministère de l'eau et de l'irrigation (Ministry of Water and Irrigation – MoWI). Deux entités administratives agissent sous son autorité :

- Water Authority of Jordan (WAJ). Cette agence gouvernementale créée en 1988 a pour objectif de formuler la stratégie et les règlements, de développer le plan des ressources en eau, de promouvoir le développement des unités de traitement, de rechercher des moyens financiers, d'encadrer la réalisation des unités de traitement des eaux (potables et à assainir) de contrôler la qualité des effluents. Cette agence est très impliquée dans les évaluations environnementales et dans la protection des ressources en eau
- Water Reuse and Environment Unit (WREU) affiche un rôle de terrain plus marqué en réalisant les analyses de sols et de cultures et en préparant les standards de la réutilisation et leur révision. Cette unité est responsable du traitement et de la réutilisation des eaux usées, et s'est dotée d'un National Water Reuse Coordination Committee WRCC, chargé de coordonner les différents projets dans le domaine du retraitement des eaux usées.

Sous l'impulsion du ministère la pratique de la réutilisation des eaux traitées en Jordanie a beaucoup évolué ces dernières années au sein du Gouvernement. Une politique nationale a été mise en œuvre pour encourager le lancement de projets au sein des communautés urbaines et des standards ont été développés pour encadrer l'utilisation des eaux traitées en agriculture et dans le secteur industriel.

Enfin toujours au sein du MoWI il existe la Water Demand Management Unit (WDMU), chargée de la gestion de la demande en eau, qui reste en étroite relation avec les deux piliers de l'action gouvernementale en matière de réutilisation la WAJ et la WREU.

Les autres ministères concernés sont le ministère de la Santé (MoH) qui analyse les effluents une fois par mois et confortent les résultats avec la WAJ, qui pratique également des prélèvements sur les productions agricoles et prépare avec le MoWI le contenu et l'application des standards.

Le Ministère de l'Environnement (MoE) qui est associé aux deux précédents ministères pour l'établissement des standards et des analyses sur la qualité des effluents.

Le Ministère de l'Agriculture cherche à maximiser la qualité et la valeur des produits agricoles. Il reste vigilant à la quantité des volumes disponibles pour les irrigants.

6.5 DONNEES ECONOMIQUES ET FINANCIERES

6.5.1 Montant de tous les investissements

Le total des investissements de la step, y compris les émissaires d'amenée s'élève à 180 millions US\$

6.5.2 Plan de financement

Conformément à la volonté politique nationale de développer la réutilisation des eaux usées le projet a bénéficié d'une subvention de 60% du montant total soit 108 M us\$. Le complément a été financé par un prêt de 72 M us\$ (52 M €) sollicité auprès d'un groupe rassemblant plusieurs organismes bancaires, pour une durée de 12 ans.

6.5.3 Budgets de fonctionnement

La STEP est géré par le groupement SPC (Samra Wastewater Treatment Plant Co.) pour le compte du MoWI. Un contrat BOT a été signé entre les deux parties pour 25 ans (3 ans de construction et 22 ans d'exploitation).

La valeur du prix de revient du m³, communiquée par SPC est de 0,18 €. Ce Chiffre traduit les dépenses de fonctionnement traditionnelles : maintenance courante, énergie, main d'œuvre, et certainement aussi le renouvellement et les charges financières du projet.

Il faut souligner :

- le coût assez restreint de l'énergie, 90% de la consommation actuelle est produite par deux centrales sur le site de la STEP, en utilisant astucieusement les différentes dénivelées entre les points de collecte et de traitement (60% de l'énergie produite), mais aussi le procédé de méthanisation (40% de l'énergie produite).
- Un coût de main d'œuvre qui reste relativement faible. 100 employés sont présents sur le site, et 60 personnes sur les points de pompage.

6.5.4 Politique tarifaire

Dans le cadre du BOT elle ne rentre pas en ligne de compte. Le gouvernement Jordanien prélève une taxe assainissement auprès des usagers urbains (Amman et Zarqa), cette valeur n'est pas encore communiquée par la JAV. De même par l'intermédiaire de la redevance eau (12 fils par m³) liée au droit d'eau, le gouvernement applique un principe de tarification unique sur l'ensemble du pays.

6.5.5 Rentabilité des différentes composantes du projet

Pour le maître d'ouvrage la procédure BOT reste une garantie pour la bonne marche de l'équipement au moins sur la période contractuelle. Dans ce genre de contrat les risques restent faibles, puisque la rémunération de l'opérateur est fixée d'avance. Le risque du maître d'ouvrage est de ne pas recouvrir les redevances auprès des usagers. Les risques pour l'opérateur sont plus importants surtout sur le plan technique. Théoriquement l'évaluation des charges annuelles est ajustée pour parer aux aléas de la production.

Au niveau des exploitants agricoles il faut rappeler qu'en Jordanie l'accès à l'eau reste une question de survie. Ici l'objectif n'est pas d'augmenter un revenu, mais d'en avoir un, tout simplement.

Dans le système agricole actuel deux grands types de production sont concernés :

- un système extensif pour la production de fourrages, qui fournit un revenu net de l'ordre de 1 200 € par hectare (avec frais de pompage et frais culturaux). La valorisation du m³ dans ce cas est de 6 fils.
- Un système plus intensif situé dans la vallée avec des cultures à haute valeur ajoutée. On y retrouve des cultures pérennes avec les vergers de citrus et les plantation de bananiers (en faible proportion) et surtout des productions maraîchères de plein champ, et enfin des serres de légumes dont une partie peut être exportée. Sur la base de l'étude du MREA et de la SCP en 2006 le tableau suivant donne les grandes lignes des résultats qui peuvent être obtenus sur les parcelles intensives. Il s'agit là d'une moyenne qui masque les différents modes d'irrigation adoptés dans la vallée et décrits dans l'étude en référence. Le calcul de la valeur ajoutée n'incorpore pas le coût de la main d'œuvre familiale.

	Vaj moyenne	Besoins en eau irrigation	Valorisation du m ³ à l'ha
	JOD / ha	m ³ / ha	JOD / m ³
Maraichage plein champ	1 510	5 500	0.27
Maraichage sous serre	3 333	4 500	0.74
Citrus	1 920	4 560	0.42
Bananiers	4 810	9 130	0.53
Alfalfa fourrage	1 200	20 000	0.06

Tableau 4 Comparaison des valeurs ajoutées produites dans l'espace agricole irrigué et valorisation du m³ pour l'irrigation. Valeurs en Ha et en m³

Rappel 1€ = 1JOD

Un tel résultat même un peu grossier dans son approche garde l'avantage des grandes comparaisons. Les cultures fourragères valorisent mal l'irrigation, et dans le contexte de pénurie ne devrait pas être envisagées.

6.6 ASPECT SOCIAUX

L'agriculture de la vallée du Jourdain garde un niveau de productivité élevé bien que plusieurs facteurs de production s'avèrent difficile à conserver dans une dynamique de moindres coûts. En particulier l'absence d'une main d'œuvre locale et bon marché conduit à faire venir des ouvriers agricoles soit d'Égypte, soit des Philippines. Ces ouvriers ont du mal à s'insérer dans ce milieu très productif. Les conditions d'accueil de cette main d'œuvre restent précaires. En fait l'agriculture mobilise peu d'actifs, environ 5% en 2010, et n'arrive pas à être suffisamment attractive auprès des nombreux chômeurs (le taux de chômage est supérieur à 14% en Jordanie).

L'agriculture ne représente que 3,6% du PIB national. Mais les effets induits demeurent très importants puisqu'en fait l'agro industrie, et l'exportation permettent le développement d'activités amont et aval aux filières agricoles. In fine l'ensemble pourrait représenter presque 30% du PIB.

Peu de propriétaires exploitent eux-mêmes leurs parcelles, et ont recours à des intermédiaires pour valoriser leurs biens. Les lots d'exploitation attribués par le gouvernement sont inférieurs à 4ha, ce qui induit un morcellement intense, mais également oblige à intensifier la mise en valeur. Actuellement les sols se sont considérablement appauvris et les nappes sont inutilisables, avec un manque d'eau qui s'aggrave et une pollution évidente due à la surcharge humaine sur la vallée.

Apparemment les agriculteurs acceptent sans problème l'usage d'une eau recyclée. L'origine de l'eau ou sa qualité ne sont pas déterminants, c'est le paramètre de la quantité qui est la source de toute discussion, et de toutes les pressions du monde agricole.

6.7 SUIVIS DES CULTURES

Le suivi de la qualité des produits agricoles semble s'effectuer régulièrement et correctement dans la vallée, en tout cas les outils sont en place pour que ce suivi soit effectif.

Les résultats sont apparemment peu publiés ou peu connus du grand public, car dans un grand nombre d'articles, et même récents, l'agriculture de la vallée est présentée sous un aspect négatif du fait du mélange des eaux du KAC avec celles du KTD et de la STEP. Un gros effort de communication reste encore à faire par le gestionnaire de la STEP ; Le MoWI et son mandat la SPC.

6.8 CONCLUSION

Le projet présente un haut niveau de réussite dans la mesure où les volumes d'eau destinés à la valorisation agricole participent effectivement de manière additionnelle à la mise en valeur de la Jordan valley. Même si des difficultés ponctuelles subsistent quant à la gestion à proximité de la step pour certains irrigants clandestins, la volonté affichée de la WAJ de négocier avec SUEZ un accord de fourniture d'eau de qualité est de bon augure.

Concernant le dispositif de stockage intermédiaire que constitue le King Tahal dam, on constate que cet aménagement hydraulique par le mélange qu'il opère, y inclus les volumes d'eau pluviale urbains (ce qui n'est pas négligeable) rend la tarification unique de l'eau plus aisée.

On est loin ici des questions "existentielles" sur le "qui paie quel traitement" en fonction du niveau de traitement, rencontré dans plusieurs pays du bassin méditerranéen.

L'implication de la JVA jusqu'aux abords de la step, pour suivre la qualité des rejets est, à l'évidence une disposition institutionnelle qui participe à cette réussite.

6.9 DOCUMENTS CONSULTÉS

- Eau et Irrigation n° 10 Juin 2007 Mission Régionale Eau et Agriculture – Ambassade de France en Jordanie
- Historical Transformations of the Lower Jordan River Basin- Changes in Water Use and Projections (1950 – 2025). IWMI
- National Environment Strategy for Jordan – The World Conservation Union – IUCN
- SUEZ Environnement – Eau, ressources alternatives Grands savoirs environnementaux – mars 2006
- SAMRA Wastewater Treatment Plant JORDAN – SUEZ – DEGREMONT

6.10 LISTE DES PERSONNES RENCONTREES

- Daoud Khoury technical advisor Degremont Jordan
- Kost Ziadeh financial manager SPC (Samra Wastewatertreatment plant)
- Guillaume Panzani deputy environmental manager Suez – Samara Plant O&M
- Céline papin SCP coordinatrice projet IOJOV
- Lucile Carrez stagiaire AFD Amman
- Zakaria Tawaneh chief executive officer MIYAHUNA – Jordan Water Company
- Hassan Abdallah general manager SAMRA Wastewater treatment plant
- Jamal Rushdan WREU WAJ (Water Authority of Jordan)
- Abdelkareem Shalabi, ingénieur à la JICPE, protection de l'Environnement
- Mohamed Hamdan, président d'association d'irrigants

6.11 SIGLES ET ACRONYMES

Dunum	0, 10 ha
Fils	1 / 1000 JD
GTZ	German Technical cooperation
JOD	Jordan Dinar = 1 €
JVA	Jordan Valley Authority
MoA	Ministry of Agriculture
MoE	Ministry of Environment
MoH	Ministry of Health
MoWI	Ministry of Water and Irrigation
MREA	Regional Mission for Water and Agriculture
SCP	Société du Canal de Provence
SPC	Samra Wastewater Treatment Plant Co.
WAJ	Water Authority of Jordan
WREU	Water Reuse and Environment Unit

7. Fiche de projet SHAFDAN

7.1 DEFINITION DU PROJET

7.1.1 Localisation

Le projet est localisé à la fois dans la périphérie sud de Tel Aviv pour ce qui concerne l'épuration et la désinfection des eaux usées et dans l'immédiat Néguev à 100 km au sud, pour ce qui est de la valorisation agricole des effluents traités.

Les eaux usées du Grand Tel Aviv, Jaffa et des villes satellites (la région dite de Dan) sont collectées et envoyées sur le site d'une step à 20 km de la ville en bordure du littoral méditerranéen. Là après une épuration complète physico chimique et biologique, les eaux sont refoulées sur le site voisin de recharge de nappe. Ceci constitue l'originalité du dispositif de traitement final qui cumule l'efficacité de la désinfection par percolation sur le massif de sable qui sépare la surface du toit de la nappe (une vingtaine de mètres) et le stockage inter saisonnier.

Le dispositif de recharge de la nappe est constitué de sept terrains fonctionnant en alternance où sont envoyés régulièrement les débits de sortie de la step. Le système d'alternance permet non seulement à l'effluent de percoler mais également, une fois le transit de l'eau achevé jusqu'à la nappe de ré oxygéner le massif ; en effet le remplacement progressif des molécules d'eau par l'air favorise l'oxydation et l'élimination des bactéries et pathogènes encore présents dans l'effluent ¹².

Un système de pompage dans cette nappe permet alors de renvoyer l'eau vers le sud dans la région du Néguev où elle est stockée dans des réservoirs de grande capacité puis distribuée à différents utilisateurs qui irriguent une série de terres dévolues essentiellement au maraîchage.

La particularité de ce maraîchage est qu'il est conduit dans une logique de grande économie d'eau en partie dans des serres et presque toujours au goutte à goutte ; le conditionnement des produits ainsi obtenu est conçu pour une exportation massive vers l'étranger. A noter que les choix agronomiques reposent sur une irrigation non restrictive, la seule disposition rappelant l'origine de l'eau est parfois l'usage de chlore pour le nettoyage final des produits avant conditionnement.

¹² Cf rapport de phase 1 et considérations générales sur le SAT

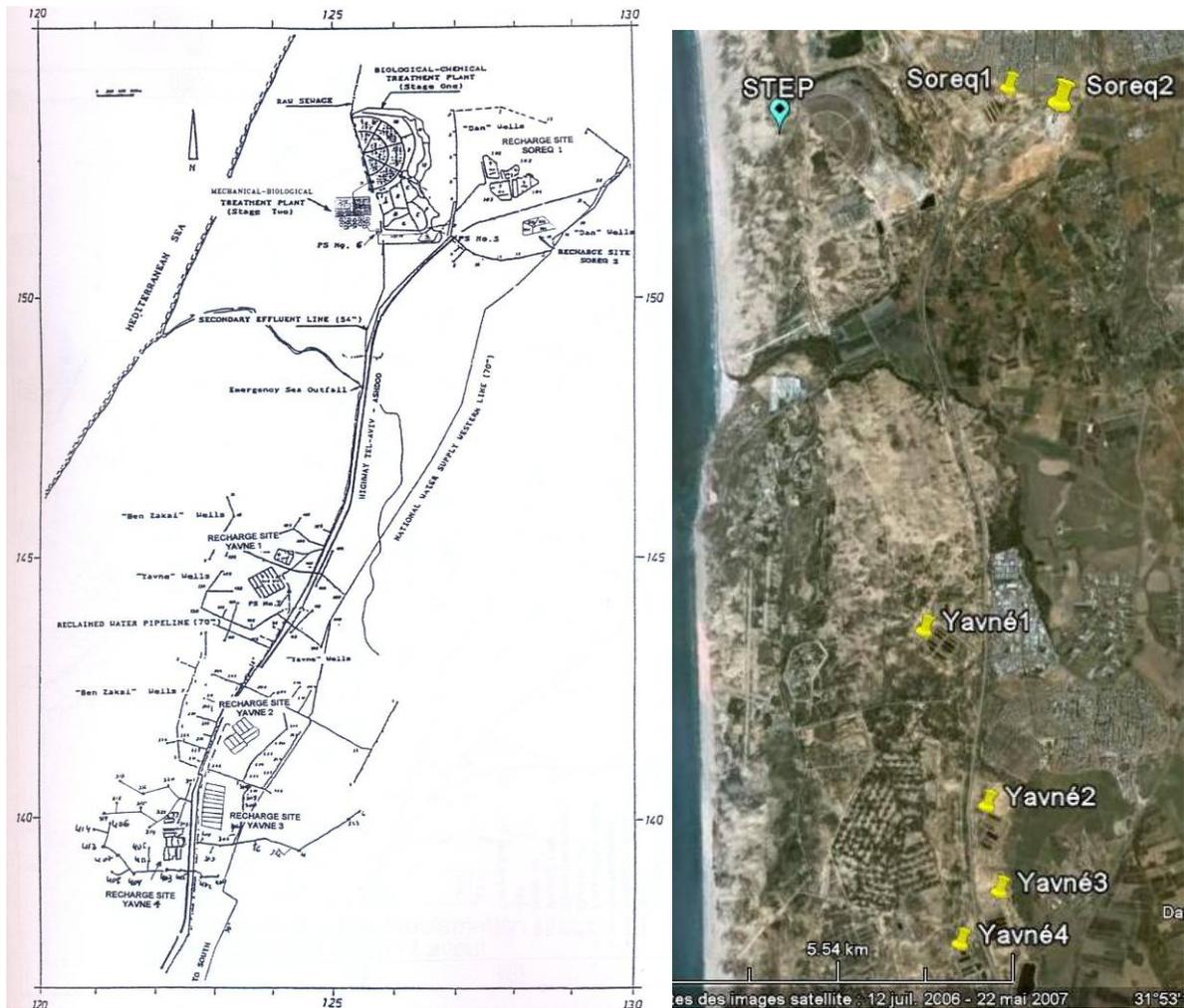


Figure 3 : Plan de situation du Projet : schéma d'après Icekson et al13 (2008) et image Google Earth.

7.1.2 Aspects climatiques

La région du Néguev où se concentre la valorisation agricole est une zone désertique dont la pluviométrie moyenne inter annuelle est inférieure à 100 mm par an et donc caractéristique d'un climat de type aride.

¹³ N.Ickson Tal, M.Michail, T.Kraitzer, D.Sherer, G.Shoham : Dan region reclamation project, groundwater recharge with municipal effluent; Annual Report 2008 ; Mekorot Water Company Ltd.

7.1.3 Historique

L'épuration des eaux usées de Tel Aviv remonte aux années 70, époque où une station de lagunage fut réalisée avec rejet en mer des effluents épurés. Le passage au processus de boues activées survient dans les années 80 et dans le même temps les premiers bassins d'infiltration de l'effluent de sortie de step sont mis en place (1987 puis 1988). Un système de suivi de la qualité de l'eau rechargeant la nappe est également installé, couplé à un monitoring piézométrique chargé de mesurer l'évolution du niveau de la nappe en fonction des volumes infiltrés.

C'est en 1989 que le dispositif d'exhaure de l'eau infiltrée est réalisé après la période d'observations concluant que la qualité de l'eau ainsi percolée autorise l'irrigation non restrictive de plantations. Le principe d'un pompage de sortie dont le débit quasi identique au débit d'injection est retenu, confirmant que le transit par la nappe de l'effluent est une part entière du processus de désinfection et créant une sorte de continuité hydraulique de l'entrée de la step jusqu'aux lieux de valorisation.

L'émissaire refoulant les eaux usées traitées vers le sud vient en addition de deux feeders déjà existant : une ligne d'eau brute dédiée à l'irrigation et une ligne d'eau traitée dédiée à la desserte en eau potable. L'appellation de "third line " pour désigner la nouvelle conduite de transport d'eau vers le sud du pays indique clairement que le montage mis en place constitue bien une ressource à part entière. Pour la sécurité de la maintenance de ces trois conduites il est convenu d'affecter à cette troisième ligne une couleur particulière en vue d'éviter d'éventuelles erreurs d'affectation de l'eau.

Ces rappels historiques mettent clairement en lumière que d'emblée la combinaison step modernisée + infiltration de type SAT (Soil Aquifer Treatment) + transport de l'eau vers une zone de développement agricole constituent un projet intégré de REUT inscrit dans une parfaite logique de GIRE.

7.1.4 Objectifs poursuivis

Les objectifs poursuivis par l'ensemble des installations mises en place consistent à

- Accroître la ressource en eau
- Fournir de l'eau épurée pour l'irrigation
- Protéger le littoral méditerranéen des rejets d'EU même traitées (cf. la problématique analogue en Tunisie au niveau de la step de Hammamet ...)
- Valider en vraie grandeur les protocoles scientifiques de recharge de nappe et tester le processus de SAT (Soil Aquifer Treatment) qui caractérise précisément la méthode de percolation dans la nappe pour terminer le traitement tertiaire en sortie de step

7.1.5 Effets indirects du projet

L'obligation de trouver des espaces pour l'infiltration dans une zone relativement voisine de la STEP a conduit à la dissémination des 7 groupes de bassin au milieu d'une zone qui s'urbanise (zone commerciale et artisanale) de plus en plus. L'ensemble des bassins de ré infiltration couvre une superficie de 120 Ha, et constitue de fait une réserve foncière potentielle (estimation 10 000 us\$ par ha)¹⁴, où l'impact de la taille est certainement l'élément le plus important de la valorisation considérée. Pour bien comprendre l'incidence de cette valeur foncière il faudrait pouvoir la comparer au total des investissements réalisés pour la station, les bassins et le rejet des boues en mer.

Le projet a suscité de fortes critiques, surtout par rapport à ces rejets de boues en méditerranée. Des associations de défense du milieu naturel se sont localement renforcées.

¹⁴ En France une très bonne terre agricole est à ce prix.

7.1.6 Risques

On peut identifier trois risques de différentes natures

- Tout d'abord au niveau des pratiques de lavage des produits du maraîchage : la règle de la chloration si elle n'était pas suivie pourrait mettre en péril la fiabilité de la production ; mais l'organisation rationnelle des ateliers permet d'écarter ce risque
- S'agissant de l'utilisation éventuelle par inadvertance de l'eau de la third line à des fins d'eau domestique, le risque est lui aussi sous contrôle
- Par contre sur la pérennité du système SAT, compte tenu de la pression foncière dans la zone, on peut imaginer qu'un jour les superficies nécessaires ne soient pas disponibles. Néanmoins Mekorot semble conscient de cette situation et des solutions alternatives de traitement tertiaire existent, telles les UV.

7.1.7 Contexte des ressources en eau et de la GIRE dans la région

La maîtrise de l'eau dans cette partie du moyen orient a toujours été un objectif majeur sur lequel se sont focalisés tous les gouvernements, déjà dans les années 1930, puis surtout après la création de l'état Hébreux en 1947. La politique de gestion intégrée des ressources en eau a été inscrite dès l'origine sur les tablettes du développement israélien. Dans un environnement naturel où les ressources sont rares et où la consommation en perpétuelle croissance, le dynamisme israélien a été permanent pour acquérir une indépendance vitale dans le domaine de l'eau.

Politiquement c'est une démarche volontaire pour se positionner dans un espace convoité, d'y démontrer que l'accroissement de la population et des activités y est possible. De fait cette volonté a engendré un savoir faire mondialement reconnu qui place maintenant Israël dans une position de pays référent capable d'afficher une grande maîtrise des technologies¹⁵, qu'il s'agisse du traitement des eaux ou plus récemment du dessalement, mais aussi des formes contractuelles de gestion avec plusieurs partenaires financiers. Les avancées en matière de dessalement sont telles, et notamment dans la maîtrise des coûts de production, que cette technologie devient compétitive et reste pratiquement le dernier moyen pour constituer une ressource fiable et suffisante. Le programme de dessalement actuellement développé vise une production d'eau potable de 700 Millions de m³ pour 2015, ce qui représentera environ le tiers des besoins, avec ainsi pour objectif de réduire la différence actuelle entre les volumes disponibles et les besoins croissants.

Besoins en eau	en Million de m ³ par an	
Total besoin	2 060	100%
Usage domestique et urbain	760	37%
Usages agricoles	925	45%
Usage industriel	100	5%
Recharge de nappe	120	6%
Convention internationale	100	5%
Milieu naturel	25	1%
Pertes	30	1%

Source Mekorot : Entretiens et compléments sur site internet

Tableau 5 : les besoins en eau annuels en Israël

Il faut souligner que l'agriculture reste le consommateur le plus important, et que cette activité prélève une partie non négligeable de ses besoins dans les ressources d'eaux potables. D'après Mekorot seulement 300 millions de m³ par an à destination de l'agriculture proviendraient des stations d'épurations.

¹⁵En 2005 le chiffre d'affaire d'Israël dans le marché de l'eau (technologies et matériel dans la purification, le dessalement, l'irrigation localisée) a généré 5 milliards de us\$. (source BusinessWeek).

Les projets de réutilisation des eaux se sont développés dans un contexte de forte pénurie, ce qui a poussé le gouvernement à investir pour d'une part capter le plus possible d'eaux usées (environ 95%) et d'en traiter au moins 80 % afin de pouvoir les utiliser dans tous les secteurs d'activité. Pas moins de 120 installations¹⁶ d'épuration des eaux existent actuellement en Israël. D'autre part la finalité du projet, avec l'irrigation du Néguev (envisagée déjà en 1930 et initialement développée entre 1943 et 1947) a permis de valoriser une opération politique et médiatique de grande envergure mettant l'accent sur la technicité des moyens mis au service des enjeux économiques.

Avec l'eau qui arrive jusque dans le Néguev on n'obère pas la ressource si rare, mais on donne à cette eau une valeur économique qui justifie de gagner des terres sur une zone désertique. Avec l'eau on peut ainsi occuper un espace qui de sans valeur devient précieux, économiquement et politiquement aux yeux des voisins. De plus la stratégie GIRE est aboutie puisque le traitement des eaux libère une ressource rare, et permet à Israël de répondre (en théorie) au contenu des traités de paix qui prévoient qu'une partie de la ressource soit partagée entre les pays riverains.

Dans l'esprit de ne négliger aucune des ressources potentielles il n'est pas sur que le traitement des eaux usées arrive dans le futur à trouver une meilleure justification que celle du renforcement de l'irrigation du Néguev, ni que le schéma à l'avenir soit aussi favorable pour que le choix du traitement avec injection dans la nappe soit répliqué, surtout par rapport aux coûts du dessalement.

Parler de la GIRE en Israël reste toujours un exercice difficile car le sujet reste d'une grande sensibilité politique. D'autre part la complexité du milieu physique imposerait que l'on définisse et localise avec précisions les ressources. Cet exercice dépasse nos objectifs d'analyse, par contre la carte ci-jointe peut mettre en évidence l'importance des travaux de transfert qui ont été réalisés pour corriger les effets de la pénurie des zones désertiques.

¹⁶ Dont 32 WWTP



7.1.8 Volume disponible d'EUT

Le total mensuel rechargé dans la nappe et donc pompé vers le sud s'établit, sur la base des données statistiques de 2008 à 10,8 millions de m³/an, soit un total annuel de 130 millions de m³ par an à porter à environ 140 millions de m³ par an dévolus à l'irrigation (le débit de pompage est légèrement supérieur au débit d'injection)

7.1.9 Mesures d'accompagnement

Les principales mesures d'accompagnement visibles sont celles qui ont été apportées au niveau de l'activité agricole et du développement des filières agro industrielles. Le Néguev est une des trois régions qui bénéficient d'aides financières spécifiques. Ces aides concernent :

- des subventions atteignant 24% pour les investissements de bâtiments et d'équipements industriels et de production,
- l'exonération des charges fiscales pendant 10 ans avec objectifs de production à l'export,
- un allègement des salaires pour la partie industrielle afin de favoriser l'emploi.

Au cours de la visite le responsable du groupement des agriculteurs du Néguev a précisé que le taux de subvention dans la zone pouvait atteindre 40% du montant des investissements (d'après les textes ce pourcentage pourrait être atteint en cumulant toutes les aides financières attribuées entre la partie agricole et la partie industrielle de la filière).

Sur le plan de l'accompagnement agronomique il semblerait que le maximum ait été mis en œuvre tant au niveau de la production que de la commercialisation. La modernisation très poussée des pratiques culturales mais également des techniques de mise en marché : connaissance des marchés et des niches commerciales, des mercuriales en temps réel, la mécanisation du packaging, la maîtrise de la chaîne du froid, les moyens de conditionnement et de transport, prouvent que l'accompagnement a pris en charge l'ensemble des filières de produit pouvant avoir une forte valeur ajoutée et un rendement financier élevé.

Le secret de l'actuelle réussite agricole d'Israël réside dans une étroite collaboration entre les agriculteurs et les chercheurs financés par le gouvernement qui ont réussi à mettre au point et à appliquer des méthodes sophistiquées dans toutes les branches agricoles, ainsi que des technologies de pointe, de nouvelles techniques d'irrigation et un équipement agro mécanique novateur. Autant de performances réalisées pour leur plus grande partie en zones désertiques et semi désertiques qui sont mises à la disposition des pays en développement dans le monde.

7.1.10 Perspectives d'évolution

L'agrandissement de la station d'épuration est programmé de façon à suivre l'évolution du développement et l'accroissement des débits d'eaux usées collectées et épurées. Il est prévu de poursuivre le principe de réutilisation des eaux usées mais à la lumière de nouvelles considérations foncières : les terrains où sont opérées l'infiltration des effluents prennent avec le temps une valeur foncière de plus en plus grande et leur extension pourra poser problème.

7.2 CARACTERISTIQUES TECHNIQUES

7.2.1 Épuration : process, qualité des eaux en sortie

La step, boues activées faible charge, récupère les effluents issus de 23 villes de la périphérie de Tel Aviv et la proportion entre les eaux d'origine domestique et industrielle s'établit à respectivement 85 % et 15 %.

Ses performances se déclinent comme suit au niveau de la sortie de la station elle-même et avant injection des eaux dans les bassins :

	Eaux brutes	Eaux traitées
DBO	375	5
DCO	863	40
MES	400	5
N	63,9	7,2
P	13	1,4

Filière boues : elles sont rejetées en mer via un émissaire.

7.2.2 La désinfection de l'effluent par le SAT

Le rapport de la National Academy of Science¹⁷, édité en 1994, décrit bien le fonctionnement du processus de SAT (soil-aquifer treatment)

L'effluent percole à travers la zone non saturée constituée de sable fin jusqu'à la nappe et le processus de désinfection se développe essentiellement à ce niveau et de façon résiduelle par dilution dans la nappe.

La profondeur des puits de récupération s'étage entre 15 et 45 m et les bassins d'infiltration sont distants de 320 à 1500 m. Les schémas qui suivent indiquent le principe de cette percolation et le contexte hydrogéologique du site.

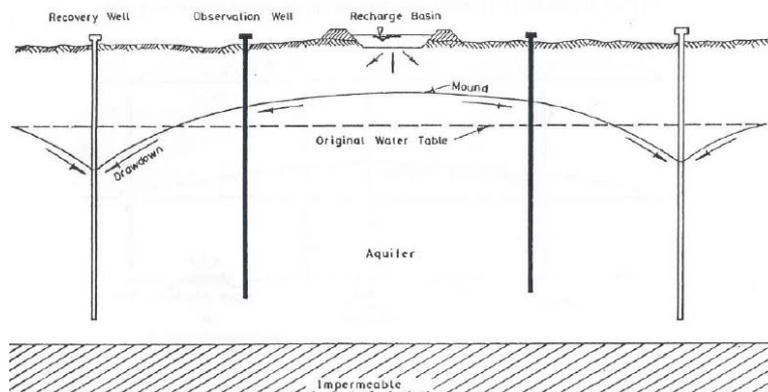


Figure 4 : Schéma du système de recharge et de récupération des EUT.

¹⁷ NAS (1994): *Ground Water Recharge Using Waters of Impaired Quality*; National Academy of Sciences; Committee on Ground Water Recharge, National Research Council (1994); <http://www.nap.edu/catalog/4780.html>

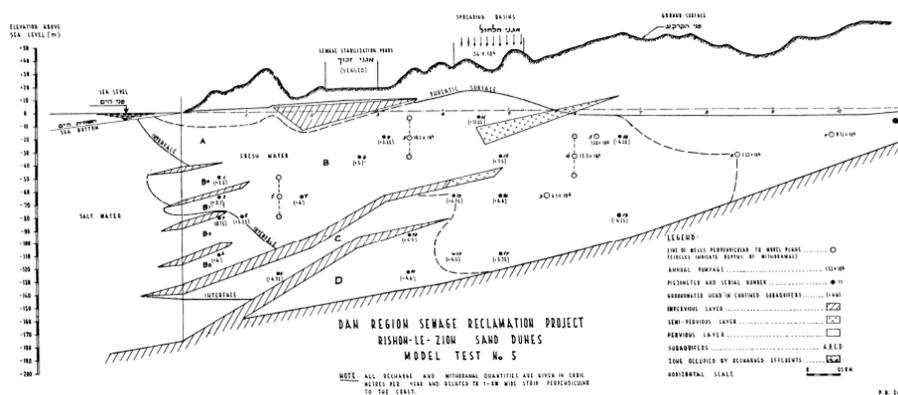


Figure 5 : Coupe hydrogéologique Ouest-Est de la région, d'après N.Columbus¹⁸ (1973)

Les paramètres de performance en termes d'abattement sont résumés dans le tableau ci-dessous

	Units	Before SAT (RE)	After SAT (RW)	Percentage Removal
Suspended solids	mg/l	17	0	100
Biochemical oxygen demand (BOD)	mg/l	19.9	< 0.5	> 98
BOD filtered	mg/l	3.1	< 0.5	> 84
Chemical oxygen demand (COD)	mg/l	69	12.5	82
COD filtered	mg/l	46	12.5	73
Total organic carbon	mg/l	20	3.3	84
Dissolved organic carbon	mg/l	13	3.3	75
UV 254 absorbance	cm-1 × 10 ³	298	64	79
KMnO ₄ as O ₂	mg/l	14.1	2.3	84
KMnO ₄ filtered as O ₂	mg/l	12.6	2.3	82
Detergents	mg/l	0.5	0.078	84
Phenols	/l/gll	8	< 2	> 75
Ammonia, as N	mg/l	7.56	< 0.05	99
Kjeldahl nitrogen	mg/l	11.5	0.56	95
Kjeldahl nitrogen filtered	mg/l	10.2	0.56	95
Nitrate	mg/l	2.97	7.17	-
Nitrite	mg/l	1.24	0.10	92
Nitrogen	mg/l	15.7	7.83	50
Nitrogen filtered	mg/l	14.4	7.83	46
Phosphorus calcium	mg/l	3.4	0.02	99
Alkalinity, as calcium carbonate	mg/l	306	300	-
pH	-	7.7	7.9	-

Tableau 6 : Performance du système SAT pour les principaux paramètres de qualité, valeurs moyennes 1990 (NAS, 1994)

7.2.3 Le cas des eaux industrielles

MEKOROT affirme que tous les Industriels du tissu urbain procèdent à un prétraitement de leurs effluents en application de la loi, très stricte à cet égard.

¹⁸ Dan Region, Israel, Sewage reclamation and recharge project, Nathan Columbus, IAHS, 111, 767 (1970).

7.2.4 Les dispositifs propres au mode de REUT : désignation des ouvrages, dimensionnements

SHAFDAN fournit ainsi 70 % des eaux nécessaires à la mise en valeur du Néguev, ce qui représente grosso modo 10 % des besoins du pays.

L'infrastructure globale du dispositif, outre la third line qui achemine l'eau vers le sud, inclue des bassins de stockage d'une capacité de 4 millions de m³, à vocation inter saisonnière qui renforcent la capacité du sous sol en la matière. Un réseau secondaire par pompage distribue en entrée de chaque zone de valorisation.

L'irrigation proprement dite est pratiquée essentiellement au goutte à goutte

7.3 ORGANISATION ET MAINTENANCES

7.3.1 Identification des opérateurs

Deux entités se partagent la maîtrise d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre des ouvrages depuis la collecte des effluents brutes jusqu'à la mise à disposition des eaux traitées sur les sites de valorisation agricole : MEKOROT Water Company Ltd qui assure le transfert des eaux traitées et leur distribution et the Dan Association of Towns (IGUDAN) qui assure la collecte et le traitement des EU y compris l'infiltration.

7.3.2 Mécanismes administratifs de cession d'eau

Dans le contexte de demande, mais aussi de pénurie croissante l'organisation administrative des droits d'eau est un enjeu majeur de toute la politique israélienne. C'est donc au plus haut niveau des instances gouvernementales que sont prises les décisions en matière de gestion et de répartition de l'eau.

Dans la nouvelle organisation institutionnelle de l'eau c'est au Conseil de l'Autorité de l'Eau que revient la tâche de la répartition. Théoriquement pour les eaux agricoles la responsabilité du Ministère de l'Agriculture est engagée, mais ce ministère ne semble pas participer au Conseil supérieur de décision ?

L'eau est vraisemblablement un secteur fortement subventionné. Sur ce thème les discours entre représentant de l'Autorité et les usagers sont assez divergents.

Les agriculteurs qui bénéficieraient d'une subvention voisine de 60% sur le prix de l'eau estiment que l'eau est encore trop chère par rapport à la plus value apportée par le secteur agricole dans l'économie nationale.

7.3.3 Particularités propres au mode de valorisation

Dans le cas de Shafdan la grande particularité est le transfert de l'eau sur plus de 100 km vers le Néguev, destinée à une mise en valeur agricole intensive sur des terres irriguées. 70% des besoins en eau du Néguev proviennent de Shafdan.

En se basant sur une production annuelle de 130 Millions de m³, et un besoin de 5 500 m³ par hectare il est possible de dire que Shafdan a permis le développement d'environ 23 000 ha de terres agricoles. Les terres mises à la disposition des agriculteurs restent propriété de l'Etat. Les baux d'exploitation sont de courte durée (1,3, 5 ans). Les lots sont de taille moyenne, environ 8 ha, superficie qui théoriquement comprend une partie pour l'habitation. De fait les habitats sont regroupés et plusieurs attributaires regroupent aussi leurs terres cultivables pour constituer des ensembles plus faciles à mécaniser.

La mise en valeur est intensive avec des cultures à haute valeur ajoutée sur plusieurs cycles par an (au moins 2). Les fermes visitées en janvier ont développé un système d'intégration complet sur des filières de production légumières. Outre la mécanisation intensive (et souvent très sophistiquée) et la parfaite maîtrise des informations commerciales pour profiter des meilleures opportunités saisonnières sur les marchés, ce qui doit être souligné reste la mise en évidence d'une parfaite confiance dans la qualité de l'approvisionnement en eau. Tout un savoir faire technique dans des domaines très variés allant de l'agronomie, à l'industrie des automatismes, du marketing à la maîtrise des délais de transport, du contrôle des procédures à celui des circuits commerciaux sont mis au service de la valorisation de l'eau et de sa qualité.

Toutes les terres irriguées du Neguev n'atteignent certainement pas la même productivité, les premières installations ont parfois moins d'aptitude à rentrer dans des circuits dédiés à l'exportation ou sont moins intensément mécanisées. Mais vraisemblablement une bonne rentabilité est obtenue quelle que soit le choix des cultures ou le mode de mise en valeur. Les données MEDSTAT II indiquent que sur l'ensemble national, la valeur des consommations intermédiaires ne représente que 57% de la valeur de la production agricole.

Aujourd'hui, Israël est en mesure d'assurer la production de la plupart des aliments qu'il consomme et les importations ne portent que sur des céréales, oléagineux, viande, café, cacao et sucre dont l'achat est largement financé par les exportations agricoles. La production agricole israélienne consiste surtout en produits laitiers et en volailles, ainsi qu'en une grande variété de fleurs, fruits et légumes. Pendant les mois d'hiver, Israël est la serre de l'Europe, exportant des roses à longue tige, des œillets, des melons, des tomates, concombres, poivrons, fraises, kiwis, mangues, avocats et toutes sortes d'agrumes.

Entre 1950 et 2006, la part de la production agricole dans le PNB est passée de 11 % à 1,5 %, tandis que les exportations agricoles passaient de 60 % à moins de 2 % du total des exportations, malgré leur accroissement en valeur absolue, de 20 millions de dollars en 1950 à plus de 1,4 milliard de dollars en 2007, dû entre autres, à l'introduction de méthodes novatrices de culture, d'irrigation et de technologies de traitement des eaux, ainsi qu'à une politique agricole orientée vers l'exportation.

7.4 RÔLE DES DIFFÉRENTS MINISTÈRES ET ORGANISMES

Le secteur est organisé à partir notamment de la Loi sur l'eau de 1959 qui stipule que l'eau est « une propriété publique soumise au contrôle de l'État ».

Les principales organisations impliquées dans la gestion et le contrôle du secteur de l'eau sont les différents ministères, mais la nouvelle loi transfère progressivement¹⁹ les pouvoirs à un Conseil de l'Autorité de l'Eau. Parmi les ministères concernés se trouvent :

- Le Ministère des Infrastructures Nationales qui est responsable devant le parlement de la gestion de ressources en eau du pays, chargé de la politique nationale de l'eau au nom du Gouvernement, ainsi que du choix des opérations à conduire tant au niveau du pays que par rapport aux relations à maintenir avec les pays voisins sur le partage de l'eau.
Très vite ce ministère a été amené à partager ses pouvoirs avec d'autres ministères car la gestion, la protection et les attributions de la ressource ont montré que les impacts et les décisions devaient être partagés. Les différents rôles ont été attribués d'une manière classique entre :
- Le Ministère de l'Agriculture essentiellement chargé des allocations et du prix de l'eau
- Le Ministère de la protection Environnementale est impliqué dans les standards de la qualité
- Le Ministère de la santé intervient surtout au niveau de la qualité de l'eau potable
- Le Ministère des finances établit les tarifs et contrôle les investissements

¹⁹ La procédure du transfert progressif des responsabilités vers l'Autorité gouvernementale de l'Eau devrait être achevée fin 2010

- Le Ministre de l'intérieur est en charge de l'approvisionnement en eau des centres urbains.

Suivant les amendements de la loi sur l'eau en 2006 (applications en 2007) la plupart des responsabilités ont été transférées au Conseil de l'Autorité gouvernementale de l'eau (the "Authority").

Le système de l'assainissement est complètement rattaché à ces principes. Le titre exact de l'autorité est: "The Governmental Authority for Water and Sewerage"

Le Directeur de l'Autorité (autrefois le Water Commissioner) est un organe civil, attitré rendant compte au Ministère des Infrastructures nationales et à la Knesset (Parlement). Il est responsable de la mise en œuvre de la politique nationale de l'eau aussi bien que des fonctions spécifiques qui s'y rattachent, conformément à la Loi sur l'Eau et à tout autre législation relative à l'eau.

Le Conseil de l'Autorité est une structure inter ministérielle, dirigée par le directeur de l'Autorité, et composé des directeurs représentant les ministères des Finances, des Infrastructures nationales, de l'Environnement et de l'Intérieur. Le Conseil guide et contrôle les opérations de l'Autorité et peut, en tant que structure interministérielle, prendre à sa charge ce qui touche à la gestion de l'eau.

Il existe également un " Water Board " bureau composé des représentants du gouvernement et des organismes publics (producteurs, fournisseurs, consommateurs, agriculteurs) dont le consentement ou l'approbation doivent être obtenus pour toutes modifications de la loi sur l'eau, proposées par le Conseil et le directeur de l'Autorité. Le Water Board est de fait une sorte de forum de participation publique institutionnalisé.

Enfin, l'Autorité Nationale de l'Eau appelée aussi MEKOROT est une entreprise d'Etat (appartenant au gouvernement et contrôlée par lui), dont les principales fonctions statutaires sont l'établissement et la gestion du transport et de la distribution de l'eau au niveau national. Mekorot est le plus gros fournisseur d'eau du pays.

Mekorot est la compagnie Nationale de l'eau, fondée il ya 70 ans. Elle fonctionne en autonomie financière. Elle intervient dans le domaine de la gestion, de l'opération et du traitement de toutes les ressources en eau : eau de surface, de nappe profonde, eau saumâtre, eau salée, eau des effluents. La société fournit 80% de l'eau potable du pays, ce produit représente 70 % de son activité. En traitant 200 millions de m³ par an Mekorot est la première entreprise nationale à valoriser les effluents, car elle contrôle entre 40 et 50 % des volumes d'eau recyclés. L'entreprise reste à la pointe des procédés utilisés et son savoir faire déborde largement les frontières nationales. En 2006 son chiffre d'affaire est supérieur à 700 millions de dollars.

Il existe aussi des autorités de l'eau au niveau Régional qui sont chargées d'opérer sur les réseaux et de fournir l'eau à une échelle régionale. Mais souvent Mekorot se substitue à ce système et peut être considérée comme autorité Régionale de l'eau. Une autorité régionale de l'eau n'appartient pas au gouvernement et n'est pas contrôlé par lui, elle peut appartenir soit à une structure privée, soit à plusieurs municipalités.

7.5 DONNEES ECONOMIQUES ET FINANCIERES

7.5.1 Montant de tous les investissements

Phase Actuelle pour un nominal de 380 000 m ³ /j	
Investissements de la station de Shafdan	200 millions de us\$

7.5.2 Plan de financement

La station appartient à un groupement de 7 villes qui avec 16 autres villes riveraines ont formé une association de gestion. Il a été fait appel à un consortium de banques pour le montage financier de l'opération. Les subventions pour investissement n'ont pas été déterminées, elles proviendraient du gouvernement.

7.5.3 Budgets de fonctionnement

La station de Shafdan est mise en opération par Mekorot pour le compte de l'Association.

Une hypothèse du coût de fonctionnement de 2.07 shekel par m³ est retenue. Se décomposant en :

- 0.25 pour la collecte des eaux usées,
- 0.47 pour le traitement,
- 0.35 pour le traitement des boues
- pour le transport (et taxes ?)

Il faut souligner, que le prix de l'énergie reste élevé en Israël. Estimation donnée par Mekorot : 0,25 us\$ cents le kWh, soit un prix de 0.93 shekel

7.5.4 Politique tarifaire

Au cours des différentes visites plusieurs chiffres ont été avancés se rapportant à la tarification d'une part de l'eau potable, d'autre part de l'eau agricole payée par les agriculteurs.

Il en ressort qu'en **moyenne** l'eau urbaine serait facturé à 4.5 nils le m³ et l'eau agricole 1 nils le m³.

En exemple une consommation de 3 m³ pour un mois (tranche la plus faible) est facturée 5,5 shekel + 1 shekel pour l'assainissement (source réunion Mekorot).

Pour l'instant la grille officielle des tarifs n'est pas communiquée. Des subventions sont vraisemblablement accordées aux usagers, au moins aux agriculteurs. La volonté du gouvernement serait d'arriver à une transparence des coûts avec une réelle prise en charge de tous les coûts par les consommateurs.

7.5.5 Rentabilité des différentes composantes du projet

Le contrat de gestion entre Igudan et Mekorot pour l'exploitation de Shafdan prévoit un équilibre financier pour tous les partenaires. La convention est passée pour 25 ans. Le jeu des subventions reste difficile à décrypter mais avec un coût voisin de 2 shekels (shekalim) et un prix de cession aux agriculteurs pour 1 shekel on est tenté d'écrire que cette subvention est au moins égale à 50% de la valeur de la production.

En agriculture le développement a pris une telle importance financière avec de lourds investissements, que les agriculteurs sont tenus de maîtriser parfaitement leur point d'équilibre financier. L'exemple du consortium producteur de radis sur 100 ha a par exemple calculé que le rendement d'équilibre à atteindre était de 70 Tonnes pour un cycle de culture. En dessous de ce seuil la rentabilité financière n'était pas assurée. Un des points importants de cette rentabilité à maintenir reste la maîtrise du poste de dépenses et des intrants. Celui sur lequel il semble possible d'éviter des accroissements trop importants reste le poste de la main d'œuvre. La forte pénurie de main d'œuvre ouvrière conduit à faire venir une main d'œuvre philippine, qui accepte encore de travailler avec de faibles salaires. Le salaire moyen serait de 22 shekels par heure (4,5 euros).

Les filières agricoles gardent une bonne rentabilité générale où les consommations intermédiaires ne représentent que 57% de la valeur de la production totale. Ce qui confirme les efforts qui sont faits pour contenir les coûts de production et chercher en permanence des rendements élevés.

7.6 ASPECT SOCIAUX

7.6.1 Considérations de base

L'agriculture en Israël garde un niveau de productivité très élevé bien que plusieurs facteurs de production s'avèrent difficile à conserver dans une dynamique de moindres coûts (énergie, eau) et s'inscrivant dans un contexte toujours suspendu aux relations internationales. La précarité des baux d'occupation ne favoriserait pas un climat de développement à long terme si le gouvernement n'engageait pas des moyens financiers importants (subventions et infrastructures sociales développées : villages, écoles, dispensaires, moyens de transport ferroviaires et routiers) pour garder une population dynamique sur place. En fait l'agriculture mobilise peu d'actifs, environ 1,6% en 2010, et n'arrive pas à être suffisamment attractive par rapport aux autres secteurs d'activité (en particulier les services).

Peu de propriétaires exploitent eux-mêmes leurs parcelles, et ont recours à des intermédiaires pour valoriser leurs biens. Les lots d'exploitation attribués par le gouvernement sont en moyenne de 8ha, mais une surface non cultivable est incluse dans ce chiffre. En fait la part cultivée et irriguée ne serait que de 5 ha environ, ce qui induit un morcellement intense, mais également oblige à intensifier la mise en valeur. Actuellement les sols se sont considérablement appauvris et les nappes sont inutilisables, le recours aux eaux traitées est indispensable.

7.6.2 Acceptabilité par les bénéficiaires

Apparemment les agriculteurs acceptent sans problème l'usage d'une eau recyclée. L'origine de l'eau ou sa qualité ne sont pas déterminants, c'est le paramètre de la quantité qui est la source de toute discussion, et de toutes les pressions du monde agricole.

L'interdiction faite aux communautés (villages et kibboutzim) d'utiliser à l'intérieur des périmètres "urbains" l'eau de Shafdan est apparemment vécue sans difficulté.

7.7 SUIVIS

7.7.1 Suivi analytique des effluents

Tout au long de la chaîne de

- transfert entre la step et les champs d'infiltration
- dans la nappe
- à l'exhaure au niveau du pompage vers le sud
- à l'entrée des bassins de stockage terminaux
- avant irrigation,

Mekorot procède à l'analyse d'échantillons de l'eau et publie les résultats de ces analyses.

7.7.2 Suivi des cultures

Le suivi de la qualité des produits agricoles semble s'effectuer régulièrement et correctement dans la zone du Néguev, en tout cas les outils sont en place pour que ce suivi soit effectif.

Les Israéliens communiquent beaucoup sur la maîtrise de la qualité de l'eau et sur les succès qu'ils obtiennent grâce à une parfaite maîtrise du traitement de l'eau. De fait l'image véhiculée est celle de produits techniquement irréprochables et atteignant une grande traçabilité sur tous les circuits de production et de commercialisation. Rien n'est laissé au doute ou à la suspension.

7.8 CONCLUSION

Parler de réutilisation des eaux usées en Israël est finalement un exercice périlleux ! L'exemple est un peu extrême du fait de la rareté de la ressource en eau, des enjeux territoriaux qui y sont attachés et de la complexité des relations inter régionales. A la valorisation de l'eau se substituent vite d'autres enjeux. Ceux-ci politiques, internationaux, stratégiques ... sont peu quantifiables, mais surtout perturbent la lecture des effets induits. Essayer de s'en tenir à la dimension monétarisable, ou essayer de comprendre pourquoi cela marche n'est pas facile du fait du jeu des subventions croisées. Sur un plan strictement technique, vis-à-vis de la spécificité internationalement reconnue, la pratique de recharge de nappe comme désinfection de l'effluent est à considérer comme une performance solide. Sa répliquabilité pose le problème de la disponibilité foncière aux abords d'une grande ville des terrains nécessaires aux protocoles d'infiltration en alternance dans le sol et du niveau de subvention du projet.

7.9 PERSONNES RENCONTREES

- Abraham Sahim Water Authority
- M. Yaron responsable de la coopérative Sedorot
- Responsable Mekorot
- Sagi BE Aviv

7.10 DOCUMENTS CONSULTES

- Dan region reclamation project – MEKOROT – Groundwater recharge with municipal effluent

7.11 SIGLES ET ACRONYMES

MEKOROT : gestionnaire AEP

SHAFDAN : lieu du projet

8. Fiche de projet MILAN

8.1 DEFINITION DU PROJET

8.1.1 Localisation

Le projet se situe en périphérie sud de la ville de Milan, où l'on trouve à la fois les 3 récentes stations d'épuration traitant les eaux de l'agglomération ainsi qu'une zone verte agricole dominée par la culture irriguée, notamment du riz en submersion et du maïs par ruissellement.

La ville de Milan compte actuellement 1 300 000 habitants. L'agglomération compte 4 millions d'habitants, ce qui en fait la plus importante du Nord de l'Italie, et l'aire urbaine 7 123 563 d'habitants en 2009, soit la 5^{ème} d'Europe après Moscou, Paris, Londres et Istanbul.

8.1.2 Historique

8.1.2.1 Historique de l'assainissement à Milan

Le contexte hydraulique milanais se caractérise notamment par :

- Des ressources en eau abondantes, découlant de la proximité des Alpes et d'une pluviométrie locale généreuse,
- Une domestication très ancienne du réseau hydrographique à des fins de navigation ou d'irrigation, incluant la canalisation du réseau naturel et la création d'un réseau de canaux,
- L'utilisation du réseau ainsi constitué pour l'évacuation des eaux d'égout,
- La réutilisation indirecte des eaux usées au travers de l'usage fait de ces ressources partiellement réalimentées par des effluents non traités,
- La réalisation, tardive pour une agglomération de cette importance (2002 – 2005), de stations de traitement d'eaux usées.

Milan est implanté en plein milieu d'une zone marécageuse (La « Bassa ») et est installée sur une avancée de terre sèche. La nappe phréatique est souvent proche de la surface et parfois même en charge au sud de la ville, puisque des résurgences sont observées dans certaines parcelles agricoles (« marcites » milanaises).

Il en a résulté la création très ancienne d'un réseau de canaux utilisés à différents usages (assainissement, navigation, irrigation...) dont certains remontent à l'époque romaine (Fossa Romana, Vettabia), d'autres au moyen âge ou seulement au 19^{ème} siècle (Canal Villoresi).

Au début des années 2000, des collecteurs principaux ont été réalisées afin d'intercepter les eaux usées qui déversaient auparavant dans les canaux. Cette opération a probablement conduit à une diminution du débit, notamment estival, de ces derniers.

Ces collecteurs dirigent les effluents vers 3 stations de traitement construites simultanément en 2004 – 2005. Ces ouvrages sont les suivants :

- Milano San Rocco, capacité 1 050 000 équivalents habitant,
- Milano Nosedo, capacité 1 300 000 équivalents habitant,
- Peschiera, capacité 250 000 équivalents habitant.

La réutilisation des eaux usées est pratiquée à l'aval des deux premiers ouvrages cités.

A Milan Nosedo, la désinfection réalisée avant REU est effectuée par injection d'acide péracétique (mélange d'acide acétique et de peroxyde d'hydrogène).

La mission s'est concentrée sur Milan San Rocco, qui fait l'objet de la suite de la présente fiche de visite.

8.1.2.2 L'utilisation de la station

Conjonction entre les opérations d'assainissement (volonté d'assainir le milieu récepteur) et besoin en eau d'irrigation. En fait il y a eu substitution de la ressource traditionnelle polluée par de l'eau épurée pour l'agriculture. Dans ce contexte l'accès à l'eau est considéré comme un droit, les agriculteurs ne payent pas ce service. Le volume total des eaux utilisées par l'agriculture représente 11% des volumes traités : 11,7 millions de m³. La superficie concernée par le projet est de l'ordre de 1 900 Hectares, sur la base d'un volume consommé moyen de 5 000m³ par ha.

D'autre part l'implantation de la station sur 32 ha (Usine + zone de protection) sur des terres agricoles, et a été compensée de deux façons :

- Possibilité pour les agriculteurs de garder en culture les espaces voisins de la station, soit environ 20 ha
- Mise à disposition de l'eau d'irrigation.

Les boues de la station sont soit épandues sur des terres agricoles 40%, soit servent de combustible dans les cimenteries 60%. Il n'y a pas de recette non plus sur ce produit. Même le transport sur les sites d'utilisation des boues est pris en charge dans les coûts du traitement.

8.1.3 Aspects climatiques

Le climat de la région de Milan est de type tempéré à tendance continentale, avec une pluviométrie moyenne assez importante et bien répartie.

La température moyenne annuelle est de 12 °C, la pluviométrie annuelle moyenne voisine de 1000mm.

L'été est assez chaud et humide : Les mois les plus chauds sont juillet et août, avec une température maximale moyenne de 28°C. La pluviométrie moyenne au cours de ces deux mois est respectivement de 64 et 91 mm, tombant préférentiellement sous forme d'orages (nombre de jours de pluie respectivement de 6 et 7 jours).

L'hiver est froid, avec une moyenne des minima négative en janvier et février (respectivement -2 et -1°C). Le brouillard est fréquent.

Les besoins en eau d'irrigation sont en conséquence assez peu élevés. Il s'agit d'une irrigation de complément et de régularisation des rendements d'une année sur l'autre.

L'ETP Penmann –Monteith est de l'ordre de 1,5 à 3 mm en début de printemps (66mm en mars 2008) et de 2 à 5 mm en août (92mm en août 2007).

Les techniques d'irrigation utilisées ne sont pas économes en eau (maïs en gravitaire et surtout riz en submersion). Les volumes annuels utilisés ne semblent cependant pas dépasser 5000 m³/ha/an sur cette dernière culture.

8.1.4 Objectifs poursuivis

Le premier objectif de la Ville de Milan a été de corriger l'absence de système d'assainissement et de mettre en service trois stations visant à épurer les rejets dans le milieu naturel. Ces stations ont essentiellement à traiter les effluents urbains²⁰.

La station de San Rocco positionnée sur le bassin versant du Lambro, qui sur l'aire métropolitaine de Milan était caractérisé²¹ par une qualité d'eau agricole " pessima " s'est vu confier un objectif particulier de compensation de la ressource ainsi qu'un rôle d'acteur impliqué dans le maintien de l'activité agricole sur les communes de la partie Sud-Est. Ce dernier point a certainement servi à valoriser une activité qui se trouve en difficulté du fait de la conjoncture agricole et de la concurrence exercée sur le foncier par des activités plus lucratives.

8.1.5 Effets indirects du projet

Les agriculteurs ont toujours tendance à demander des volumes plus importants. Dans un contexte de coût d'énergie de plus en plus élevé cette requête est généralement non suivie par l'opérateur.

8.1.6 Risques

Les risques environnementaux et sanitaires associés au projet apparaissent a priori peu élevés. De nombreux facteurs favorables se cumulent en effet :

Le projet se substitue à une pratique antérieure conduisant à une réutilisation d'eaux usées brutes simplement diluées. Il conduit donc à une amélioration importante des pratiques.

Les effluents bruts sont d'origine principalement domestique, ce qui amoindrit les risques de présence en quantité importante de métaux lourds et micro polluants organiques.

L'épuration organique et l'élimination des matières en suspension sont performantes, ce qui conduit à concentrer efficacement les éventuels polluants précédemment cités dans les boues.

La désinfection est très poussée : la filtration sur sable élimine avec fiabilité les œufs d'helminthes parasites. Les bases de dimensionnement de la désinfection UV conduisent également à un taux très important d'abattement bactérien (10 E. Coli/100 ml en sortie).

Les techniques d'irrigation (submersion et gravitaire) ne génèrent pas d'aérosols.

Les cultures pratiquées (céréales) ne présentent pas de risques particuliers.

D'un point de vue agronomique, les risques liés à la salinisation sont a priori à exclure, d'une part du fait de la dilution de l'effluent brut, d'autre part en raison de la pluviométrie hivernale permettant un lessivage des sols.

²⁰ Dans la périphérie, moins densément peuplée et plus industrielle un réseau d'unité de traitement a également été implanté depuis 2002

²¹ Sistema Informativo Territoriale : Analyse réalisée sur le Parco Agricolo Sud Milano en 2007 – Province de Milan et Région Lombardia

8.1.7 Contexte des ressources en eau et de la GIRE dans la région

La plaine du Pô appartient à un ensemble hydraulique complexe qui de tout temps a été géré dans une optique de partage des eaux. La Province de Milan, avec un grand nombre de fontaines et de résurgences, a construit dès les XI et XII siècles des systèmes semi artificiels composés de canaux et de drains servant à assainir la zone et à lutter contre le paludisme. L'implantation du riz dès le XVI siècle a été une étape importante dans la gestion de la ressource, et de sa valorisation. Ce n'est que bien plus tard, puisque très récemment, que le volet « qualité » de la gestion des eaux est venu renforcer les politiques ancestrales.

Plusieurs sources consultées mentionnent la pollution importante des cours d'eau en aval de l'agglomération milanaise.

Les ouvrages construits en 2002 – 2005 ont assurément contribué à améliorer la situation.

On peut cependant rappeler que leur capacité nominale cumulée est de 2 600 000 EH, et la population raccordée sans doute inférieure (rapport pollution traitée/capacité nominale estimé à 73% pour San Rocco), lors que parallèlement, la population de l'agglomération s'élève à environ 4 000 000 habitants et celle de l'aire urbaine à 7 100 000 hab. Il existe donc encore une marge de progrès pour l'épuration des eaux usées domestiques, et sans doute celle des effluents industriels de la région.

8.1.8 Volume disponible d'EUT

8.1.8.1 Données de projet

Débit moyen en période sèche : 4 m³/s 345 000 m³/j.

Débit max prétraité : 12 m³/s.

Débit max traitement biologique : 9 m³/s

Débit max vers REUT : 4 m³/s, dont 3m³ pour le canal Pizzabrasa et 1 m³/s pour le canal Carlesca.

8.1.8.2 Données constatées

Débit moyen actuellement constaté : 3,27 m³/j soit 282 591 m³/j.

Volumes réutilisés :

2 009	Pizzabrasa m3	Carlesca m3	total REUT m3	flux moyen journalier m3	j/mois	flux moyen mensuel	%REUT
janvier			0	282 591	31	8 760 321	0
février			0	282 591	28	7 912 548	0
mars			0	282 591	31	8 760 321	0
avril			0	282 591	30	8 477 730	0
mai		256 608	256 608	282 591	31	8 760 321	3
juin	2 160 000	1 707 156	3 867 156	282 591	30	8 477 730	46
juillet	2 664 000	1 759 428	4 423 428	282 591	31	8 760 321	50
août	1 735 200	1 412 532	3 147 732	282 591	31	8 760 321	36
septembre			0	282 591	30	8 477 730	0
octobre			0	282 591	31	8 760 321	0
novembre			0	282 591	30	8 477 730	0
décembre			0	282 591	31	8 760 321	0
	6 559 200	5 135 724	11 694 924			103 145 715	11

Le débit max réutilisé se situe en juillet (1,65 m³/s), soit 50% du débit disponible au cours de ce mois et 11 % des volumes annuels.

Malgré un dimensionnement de projet supérieur, il semble que l'exploitant ne soit pas en mesure de fournir des volumes supérieurs, car des demandes émanant des utilisateurs lui sont parvenues en ce sens.

8.1.9 Mesures d'accompagnement

Les mesures d'accompagnement se déclinent essentiellement dans le domaine agricole. La Province de Milan au sein de la Région Lombarde bénéficie de sols fertiles et profonds, et développe les productions de céréales, dont essentiellement le maïs 40 % des cultures et le riz 30 %.

Dans un contexte général de déclin de l'agriculture les instances régionales, mais surtout celles de la Province de Milan, manifestent un intérêt marqué pour aider les agriculteurs à maintenir des activités de production. La politique d'aide indirecte aux agriculteurs par la mise à disposition d'une eau traitée et gratuite, les équipements particuliers pour permettre une meilleure utilisation de l'eau comme le relevage d'environ 50 % des volumes traités (en pointe) de la station de San Rocco pour atteindre des terres plus élevées, sont autant de témoignage du support de l'activité par les autorités locales.

Comme à Ouagadougou, la REUT constitue au moins partiellement une mesure d'accompagnement du projet de collecte et d'épuration des eaux usées, en restituant à l'aval les débits interceptés plus en amont.

8.1.10 Perspectives d'évolution

Le projet visité est récent dans sa configuration actuelle.

Sa pérennité technique ne fait guère de doute.

L'évolution de la demande agricole d'eau d'irrigation sera liée à celle de l'agriculture dans cette zone périurbaine densément peuplée. Les politiques foncières seront donc a priori déterminantes.

8.2 CARACTERISTIQUES TECHNIQUES

Epuraton : process, qualité des eaux en sortie

8.2.1.1 Caractéristiques moyennes des effluents bruts

(mg/l)	Valeurs de projet	Valeurs constatées
DBO5	140	162
DCO	235	225
MEST	135	119
N Kj	20	21,4
P total	3,5	2,8

On constate une concentration relativement faible de l'effluent brut.

Deux facteurs peuvent contribuer à expliquer cette situation :

- Un réseau d'assainissement de type « unitaire »,
- Une forte consommation par habitant, peut être à mettre en relation avec un prix de l'eau potable relativement faible.
- Une nappe sub-affleurante, au moins dans la partie sud de l'agglomération.

8.2.1.2 Process

8.2.1.2.1 File « eau »

- Dégrillage puis relevage (le reste de la station est en gravitaire),
- Dégraissage – dessablage
- Aération « fines bulles » avec anoxie en tête pour dénitrification et déphosphatation biologique, dans une série de cellules comprenant successivement 1 bassin en anoxie et 1 bassin aéré,
- Décantation dans une série de clarificateurs rectangulaires munis de ponts roulants suceurs,
- Injection de chlorure ferrique (élimination du phosphore et clarification complémentaire),
- Filtration sur sables : filtres en béton rectangulaires fonctionnant à la pression atmosphérique, avec contre lavage air + eau ; surface totale de 1 564 m² pour un débit horaire de 14 400 m³/h, soit une vitesse de passage de 9 m/h, à peine plus élevée que celle adoptée en production d'eau potable.
- Désinfection UV, comprenant six canaux de sortie équipés de batteries de lampes UV. Trois sont dévolus à la désinfection des effluents rejetés en rivière, les trois autres à celle des effluents réutilisés en agriculture. La filière « rejet rivière » est équipée d'1 batterie de lampes par canal, la filière « REUT » de 3 batteries par canal.
- Transfert au milieu récepteur :
 - Filière « rejet rivière » : rejet dans la rivière « Lambro Meridionale » par une conduite gravitaire d'environ 2 km de longueur.
 - Filière « REUT » : transfert par conduite enterrée jusqu'à une station de pompage permettant de relever en saison estivale les eaux vers deux canaux d'irrigation, le canal Pizzabresa et le canal Carlesca. Cette station de pompage a été construite en même temps que la station d'épuration et constitue une partie intégrante du projet.

8.2.1.2.2 Files « sous produits »

- Les déchets de dégrillage sont compactés avant enlèvement.
- Les sables sont lavés.
- Les boues issues du traitement biologique et du contre-lavage des filtres à sable font l'objet d'une stabilisation aérobie avant déshydratation mécanique puis séchage.

Elles sont ensuite incinérées en four de cimenterie (40%) ou réutilisées en agriculture, via une structure assurant la distribution aux agriculteurs (60 %). Dans les deux cas l'exploitant de la station rémunère le destinataire des boues.

8.2.1.2.3 File « traitement de l'air »

La station étant proche du tissu urbain, et notamment d'un centre commercial très fréquenté, la maîtrise des odeurs a fait l'objet d'un soin particulier. Les postes de prétraitement sont couverts et l'air extrait désodorisé dans une série de tours de lavage (lavage acide, lavage basique à la soude, oxydation à l'eau de javel).

8.2.1.3 Caractéristiques moyennes des effluents traités

	Valeurs de projet	Valeurs constatées
(mg/l)		
DBO5	10	1,8
DCO	125 (rejet rivière) 50 (REUT)	22,8
MEST	10	2,2
N t	10	7
P total	1	0,8
(UFC/100ml)		
Escherichia Coli	5 000 (rejet rivière) 10 (REUT)	1 059 (rejet rivière) 2 (REUT)

Commentaires :

Sur les valeurs de projet :

- DCO (rejet rivière) : niveau de la directive européenne.
- DCO(REUT) : niveau facilement atteint pour des effluents domestiques, compte tenu des valeurs de projet « DBO5 » et « MEST »
- DBO5/MES : niveau supérieur à celui de la directive européenne (respectivement 25 et 35 mg/l).
- Azote et phosphore : niveau « zone sensible », au sens de la directive européenne, applicable aux stations de traitement de plus de 100 000 équivalents habitants.
- Bactériologie (rejet rivière) : à comparer avec la norme « eau de baignade » en France, actuellement de 2000 E. Coli/100ml, sur la base d'une directive européenne de 1975. Mais suite à la publication de la nouvelle directive 2006/7/CE du 15/02/2006, la norme « baignade » va passer à 1000 E. Coli/100ml à partir de 2015.
- Bactériologie (REUT) : fait référence à la réglementation italienne de 1976, de type « californien » et par conséquent très restrictive.

Sur les valeurs obtenues :

On constate notamment :

- Des performances nettement supérieures à l'objectif pour tous les paramètres,
- Des performances de désinfection très nettement discriminées par le nombre de batteries de lampes UV mises en œuvre. Ceci met en évidence la maîtrise du procédé par le constructeur, ainsi que la souplesse de sa mise en œuvre en fonction des performances recherchées sur un projet donné.

8.2.2 Le cas des eaux industrielles

Les eaux traitées par Milan San Rocco proviennent du centre de l'agglomération, les industries étant situées pour leur part à la périphérie. Les effluents traités par la station sont de ce fait considérés par les exploitants comme purement domestiques.

Cette situation pourrait évoluer à l'avenir.

Ainsi une usine chimique de taille importante est implantée à moins de 2km de la station de San Rocco, à proximité de la station de pompage refoulant les eaux usées traitées vers les zones agricoles. Un raccordement de l'usine à la station de San Rocco pourrait faire prochainement l'objet d'une mise à l'étude.

8.2.3 Les dispositifs propres au mode de REUT : désignation des ouvrages, dimensionnements

Le raccordement de la station de traitement au système traditionnel multiséculaire de distribution gravitaire des eaux d'irrigation a fait partie intégrante du projet réalisé en 2004-2005.

Ce raccordement comprend :

2 conduites enterrées parallèles, gravitaires d'une longueur voisine de 2 km et dimensionnées l'une pour 3 m³/s et l'autre pour 1 m³/s,

Une station de pompage assurant le relevage de ces eaux à la hauteur manométrique suffisante pour un déversement dans les canaux dénommés Pizzabresa (3 m³/s) et Carlesca (1 m³/s),

Les 2 conduites de refoulement, longues l'une de #300m et l'autre de 1 à 2 km, assurant le déversement dans les 2 canaux.

Le reste du dispositif, est traditionnel et gravitaire, est géré par une association d'agriculteurs issue d'une organisation séculaire et dénommée «Consortium di Bonifica Est Ticino Villorosi ».

8.3 ORGANISATION ET MAINTENANCE

8.3.1 Identification des opérateurs

La Société Degremont a construit l'ouvrage et l'exploite jusqu'en 2013 ou 2014 selon les options du contrat qui seront activées.

Le contrat est passé avec la Compagnie Metropolitana Milanese, propriété à 100% de la Municipalité de Milan, en charge notamment de la gestion de l'eau potable et de l'assainissement.

Metropolitana Milanese gère également les contacts avec les utilisateurs des EUT, fédérés dans le cadre du Consortium di Bonifica Est Ticino Villoresi (« consortium Villoresi »). Des demandes directes d'agriculteurs, notamment pour demander plus d'eau en été, sont cependant parfois déjà parvenues jusqu'à l'exploitant, ce que ce dernier cherche à éviter.

Le Consortium Villoresi fédère les titulaires de droits d'eau de la rive lombarde du Tessin. Il résulte de la fusion récente, en 1999, des deux consortiums préexistants « Eugenio Villoresi » et « Basso Pavese ».

8.3.2 Mécanismes administratifs de cession d'eau

C'est au niveau de la Province que se prennent les décisions concernant la gestion de l'eau de surface et de captage. De fait c'est la Municipalité de Milan qui gère les ressources en eau et leur mise à disposition auprès des consommateurs. La ville s'est dotée en 1955 d'une structure d'ingénierie de type privée la Metropolitana Milanese (MM) qui intervient techniquement sur les transports, l'architecture et le développement urbain et plus récemment sur les thèmes de l'eau et de l'environnement. Depuis Juillet 2003 la MM est en charge des services intégrés de l'eau pour le compte de la municipalité de Milan, et à ce titre gère les ressource et distribue l'eau.

Pour l'eau agricole la MM a passé un contrat avec le consortium VILLORESI qui est une société de droit privée à laquelle sont associés les irrigants. Le consortium Villoresi intervient sur tout le nord de l'Italie, soit sur une zone bien plus large que celle qui dépend de la station de San Rocco.

Le consortium ne paie aucune redevance pour utiliser des eaux usées traitées. Il n'a pas non plus contribué au financement des équipements de désinfection supplémentaires nécessités par cet usage.

8.3.3 Particularités propres au mode de valorisation

Les cultures céréalières comme le maïs et le riz, mais aussi les protéagineux et les cultures fourragères, sont les productions traditionnelles de la plaine du Pô. Ces cultures, excepté celle du riz, se retrouvent sur l'espace agricole dominé par la station. Le savoir faire ancestral des agriculteurs, la forte capacité de production des sols alluvionnaires, la mécanisation facilitée par les grandes surfaces planes, le contrôle de l'irrigation et du drainage permettent d'obtenir de bons rendements. Le maïs atteint des rendements compris entre 11, 6 et 16,4 Tonnes à l'ha selon les variétés. Le Maïs fourrager est aussi très performant avec un rendement en vert de 55 tonnes par hectare.

8.4 CADRE INSTITUTIONNEL

8.4.1 Textes législatifs relatifs au secteur

En tant que membre de l'union européenne, l'Italie doit de respecter les règles communautaires et les transposer en droit national.

En matière d'assainissement, la Directive 91/271/CE du 21 mai 1991 fait actuellement référence.

En application de ce texte, les Etats membres veillent notamment à ce que les eaux urbaines résiduaires qui pénètrent dans les systèmes de collecte soient, avant d'être rejetées, soumises à un traitement secondaire ou à un traitement équivalent, au plus tard le 31 décembre 2000 pour tous les rejets provenant d'agglomérations rejetant une pollution supérieure à 15 000 équivalents habitants (art. 4).

La même directive prescrit des normes minimales de rejet détaillées au § 1.4.3.

8.4.2 Rôle des différents ministères et organismes

La Région de Lombardie, puis la Province de Milan (en fait la Métropole Milanaise depuis la loi de 1990) restent les entités administratives les plus décisionnelles. Le dernier découpage de la Métropole concerne 55 communes regroupant plus de 4 millions d'habitants, ce qui fait de cet espace le plus densément peuplé de l'Italie.

C'est le laboratoire de l'Agence Régionale de l'Environnement qui effectue les contrôles de qualité et réalise les contre analyses du laboratoire de la station de San Rocco.

8.4.3 Textes réglementaires techniques (normes, valeurs guide)

En application de la directive européenne 91/271/CEE du 21 mai 1991, les réglementations des états membres doivent satisfaire aux prescriptions minimales suivantes pour les rejets de stations de traitement traitant les effluents de collectivités supérieures à 2 000 équivalents habitants :

- DBO5 : 25 mg/l ou rendement minimum compris entre 70 et 90% ;
- DCO : 125 mg/l ou rendement minimum de 75 %
- MEST : 35 mg/l ou rendement minimum de 90 % (facultatif en dessous de 10 000 EH.
- Des prescriptions particulières sont également émises pour les rejets d'azote et de phosphore dans les zones sensibles. Doivent être identifiées comme zones sensibles les masses d'eau appartenant à l'un des groupes ci-après :
- Lacs naturels d'eau douce, autres masses d'eau douce, estuaires et eaux côtières, dont il est établi qu'ils sont eutrophes ou pourraient le devenir si des mesures de protection ne sont pas prises ;
- Eaux douces de surface destinées au captage d'eau potable et qui pourraient contenir une concentration de nitrates supérieure à celle prévue par les dispositions pertinentes ;
- Zones pour lesquelles un traitement complémentaire au traitement standard est nécessaire pour satisfaire aux autres directives du Conseil.

Pour les zones sensibles ainsi définies, les prescriptions supplémentaires suivantes sont applicables :

- Phosphore total : 2 mg/l ou rendement minimal de 80% pour les agglomérations comprises entre 10 000 et 100 000 EH ; 1 mg/l ou 80% au dessus de 100 000 EH.
- Azote total : 15 mg/l ou rendement minimal de 70-80% pour les agglomérations comprises entre 10 000 et 100 000 EH ; 10 mg/l ou 70-80% au dessus de 100 000 EH.

8.4.4 Textes réglementaires sanitaires

La réglementation italienne est très stricte en matière de réutilisation des eaux traitées. Les normes identifiées résultent de la Loi du 10 mai 1976 intitulée « normes pour la protection des eaux contre la pollution » et d'un texte réglementaire ministériel en découlant.

Ce dernier établit les normes pour une réutilisation agricole (coliformes < 20/100 ml sur une moyenne de 7 jours pour les produits consommés cuits, < 2/100 ml pour les produits susceptibles d'être consommés crus)²².

Il s'agit donc d'une réglementation de type « Californien », présentant des exigences supérieures à celles découlant des démarches épidémiologiques menées sous l'égide de l'OMS.

Selon certains experts, ces limites sont trop restrictives, ce qui n'a d'ailleurs pas empêché certains débordements. Ces derniers pourraient avoir conduit à une épidémie de type cholérique au mois d'octobre 1994 dans la ville de Bari, suite à l'arrosage avec des eaux usées brutes de légumes vendus au marché et consommés crus.

8.5 DONNEES ECONOMIQUES ET FINANCIERES

8.5.1 Montant de tous les investissements

<p>Pour un nominatif de production d'eau traitées de 345 600 m³ / jour = 126 millions m³ / an</p>	
<p>Investissements de la station de traitement 2002 – 2004 Comprend tous les ouvrages annexes, en particulier la station de relevage pour le périmètre agricole , la conduite sur pressée et les canaux</p>	<p>89 M° euros</p>

²² Puil C. (1998) La réutilisation des eaux usées urbaines après épuration. Mem DUESS « Eau et Environnement », DEP, Université de Picardie, Amiens, 62p

8.5.2 Plan de financement

C'est à la demande de la MM que la station de San Rocco a été construite. Pour cette réalisation une joint venture a été montée entre MM et Degrémont sur une durée de 9 ans, c'est-à-dire jusqu'en 2013. Le montant total (investissement et fonctionnement sur 9 ans) de ce contrat atteint 176 millions d'euros.

Dans l'investissement de 89 millions la part de Degrémont est de 34%. L'entreprise française a été en charge du design, et de la construction de la station. D'autre part elle est en charge de l'exploitation pour un montant 87 millions répartis sur 9 ans.

Pour MM la part de l'investissement est de 66%. Apparemment la MM aurait effectué cet investissement sur ses fonds propres, issus des redevances assainissement versées depuis très longtemps par les citoyens en prévision d'un futur système de collecte et de traitement.

8.5.3 Budgets de fonctionnement

Dans la joint venture c'est l'entreprise Degrémont qui assure le fonctionnement de la station de San Rocco. Le contrat distingue une période de 5 ans pendant laquelle les coûts sont considérés comme constants, et la période des 4 dernières années où les coûts feront l'objet d'une révision annuelle. Pour la première période la part de Degrémont atteint un montant total de 136.2 millions comprenant la part des investissements et la part des charges annuelles sur 5 ans. Pour la deuxième période la part de fonctionnement est de 39,8 millions d'euros, et pourra être corrigée. D'où une année optionnelle de prolongation de la joint venture. Les calculs permettent de déterminer que le coût d'assainissement par m³ est de 7.5 centimes d'euros (estimation BRL).

Il faut souligner que dans le poste des dépenses, l'énergie représente 10% des coûts. Parmi les intrants le poste le plus important reste celui des produits chimiques.

Le système de désinfection par les UV, davantage sollicité pour les volumes destinés à l'irrigation, enregistre une dépense énergétique supplémentaire de 17 000 euros par mois (entre mai et septembre). Soit un coût marginal de 1 centime d'euro par m³ si on tient compte des lampes pour les ultra violets.

Trente deux personnes sont employées sur la station. Les tâches de maintenance sont sous-traitées à des entreprises externes, ce qui permet de maintenir des effectifs restreints.

8.5.4 Politique tarifaire

La réalisation des trois stations d'épuration construites entre 2001 et 2005 a conduit la MM à modifier sa politique tarifaire. Avant la mise en service des stations, l'eau et l'assainissement étaient facturés 0,30 centimes d'euros par m³ aux consommateurs milanais. Après la réalisation, ce prix est passé à 1 euro par m³. C'est un prix unique appliqué à la fois pour le service de l'eau potable et celui de l'assainissement²³.

8.5.5 Rentabilité des différentes composantes du projet

La rentabilité de la composante traitement est liée à celle du contrat entre MM et Degrémont. Pour ces deux partenaires il est évident que les charges annuelles sont calculées pour atteindre une rentabilité positive. Un rapide calcul de comparaison des charges et des dépenses indique que cette rentabilité est élevée pour les deux partenaires.²⁴

²³ On peut rappeler qu'en Languedoc-Roussillon le prix moyen eau-assainissement est de 2.9 euros par m³.

²⁴

Dans le domaine agricole, seuls les rendements élevés permettent aux agriculteurs de garder des revenus positifs. Le maintien de coûts de production faibles est également un atout. La politique de la PAC sur les céréales oblige à une forte technicité des exploitants. Le fait que sur presque 2 000 ha les agriculteurs puissent obtenir de l'eau gratuite ne permet pas de dire que l'impact du traitement ait une grande portée. Simplement pour les agriculteurs concernés le revenu à l'ha pourrait légèrement gagner quelques points en pourcentage, sûrement moins de 5%. Le prix de l'eau d'irrigation à partir de ressources conventionnelles n'est pas connu, il est possible de penser qu'avec des infrastructures peu coûteuses en entretien ce prix se situe à un niveau assez faible. Ainsi l'impact du traitement de la gratuité de l'eau sur le revenu individuel des agriculteurs est certainement très faible. D'autre part le fait qu'il y ait eu une substitution de la ressource initiale (polluée) par une ressource égale en volume n'affecte en rien le rendement des cultures. Autrement dit avec ou sans le projet de REU, le revenu agricole reste pratiquement identique entre les deux variantes.

8.6 ASPECT SOCIAUX

La possibilité de mettre à la disposition des agriculteurs une nouvelle ressource en eau a permis de promouvoir une image dynamique de l'activité agricole et d'éviter que le projet puisse accélérer le départ des professionnels.

8.7 ACCEPTABILITE PAR LES BENEFICIAIRES

Vraisemblablement il ya eu une complète acceptation des agriculteurs vis-à-vis du projet, d'une part du fait de la compensation des volumes, de la gratuité du service, de la possibilité d'utiliser l'eau quelque soit la situation des parcelles, de la possibilité de cultiver les terres au voisinage de la station. Les négociations initiales entre Degremont et les agriculteurs ont connu peut être des moments intenses, mais les enjeux ne semblent pas donner matière à un refus permanent de bonne entente. A l'heure actuelle la seule demande porte sur un accroissement des volumes mis à la disposition des agriculteurs.

8.8 PRISE EN COMPTE ET EVALUATION DES RISQUES

Cf. § 8.1.6

8.9 SUIVIS

8.9.1 Contenu des protocoles de suivi

Le suivi des cultures est réalisé régulièrement.

8.9.2 Évaluations et conséquences sur le projet

Le vrai aspect bénéfique du projet est la réduction de la charge polluante dans le milieu naturel. Le projet dans ce sens était indispensable, mais reste une valeur intangible.

9. Utilisation des indicateurs économiques d'évaluation

9.1 RAPPEL DES INDICATEURS UTILISES

La liste présentée ci-après indique les indicateurs qui se sont révélés être les plus pertinents à la suite des visites sur site et par rapport aux informations disponibles. De fait certains indicateurs ont été ajoutés ou modifiés dans leur contexte REU par rapport à la liste initiale. Il est important de garder en mémoire que l'objectif reste celui de la mesure des impacts de la REU et non celui de l'épuration et du traitement des eaux usées.

- ECO 1 Nombre de bénéficiaires du projet assainissement
- ECO 2 Nombre de bénéficiaires de la réutilisation des eaux usées (REU)
- ECO 3 Volumes utilisés par utilisateur
- ECO 4 Consommation énergétique / m³
- ECO 5 Valeur ajoutée par m³ en euros
- ECO 6 Nombre d'emplois directs créés par la REU
- ECO 7 Maintien des emplois avec la REU
- ECO 8 Cout d'opportunité de l'eau
- ECO 9 Coût des dégâts évités

9.2 COMMENTAIRES SUR LES INDICATEURS ECONOMIQUES RETENUS

ECO 1 NOMBRE DE BENEFICIAIRES DU PROJET D'ASSAINISSEMENT

Ce critère est retenu pour donner la première dimension du projet et souligner les enjeux par rapport à une population en situation d'assainissement, celle qui est connectée par un réseau collectif sur la station de traitement.

C'est une donnée facile à obtenir, mais il convient de bien préciser que le raccordement est bien celui de la station de traitement. La valeur obtenue est le plus souvent un ordre de grandeur en équivalent habitants. Il se vérifie par les critères de rejets et permet de contrôler la cohérence du chiffre des volumes traités au niveau de la station.

ECO 2 NOMBRE DE BENEFICIAIRES DE LA REUTILISATION DE EAUX USEES REU

Ce critère permet de dénombrer les utilisateurs de l'eau traitée. L'ordre de grandeur est très variable : une valeur unitaire ou au contraire un nombre très élevé (cas des périmètres irrigués par exemple).

Il n'est pas toujours facile d'obtenir cette information, surtout lorsque les rôles « production / utilisation » concernent des gestionnaires différents. Il arrive souvent qu'à partir de la sortie de la step le producteur n'ait aucune relation (ou que peu de relations) avec les utilisateurs.

Dans le cas des périmètres irrigués le chiffre a été obtenu à partir de ratios moyens d'une part sur la consommation en m³ par ha irrigué, et d'autre part en se basant sur la superficie moyenne des exploitations. Les données complémentaires doivent en principe être recherchées dans l'environnement immédiat de l'activité concernées, et demandent d'avoir recours à des sources fiables, si possible des données écrites, ou confirmées à dire d'experts.

ECO 3 VOLUMES UTILISES PAR UTILISATEUR

Ce sont des volumes qui servent ici de critère. La valeur obtenue permet d'identifier la nouvelle ressource en eau et son potentiel de création de richesse. Ce critère permet la comparaison de projets ou de variantes d'un même projet.

La donnée s'obtient par division des volumes disponibles en sortie de station, par le nombre d'utilisateurs (critère ECO2).

ECO 4 CONSOMMATION ENERGETIQUE PAR M³ PRODUIT

Le coût de l'énergie pèse de plus en plus sur les résultats économiques des projets et il est utile de mettre en évidence les efforts pour diminuer ou limiter la consommation énergétique, de fait ce critère vient compléter la valeur environnementale que l'on pourrait lui attribuer a priori.

Ce sont des kWh/m³ qui servent ici de critère. Il s'agit de mesurer l'énergie consommée pour produire et distribuer l'eau recyclée. Les deux phases peuvent être distinguées, et plusieurs cas de figure peuvent se présenter sur le terrain. Parfois production et distribution sont contrôlées par le même opérateur (cas de la station de San Rocco à Milan qui « gère » l'eau jusqu'à 4 Km en sortie d'usine), mais la consommation d'énergie n'est pas forcément affectée à chaque étape du processus.

Toute la difficulté de ce critère réside dans la capacité du gestionnaire à fournir une information ciblée sur la REU. Pour l'instant c'est une démarche encore peu utilisée dans le suivi des consommations, mais qui devient de plus en plus significative de la performance des projets.

La valeur de ce critère peut être approchée directement ou indirectement par les coûts d'énergie, à condition de disposer d'une comptabilité analytique qui permet d'identifier le niveau de production et celui de la distribution, et mesurer précisément ce qui est induit par les usages de l'eau.

Sur les huit exemples analysés, l'identification de la consommation énergétique n'a pu se faire que sur un seul des projets. Les données obtenues permettent d'identifier le nombre de kWh supplémentaire à fournir pour produire 1 m³ d'eau à destination agricole, sans toutefois donner la part de l'énergie supplémentaire pour la distribution (relevage en particulier). Pour l'exemple de Shafdan un coût de l'énergie par m³ d'eau agricole a été communiqué, ce coût inclut certainement la production et le transport, mais les données communiquées ne précisent pas la consommation énergétique nécessaire.

ECO 5 VALEUR AJOUTEE PAR M³ EN EUROS

L'eau recyclée va servir à produire des biens qui seront valorisés à leur tour, qu'elle est cette valeur par rapport au m³ utilisé ? En s'appuyant sur la valorisation finale de biens ou de service produits grâce à l'eau traitée, ce critère devient essentiel pour évaluer l'impact économique du m³ utilisé.

La valeur ajoutée d'un bien de production se calcule par la différence entre la valeur de vente du produit (chiffre d'affaire) et la valeur des biens intermédiaires (intrants) directs utilisés pour la fabrication de ce bien. La valeur ajoutée ne comprend pas les coûts de main d'œuvre, ni la rémunération du capital, ni les charges fiscales, ni les charges foncières.

Dans le cas d'un golf la valeur ajoutée se mesure par la différence entre les cotisations et/ou redevances payées par les golfeurs, et les coûts d'entretien du green (amortissement pour l'implantation et le matériel, coûts d'irrigation).

Dans le cas d'une utilisation agricole la valeur ajoutée sera celle de la production finale obtenue moins les intrants que sont les semences ou les plants, les engrais, l'eau d'irrigation et l'amortissement du matériel agricole ramené à la superficie concernée. La plupart du temps le calcul s'appuie sur la description des itinéraires techniques de chacune des cultures concernées.

Les exemples analysés montrent bien que la pertinence du critère est dépendant de la qualité des données obtenues, notamment dans le cas de la valorisation agricole où les résultats restent liés au degré de suivi des exploitations. Il n'est pas toujours possible d'obtenir un document écrit qui analyse le résultat de l'activité agricole, et les entretiens oraux restent de fait liés à la subjectivité de l'interlocuteur. D'autre part plusieurs niveaux d'intervention, ou de soutien à la production peuvent perturber la lecture des résultats. Cela est sensible par exemple dans le cas de San Rocco où la politique de soutien de l'agriculture européenne corrige fortement les prix du marché. Dans le cas de Shafdan et de l'irrigation du Néguev l'influence des subventions apparaît forte, mais reste aussi longue à décrypter. L'effort de synthèse à fournir pour ce critère n'est pas sans intérêt dès lors que les contraintes rencontrées sont explicitées.

ECO 6 NOMBRE D'EMPLOIS DIRECTS CREES PAR LA REU

Il s'agit ici d'identifier les emplois liés aux activités découlant de l'utilisation des eaux traitées.

Les informations ne sont pas toujours accessibles en direct. Il faut donc recouper les données par rapport à l'activité exercée afin d'obtenir des ordres de grandeur, plus que des valeurs très précises.

ECO 7 MAINTIEN DES EMPLOIS AVEC LA REU

L'objectif de ce critère répond en fait à la question de la non réalisation du projet de réutilisation. Que se passe-t-il au niveau des emplois si le projet n'est pas réalisé ? Est-ce que l'impact sur les emplois est important ?

Ce critère est une autre façon de démontrer l'importance du projet. D'autre part ce critère complète la typologie des projets. Par exemple la réutilisation en Jordanie permet de maintenir une population agricole dans la vallée du Jourdain, sans l'eau des emplois existants sont perdus. Le cas du Néguev est différent, avant le projet de réutilisation il n'y avait pas d'activité agricole intensive, la réponse au critère de maintien des emplois aura une portée différente.

ECO 8 COUT D'OPPORTUNITE DE L'EAU

Ce critère est construit sur la base de l'analyse d'une alternative qui n'a pas été choisie. A quelle activité a-t-on renoncé ? Que serait-il possible de faire d'autre avec l'eau traitée ? Peut-on l'affecter à un autre usage ?

Les exemples montrent que la réponse est liée au contexte dans lequel s'est effectué le projet de traitement lui-même (projet environnemental de protection du milieu, lié ou non à la possibilité d'une valorisation en cascade), mais aussi au contexte plus général de la ressource en eau.

Dans certain cas il n'y a pas eu d'autre opportunité possible, le choix qui a été fait est le meilleur qui puisse être pour valoriser l'eau une seconde fois. Dans le raisonnement extrême de ce type de situation on peut arriver à définir que la réutilisation n'était pas indispensable, mais présente seulement une bonne opportunité de créer de nouvelles richesses, et qu'en fait celle qui a été choisie correspond le mieux aux contraintes ou aux besoins locaux. Dans ce cas le coût d'opportunité ne s'exprime que par une satisfaction accomplie, on n'a renoncé à rien, le coût d'opportunité est égal au coût de l'eau produite pour la réutilisation, en fait il n'y a pas de coût d'opportunité.

Dans d'autre cas la réutilisation de l'eau est inévitable, c'est une ressource indispensable qui vient corriger les effets de pénurie. L'utilisation la plus importante à laquelle on aurait renoncé ne peut être que celle destinée à l'alimentation humaine. Dans ce cas c'est la qualité de l'eau obtenue qui va permettre de dire si vraiment on a renoncé à une autre valorisation. Faut-il investir d'avantage pour avoir une qualité potable ? L'accès à cette ressource nouvelle oblige t'il à des investissements nouveaux (stockage, transports,...) ? Le coût de potabilisation va-t-il être inférieur à la valeur ajoutée que l'on obtient avec l'utilisation qui a été choisie.

Deux cas d'analyse ont eu cette alternative à résoudre. La réponse reste celle du choix d'une très forte valorisation de l'eau, dans les deux cas celui d'une agriculture intensive créant en surplus une très forte activité économique par effets induits. Ce qui revient à comparer les bénéfices du secteur agricole développé avec ceux réalisés en mettant dans le circuit d'avantage d'eau potable. La tâche d'évaluation se complique.

Cependant, si l'on accepte dans ces cas une simplification extrême, la seule valeur facilement accessible serait celle d'un coût d'opportunité qui s'exprime par le prix de cession d'un m³ d'eau potable. Choix qui reste très soumis à critique dans le cas où le coût de l'accès à l'eau est, dans beaucoup de pays, largement subventionné. Le prix de l'eau est rarement le reflet de sa valeur économique, les enjeux qui en dépendent ont un caractère social et politique suffisamment élevés pour que les choix retenus soient implicitement les meilleurs pour un équilibre souhaitable. Si l'on écarte un coût d'opportunité au moins égal au prix de vente du m³ d'eau potable, on accepte implicitement que la valorisation de l'eau agricole compense largement le choix d'avoir écarté un usage eau potable, et là encore le coût d'opportunité ne s'exprime pas, il est nul.

ECO 9 COUT DES DEGATS EVITES

Cette partie de l'analyse entre dans le domaine de l'évaluation d'événements qui auraient pu se produire si le programme de réutilisation n'avait pas été engagé. Ce qui permet d'avoir un autre éclairage sur les effets bénéfiques du projet.

Certaines des évaluations peuvent être chiffrées : perte d'emploi, perte de valeur ajoutée si une activité est supprimée. Mais bien souvent l'objectif principal du traitement des eaux est celui de l'assainissement du milieu naturel et rentre dans le domaine de l'évaluation environnementale et dans celle des coûts intangibles, par définition difficile à évaluer en termes monétaires.

Dans les études de cas au moins deux exemples entrent dans cette catégorie, et demandent des évaluations plus approfondies pour refléter l'impact du projet. Mais l'importance d'une dépollution reste souvent assez parlante en elle-même pour justifier des prises de décision sans avoir systématiquement à les chiffrer. Des tables de comparaison de préférence suffisent parfois à valoriser les enjeux.

10. Utilisation des indicateurs financiers d'évaluation

10.1 RAPPEL DES INDICATEURS UTILISES

La liste présentée ci-après présente les indicateurs qui se sont révélés être les plus pertinents à la suite des visites sur site et par rapport aux informations disponibles. De fait certains indicateurs ont été ajoutés ou modifiés dans leur contexte REU par rapport à la liste initiale.

FIN 1 Investissement des ouvrages d'épuration

FIN 2 Charges annuelles du service épuration et charges par m³

FIN 3 Investissements réalisés dans le domaine de la REU

FIN 4 Charges annuelles de la REU

FIN 5 Politique mise en œuvre pour limiter la consommation énergétique

FIN 6 Solidité des montages financiers

FIN 7 perspectives d'évolution

FIN 8 Financement des suivis

10.2 COMMENTAIRES SUR LES INDICATEURS FINANCIERS RETENUS

FIN 1 INVESTISSEMENT DES OUVRAGES D'EPURATION

L'investissement des ouvrages d'épuration est une donnée de base pour identifier le projet. C'est une donnée relativement facile à obtenir, mais sur laquelle il est toujours indispensable d'apporter des précisions par rapport aux équipements réalisés et selon les différentes phases d'exécution du programme.

FIN 2 CHARGES ANNUELLES DU SERVICE EPURATION ET CHARGES PAR M³

La valeur brute des charges annuelles n'est souvent pas exprimée, car liée au contrat d'exploitation et à l'intervention de différents partenaires financiers.

Par contre le coût rapporté au m³ est souvent plus facilement accessible. Ces deux données restent un bon élément de comparaison entre plusieurs projets.

FIN 3 INVESTISSEMENTS REALISES DANS LE DOMAINE DE LA REU

Il s'agit là de la valeur des investissements directement affectés à la réutilisation, et concerne par conséquent les ouvrages réalisés après le rejet, en sortie de station. La difficulté est que cette valeur n'est parfois pas dissociée de l'ensemble des investissements.

FIN 4 CHARGES ANNUELLES LIEES A LA REU

La connaissance de cette donnée dépend fortement du mode de réutilisation. Généralement le poste de dépense le plus important est celui d'un pompage ou d'un relevage. Là encore il n'est pas forcément identifié par les utilisateurs ou même les gestionnaires. La séparation des rôles entre production et réutilisation ne facilite pas l'établissement de ce critère.

Il convient de recouper ce critère avec le critère ECO 4 qui évalue la consommation énergétique seule.

FIN 5 POLITIQUE MISE EN ŒUVRE POUR LIMITER LA CONSOMMATION ENERGETIQUE

Dans le même ordre d'idée ce critère a pour but l'évaluation des consommations énergétiques, en mettant en valeur ce qui est entrepris pour leur diminution. Ce critère ne s'exprime pas en valeur directe, mais sur une échelle de 0 à 3.

FIN 6 SOLIDITE DES MONTAGES FINANCIERS

L'analyse du montage financier d'une opération de traitement des eaux montre la complexité des relations contractuelles qui se tissent pour accompagner le projet. Cette analyse ne s'exprime pas en valeur directe, mais sur une échelle de 0 à 3.

FIN 7 PERSPECTIVES D'EVOLUTION

Directement liés aux volumes à traiter donc à l'évolution du nombre d'habitants et des consommations unitaires les projets évoluent soit dans au niveau de leurs procédés soit au niveau de leur capacité et souvent dans un cycle qui combine ces deux grandes variables.

Cette évolution se traduit par phase, elles sont simplement à décrire pour mieux comprendre le contexte financier des résultats.

FIN 8 FINANCEMENT DES SUIVIS

Le terme de suivi doit être compris dans un sens assez large, englobant à la fois les aspects sanitaires, financiers, économiques et sociaux du projet. La question posée est celle de savoir si des moyens financiers courants sont engagés pour surveiller les impacts du projet.

Ce critère s'évalue dans un cadre de notation allant de 0 à 3

11. Conclusions et premières perspectives pour l'action

11.1 MODALITES D'APPRECIATION DES OPERATIONS VISITEES

On propose dans le tableau qui suit une synthèse des appréciations portées sur les huit opérations visitées vis-à-vis des paramètres suivants :

- L'adéquation des volumes concernés aux besoins de la REU
- La qualité de l'eau fournie
- La qualité du service et plus précisément sa continuité
- Le niveau de suivi sanitaire des populations concernées
- Le suivi de la qualité des sols en termes de concentrations en nitrates et vis-à-vis de la salinité
- Les indices biotiques du milieu aquatique
- La qualité de l'eau de la nappe au voisinage du projet

INDICATEURS DE SUIVI

		1 Habeul	2 Korba	3 Golf Tunisie	4 Clermont-Ferrand	5 Ouagadougou	6 Jordanie	7 ShafDan	8 Milan
Adéquation des volumes	Pertinence	oui	oui	limite	facteur limitant lagune	oui		oui	oui
	Mise en Oeuvre	non	oui	limite	oui	limite	sans objet	oui	oui
	Réactivité Correction	non	oui	oui	oui	difficultés		oui	oui
Qualité de l'eau	Pertinence	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui
	Mise en Oeuvre	non	non	oui	oui	oui	oui	oui	oui
	Réactivité Correction	oui	oui	oui	oui	oui	?	oui	oui
Continuité service	Pertinence	oui	oui	oui	oui	oui	by pass pluvial urbain	oui	oui
	Mise en Oeuvre	non	oui	oui	oui	non (pannes réseau de collecte)	vidange eau boueuse Jourdain	oui	oui
	Réactivité Correction	non	oui	oui	oui	difficile (vandalisme)		oui	oui
Suivi sanitaire population	Pertinence	oui	oui		oui	oui		oui	? (traitement très poussé)
	Mise en Oeuvre	oui	oui	non	oui	abandonné	?	oui	?
	Réactivité Correction	oui	oui		oui	non		oui	?
Suivi des sols: Nitrates et salinité	Pertinence	oui		oui		non	oui		
	Mise en Oeuvre	oui	sans objet	oui	sans objet	non	oui		sans objet
	Réactivité Correction	station irrigation expérimentale		oui		non	non		
Qualité halieutique	Pertinence								
	Mise en Oeuvre	sans objet	sans objet	sans objet	sans objet	sans objet	sans objet	sans objet	sans objet
	Réactivité Correction								
Qualité eau de nappe	Pertinence	oui	oui	non				oui	rien de spécifique mentionné
	Mise en Oeuvre	oui	oui		sans objet	sans objet	sans objet	oui	
	Réactivité Correction	non	oui					oui	

11.2 SYNTHÈSE DES ENSEIGNEMENTS DES VISITES

En l'état actuel du recul que l'on peut avoir vis-à-vis des installations visitées, on peut décliner les considérations qui suivent :

Les projets qui donnent satisfaction sur le plan de l'efficacité technique et administrative sont ceux où

- Le stress hydrique est fort et où corrélativement une GIRE est effective et à l'origine de la décision de REUT
- La valorisation agricole spécifique au projet s'inscrit dans un dispositif préexistant d'irrigation avec une autre ressource (cas de la Jordanie)
- Le process de traitement tertiaire est sous contrôle d'une approche scientifique spéciale (comme pour les opérations de Tunisie et d'Israël de recharge de nappe) car elles sont ipso facto le siège de suivi et de volonté de réussite.
- Les solutions de traitement tertiaire (désinfection) ont été l'objet d'études au niveau de la conception de la step directement ou par la suite.
- Un porteur de projet est clairement impliqué dans la responsabilité des opérations ou une relation claire relie les différents opérateurs (cf. Clermont Ferrand)
- La pratique de récupération des eaux usées (plus ou moins dilués) préexiste à la mise en œuvre du projet qui ne fait que remettre de l'ordre sanitaire dans une situation déjà dédiée à la valorisation (cas de Milan)
- Un encadrement réglementaire strict fixe les règles de REUT (cf. Ouaga qui démontre le fait directement et a contrario, cf. également Israël)

S'agissant des appréciations de rentabilité, dès l'instant que toutes les composantes des projets sont pris en compte, la justification du choix de la REUT ne semble pas problématique.

Par contre un élément de complexité difficile à paramétrer concerne les opérations à objectifs multiples : dans plusieurs des sites investigués on constate que la valorisation de l'eau s'ajoute à d'autres buts. La protection du milieu balnéaire en Tunisie et en Israël pèse combien dans les projets ; de même pour la protection contre l'intrusion du biseau salé dans ces deux cas.

Annexe 2.2.

Indicateurs appliqués aux sites visités en phase 2

DESCRIPTION DES PROJETS

		1 Tunis Nabeul	2 Tunis Korba	3 Hammamet Golf	4 Clermont-F.	5 Ouaga Kossodo	6 Amman Samra	7 Tel Aviv Shafdan	8 Milan San Rocco
Type de traitement		Boues activées Recharge nappe	Boues activées + lagune de finition Recharge nappe	Boues activées + lagunes aérées + lagunes finition	Boues activées + lagunes finition	Lagunage	Boues activées + Chloration	Boues activées Infiltration	Boues activées + UV
Volumes sortie station	M m ³ / an	5.2	2.7	1.3	18.2	0.9	80.3 contrôlés 14.6 non contrôlés	128	103
Niveau atteint	D.B.O.	< 25mg/l	< 25mg/l	= 15mg/l	<15mg/l	50 filtré	= 30mg/l		= 10mg/l
	Germes	>10 000 /100 ml	< 1 000	< 1 000	< 1 000	< 1 000	< 1 000		=10
	Sel µs.cm	1600			sans objet	1600			sans objet
Description Reu	n°1	Lutte contre biseau salé	Lutte contre biseau salé	irrigation	irrigation cultures spéciales	irrigation manuelle maraichage	eau de mélange irrigation maraichage + vergers	irrigation agriculture intensive	irrigation gravitaire maïs céréales
	n°2	Arboriculture en complément d'autres ressources							
Mode		Gravitaire	aspersion de nuit	aspersion de nuit	aspersion	Arrosoir	tous types	tous types	gravitaire
ha			sans objet	170 + 110	650	11 contrôlés 50 non contrôlés	8 000 contrôlés 1 200 non contrôlés	23 300	1 900
M m ³ / an		0.12	0.5	1.1	0.8	0,15 contrôlés 0,75 non contrôlés	80,3 contrôlés 14,6 non contrôlés	128	11
Moteur projet de REU		Expérimentation ministère agriculture	Expérimentation ministère agriculture	Société Citrus Golf	Groupement agricole	ONEA par défaut	JVA	Mekorot	Metropolitana Milanese

DESCRIPTION DES PROJETS

	1 Tunis Nabeul	2 Tunis Korba	3 Hammamet Golf	4 Clermont-F.	5 Ouaga Kossodo	6 Amman Samra	7 Tel Aviv Shafdan	8 Milan San Rocco
Périmètre des intervenants	-Institut de recherche : propriétaire du site -Direction des ressources en eau est promoteur du projet	Maitrise totale par Direction Ressources en Eau	- ONAS gère la Step et les raccordements vers golf - Golfeur possède et gère lagunage, a subventionné la conduite	-Ville de Clermont gère Step -ASA a réaménagé le lagunage et distribue l'eau avec SP	<u>Phase initiale</u> : ONEA seul investisseur Coopérative en pépinière <u>Phase routine</u> : ONEA gère Step la Coop gère le réseau	-Water Authority of Jordan fixe les normes de sortie -Agglo d'Amman gère la Step (BOT) -JVA prend en charge le contrôle qualité aval et distribution	-Igudan propriétaire de la Step en délègue l'exploitation à Mekorot -Mekorot gère la Step, est propriétaire des sites d'infiltration, et la Q line -Coopératives agriculteurs achètent l'eau à Mekorot	-Joint venture entre MM et Degrémont, -MM assure les relations avec le consortium des irrigants
Connexion Intervenants	Arrangements verbaux	sans objet	Onas demande compensation financière pour gestion des conduites et relevage Convention avec Agence F Tourisme paye complément des intrants chimiques	Relations de bon voisinage entre producteur et utilisateur d'EUT; Comité de suivi sous l'égide du Préfet (réunion annuelle)	Comité de suivi: Commune / ONEA (en principe) Les nécessaires réajustements ne sont pas réalisés	Convention entre JVA et Aglo Amman/WAJ	Contrat d'exploitation entre Igudan et Mekorot Contrats de vente d'eau entre Mekorot et coopératives agricoles	Contrat entre MM et Degrémont Contrat entre MM et le Consortium des irrigants
Prix de l'eau pour usage après épuration	sans objet	sans objet	Non connu	eau mise à disposition sans contrepartie financière, sans taxe à agence de l'eau	eau mise à disposition sans contrepartie financière	0.02 € / m ³	1 shekel / m ³ Pm : 1 EUR = 4.93397 ILS	eau mise à disposition sans contrepartie financière

INDICATEURS DE STRATEGIE DU PROJET

			1 Nabeul	2 Korba	3 Hammamet	4 Clermont-Ferrand	5 Ouagadougou	6 Amman	7 ShafDan	8 Milan
					Golf			Samra		
STR1	GIRE	Objectif	3	3	3	0	3	3	3	3
		Document cadre	3	3	3	0	3	Non identifié	3	0
STR 2	Effets complémentaires du projet en termes environnementaux expérimentation expérimentation				3	Accroissement valeur ajoutée	3	3	3	3

INDICATEURS INSTITUTIONNELS

				1 Nabeul	2 Korba	3 Hammamet	4 Clermont-Ferrand	5 Ouagadougou	6 Amman	7 ShafDan	8 Milan
						Golf			Samra		
INS 1	Clarté rôle Ministères		0-3	3	3	3	3	3	3	3	3
	Coordination		0-3	1	2	2	3	1	1	3	3
INS 2	Référence à des normes de dépollution / épuration		0-3	3	3	3	3	3	3	3	3
INS 3	Référence à des normes d'utilisation irrigation		0-3	3	3	3	2	2	3	3	3

INDICATEURS DE MONTAGE ORGANISATIONNEL

			1 Nabeul	2 Korba	3 Hammamet	4 Clermont-Ferrand	5 Ouagadougou	6 Amman	7 ShafDan	8 Milan
					Golf			Samra		
ORG 1	Clarté dans la définition porteur de projet	0-3	3	3	3	3	0	0	3	3
ORG 2	Assainissement urbain, niveau d'organisation									
	Collecte des eaux usées	0-3	3	3	3	3	3	2	3	3
	Epuration	0-3	3	3	0	3	3	0	3	3
ORG 3	Organisation vulgarisation agronomique	0-3	2	2	sans objet	2	1 (contrats phase de projet/phase de routine)	0	3	0 (a priori rien de spécifique)

INDICATEURS DE TECHNOLOGIE D'EPURATION DES EU

			1 Nabeul	2 Korba	3 Hammamet	4 Clermont-Ferrand	5 Ouagadougou	6 Amman	7 ShafDan	8 Milan
					Golf			Samra		
EPU 1	Adéquation process aux objectifs de qualité	0-3	0 - T tertiaire	oui	2 avec lagunage - surcharge estivale	3 avec lagunage	3	PB Chloration	3	3
EPU 2	Performance épuratoire					3	2			3
EPU 3	Déminéralisation					sans objet	sans objet			sans objet

INDICATEURS DE MISE EN ŒUVRE DE LA REUT

			1 Nabeul	2 Korba	3 Hammamet	4 Clermont-Ferrand	5 Ouagadougou	6 Amman	7 ShafDan	8 Milan
					Golf			Samra		
GEN 1	Respect des règles de l'art au niveau des dossiers de conception	0 ou 3	3	3	3	3	3	3	3	3
GEN 2	Respect des règles de sécurité	0 ou 3	0	3	3	3	3	3	3	3
GEN 3	Information et communication auprès des usagers	0 ou 3	0	0	0	3	0	0	3	3
AGR 1	Contexte agro pédologique adapté	0 ou 3	3	3	3	3	0	3	3	3
NAP 1	Spécificités liées à la recharge de nappe	0 ou 3	3	3	3	SANS OBJET	SANS OBJET	SANS OBJET	3	3

INDICATEURS DE SUIVI

			1 Nabeul	2 Korba	3 Hammamet	4 Clermont-Ferrand	5 Ouagadougou	6 Amman	7 ShafDan	8 Milan
					Golf			Samra		
SUI 1	Gestion qualitative des EUT : fréquence des analyses et conformité aux objectifs	0 ou 3	0 Pertinent mais non mis en oeuvre	0 Pertinent mais non mis en oeuvre	3	3	3	3	3	3
SUI 2	Evaluation sanitaire de la population vivant sur la zone de REUT	0 ou 3	3	3	0 Non mis en oeuvre	3	0 Pertinent mais abandonné	Information non obtenue	3	Information non obtenue
SUI 3	Indices biotiques du milieu aquatique	0 ou 3	Sans objet	Sans objet	Sans objet	Sans objet	Cours d'eau temporaire	3	Sans objet	Rien de spécifique mentionné
SUI 4	Qualité de l'eau de la nappe	0 ou 3	3 Pertinent et mis en œuvre Attention pas de mesure corrective	3	0	Sans objet	Sans objet	Sans objet	3	Rien de spécifique mentionné

INDICATEURS FINANCIERS

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

INDICATEURS ECONOMIQUES

		1 Tunis Nabeul	2 Tunis Korba	3 Hammamet Golf	4 Clermont Ferrand	5 Ouaga Kossodo	6 Amman Samra	7 Tel Aviv Shafdan	8 Milan San Rocco
ECO 1	nb bénéficiaire assainissement	50 000	10 000	30 000	250 000	15 000 eqh	2 300 000	2 500 000	1 050 000
ECO 2	nb bénéficiaire REU	30	50	2 entreprises	51	330	2 390	4 300	35
ECO 3	Volume réutilisation / utilisateur	4000 m3/an	10 000 m3/an	650 000	15 686	2 727	33 598	29 767	334 286
ECO 4	Consommation énergétique / m ³	sans info	sans info	sans info	sans info	sans info	sans info	sans info	0.07 kWh/m3
ECO 5	Valeur ajoutée : euros/ m ³				1.66	0.34	0.40 - 1.12	> 4.50	0.09
ECO 6	Nb emplois directs créés			170		0	20 000	100 000	0
ECO 7	Maintien des emplois	30	50		60	330	3 500	0	35
ECO 8	Coût d'opportunité de l'eau	sans objet	sans objet	coût du maintien propreté de la plage	Celui d'une culture plus valorisante si conditions pédologiques et climatiques acceptables	utilisation optimale	Prix de m ³ eau potable	Prix de m ³ eau potable	Epuration du milieu naturel
ECO 9	Coût des dégâts évités	intrusion marine	intrusion marine	pollution du site	REUT : disparition d'exploitations en raison de cultures en sec insuffisamment rémunératrices; + pollution du milieu récepteur si on y inclut l'épuration	épidémie population	perte de production agricole	perte de production agricole perte de toute activité économique	pollution du site - mauvaise image du site milanais

Annexe 3.

Typologies de traitements des EU

■ TYPOLOGIES DE TRAITEMENTS DES EU

On rappelle que les procédés de traitement des eaux usées en station d'épuration sont nombreux et qu'ils répondent à des réductions de la pollution plus ou moins poussée. Par réduction de la pollution on entend l'abattement de concentrations de matières d'un point de vue physico-chimique, organique et microbiologique.

Les procédés mis en œuvre dans une station d'épuration peuvent se classer comme suit :

- les traitements primaires et secondaires intensifs
- les traitements primaires et secondaires extensifs
- les traitements de finition dont la désinfection

Avant de décrire l'ensemble des procédés attachés à ces différentes phases de traitement, on indique tout d'abord sommairement quelle est la composition des eaux usées et quels sont donc les enjeux de leur traitement eu égard aux aspects négatifs de certains de ces composants.

Pour plus de détails, on pourra consulter les références bibliographiques suivantes : Asano T., Burton, H. Leverenz, R. Tsuchihashi, and G. Tchobanoglous. 2007. Water Reuse: Issues, Technologies, and Applications. McGraw-Hill, New York.

LA COMPOSITION DES EAUX USEES

La composition des eaux usées est tributaire de la qualité de l'eau initiale avant usage, de l'activité humaine et des différents process industriels éventuellement à l'origine de certains rejets d'effluents.

- Les microorganismes : les bactéries pathogènes dont salmonella est la plus communément rencontrée ; les virus (entérovirus, rotavirus, retrovirus etc ...) dont on considère la résistance plus grande que celle des bactéries ; les protozoaires (qui deviennent kystes) ; les helminthes dont le nombre atteint environ 1 000/l dans les eaux résiduaires et qui se présentent sous forme d'œufs ou de larves.
- Matières en suspension et microorganismes : ce sont ces MES qui sont transporteuses des micro-organismes pathogènes ; elles doivent à ce titre être éliminées, principalement par décantation.
- Substances nutritives : l'azote, le phosphore, le potassium, les oligo éléments (zinc, cuivre, bore, soufre) sont présents dans les EUT mais dans des proportions variables qui peuvent être soit adaptées aux besoins de certaines cultures, soit excédentaires pour d'autres.
- Eléments traces : d'autres oligo-éléments; il s'agit du plomb, du mercure, du cadmium, du brome, du fluor, de l'aluminium, du nickel, du chrome, etc.C'est l'accumulation dans le sol de ces métaux lourds qui peut représenter un danger pour la plante et par voie de conséquence pour l'homme.
- Salinité : par rapport à l'eau distribuée dans les réseaux, la salinité excédentaire dans les eaux usées n'est que de 0,2 g/l, ce qui ne constitue pas un danger pour les plantes si l'eau à l'origine présente une concentration acceptable. On peut noter qu'en cas de réseaux EU drainants des eaux saumâtres, l'augmentation peut être plus sensible. Son niveau dépendra directement de la salinité des eaux drainées et du volume d'intrusions.
- Les composés organiques dits « émergents » tels que les médicaments, perturbateurs endocriniens, écrans UV, retardateurs de flammes, sous-produits de désinfection, sous-produits de dégradation des pesticides, surfactants fluorés (PFOA et PFOS), composés œstrogéniques et autres.

LES TRAITEMENTS PRIMAIRES ET SECONDAIRES INTENSIFS

La décantation primaire : on considère que ce stade du traitement élimine 40 à 60 % des MES mais qu'il a peu d'effet sur l'abattement des micro-organismes.

Les traitements physico-chimiques : l'adjonction de réactifs pour provoquer coagulation et floculation amènent le rendement en abattement de MES jusqu'à 90 %. A ce stade l'élimination des coliformes est fonction du PH.

Les traitements biologiques secondaires : les lits bactériens ont des performances qui ramènent les concentrations de MES à 30 g/l, de DCO à 90 g/l et de DBO à 40 g/l ; les boues activées ont des performances comparables ; la biofiltration, procédé plus moderne à biomasse fixée donne également satisfaction ? Les trois procédés ont des résultats médiocres sur l'élimination des kystes de protozoaires ou d'œufs d'helminthe. Quant à la nitrification – dénitrification, elle a pour but de réduire la teneur en azote.

LES TRAITEMENTS PRIMAIRES ET SECONDAIRES EXTENSIFS

Lagunage naturel : il s'y développe les processus suivants : décantation des MES et digestion des matières décantées, oxydation des matières organiques et synthèse des algues productrices d'oxygène,

Lagunage aéré : le procédé est basé sur les mêmes principes que le lagunage naturel mais les phénomènes y sont accélérés, ce qui permet une économie substantielle de la superficie des bassins (mais une consommation importante d'énergie).

infiltration-percolation : dans un massif filtrant on fait percoler à intervalles réguliers les volumes d'eaux à traiter ; le percolat est récupéré après passage sur la surface imperméable du fond des filtres.

Filtres plantés de roseaux (FPR) : le dispositif est analogue au précédent mais il en est une amélioration grâce à la présence des roseaux dont qui participent physiquement à l'épuration physico chimique et microbiologique qui se déploient dans le sol lui-même.

LES TRAITEMENTS DE FINITION – LA DESINFECTATION

On décrit ci-dessous six familles de technologies visant à réduire efficacement œufs de parasite et coliformes. Elles sont toutes tributaires de l'efficacité des niveaux d'épuration préalables en phase primaire et secondaire (cette remarque pour rappeler qu'en aucun cas la désinfection pourrait concerner des eaux brutes).

1. **le lagunage** : le procédé est efficace et on atteint de très bons rendements pour autant que le temps de séjour est bien calculé eu égard aux conditions climatiques (inhibition des phénomènes en situation hivernale)
2. **la chloration** : ce procédé est mentionné pour mémoire car s'il a encore quelques adeptes, il présente tout de même des risques de production de chloramines au pouvoir bactéricide très réduit. De plus la maintenance de ce type d'installation est réputée difficile du fait de la dangerosité de certains produits.
3. **l'ozonation** : le procédé est efficace mais il nécessite un effluent avec une bonne élimination de MES et d'autre part son coût est élevé .
4. **les rayonnements Ultra Violet** : certes la méthode nécessite une bonne filtration préalable et une bonne régulation du débit mais elle est à ce jour bien maîtrisée, simple et efficace. savoir tout de même que la recherche fondamentale suit les questions de reviviscence bactérienne éventuelle par photoréactivation.

5. **infiltration percolation** : si la granulométrie du massif filtrant est correcte, si la vitesse d'infiltration et la qualité de l'effluent sont maîtrisées, alors le procédé donne satisfaction ; mais son caractère rustique est trompeur et oblige néanmoins à une grande rigueur d'exploitation.
6. **le traitement membranaire** : cette technique récente semble prometteuse par son peu d'encombrement associé à de bonnes performances. Mais la grande quantité d'énergie à consommer ainsi que les coûts de renouvellement des membranes limitent l'utilisation de ce process coûteux.

L'annexe relative aux recommandations de l'OMS inclut un tableau de coûts associés aux différentes typologies de traitement.

Annexe 4.

Analyse des recommandations sanitaires de l'OMS

1.1 LE CADRE DES RECOMMANDATIONS DE 2006

Les recommandations du rapport 778 de 1989 présentent encore une certaine actualité, dans la mesure où elles ont servi de base à de nombreuses réalisations existantes, ainsi en France qu'aux recommandations du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France (CSHPF) validées par les circulaires DGS/SD1D/91 n°51 du 22 juillet 1991 et DGS/SD1.1D/92 n°42 du 03/08/0992, toujours en vigueur à ce jour.

Elles ont cependant été notablement révisées en 2006¹. Cette révision a d'abord eu pour objet de mettre à jour les données scientifiques, notamment épidémiologiques. Elle apporte également des compléments visant à mieux répondre aux préoccupations des publics de décideurs et a été réorientée pour refléter la pensée contemporaine relative au management des risques.

Les recommandations de 2006 se basent sur un modèle de développement de recommandations pour la maîtrise des maladies infectieuses d'origine hydrique dénommé « canevas de Stockholm » (Bartram et al 2001).

Afin de s'adapter aux différents publics concernés, l'ensemble comprend 4 volumes qui traitent respectivement des points suivants :

- Volume 1 : Aspects politiques et réglementaires ; résumés des 4 volumes ; index des 4 volumes ; glossaire.
- Volume 2 : Utilisation des eaux usées en agriculture
- Les volumes 3 « Utilisation des eaux usées en aquaculture » et 4 « Utilisation des excréta et des eaux grises en agriculture » sortent du champ de la présente étude.

1.2 VOLUME 1 ASPECTS POLITIQUES REGLEMENTAIRES ET INSTITUTIONNELS

Ce volume procure à un public de décideurs et de responsables réglementaires nationaux une vue d'ensemble sur les risques et bénéfices associés à ces pratiques, ainsi que sur la nature et la portée des options possibles en termes de protection de la santé publique.

1.2.1 Aspects politiques

- Les politiques comme base de gouvernance :
La REU peut avoir plusieurs objectifs, dont la définition constitue la première étape du développement d'un cadre politique national.
L'évaluation des usages avérés ou potentiels fournit une première clé.
La protection de l'environnement constitue un objectif politique dans beaucoup de pays. L'intégration d'objectifs de REU dans le traitement des effluents permet d'en considérer la valeur potentielle et pas seulement le coût que représente leur traitement.
La vérification régulière de la coordination des différentes politiques, particulièrement de santé publique, d'environnement et de sécurité alimentaire, doivent permettre d'optimiser le potentiel de la REU, dans le respect de pratiques sûres et d'un rapport coût/avantages optimal.
- Le cadre politique international
Les Nations Unies ont adopté le 08 septembre 2000 huit Objectifs de Développement du Millénaire, déclinés en 18 objectifs quantifiables contrôlés par 48 indicateurs. La déclaration du Millénaire a été signée par les chefs d'état eux-mêmes.

¹ « Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater ; volume 1 : Policy and regulatory aspects; volume 2 : waste water use in agriculture; volume 3: wastewater and excreta use in aquaculture; volume 4: excreta and greywater use in agriculture” WHO 2006

Au sommet mondial de Johannesburg sur le Développement Durable (2003), la Gestion Intégrée des Ressources en Eau (GIRE) a été intégrée au cadre politique international, avec un premier objectif pour chaque état d'établir des objectifs nationaux de GIRE pour 2005.

■ Les questions politiques concernant particulièrement la REU

Le rapport met en évidence les liens entre les 8 objectifs du Millénaire et la REU. Il rappelle l'esprit dans lequel les recommandations OMS ont été rédigées, dans l'optique d'une déclinaison au niveau national.

Dix pour cent de la population mondiale consomme des produits irrigués par des eaux usées, particulièrement parmi les populations des pays pauvres et arides ou semi arides. La REU se développe également dans les pays industrialisés, suite à la raréfaction des ressources, de l'augmentation de la population et de la reconnaissance de la valeur de ces ressources. L'utilisation des excréta est également une réalité pluriséculaire et encore largement répandue, tandis que l'aquaculture est surtout pratiquée en Asie.

Les règles relatives au commerce international des produits alimentaires ont été établies au cours des négociations de l'Uruguay Round, sous l'égide de l'Organisation Mondiale du Commerce (OMC). Selon les accords passés, les Etats Membres sont autorisés à prendre des mesures légitimes pour protéger la santé de leur population, à condition qu'il ne s'agisse pas de restriction injustifiée au commerce. Les recommandations de l'OMS, basées sur une approche d'analyse de risques reconnue internationalement, permettent de répondre à ces préoccupations.

Les risques sanitaires les plus étudiés dans le contexte de la REU sont en relation avec les maladies infectieuses associées aux excréta. Les preuves d'implication des maladies vectorielles ou de la shistosomiase sont moins répandues. Trois groupes de population sont particulièrement concernés, les producteurs agricoles et piscicoles et leur famille, les autres populations voisines ou en contact avec l'activité, les consommateurs.

La pratique du management des risques est facilitée par une analyse du cycle de production complet, depuis la production des eaux usées jusqu'à la consommation des produits. Ceci permet d'établir des politiques de santé publique optimisées, y compris économiquement, en choisissant d'intervenir aux points les plus pertinents du cycle de production. Ces points peuvent être les suivants : traitement des eaux usées et excréta, restriction des cultures autorisées, modalités d'irrigation, maîtrise de l'exposition par mise à disposition d'équipements de protection et adoption de mesures d'hygiène, conditionnement des produits alimentaires par des techniques telles que le lavage, la désinfection et la cuisson, la maîtrise des vecteurs de maladie, le traitement préventif chimiothérapique ou vaccinal des populations.

■ Formulation des politiques par une méthode « pas à pas »

Le développement d'un cadre politique national relève d'une démarche itérative intégrant notamment les étapes suivantes : établissement de mécanismes de dialogue politique continu ; définition des objectifs ; analyse de la situation, évaluation des besoins ; validation politique ; recherche.

■ Organisation institutionnelle

Les acteurs influençant les décisions relatives à la REU sont nombreux : au niveau national ministres, agences publiques, responsables et administrations locales.

Afin d'assurer une coordination harmonieuse entre ces différents acteurs, la mise en œuvre du concept de collaboration intersectorielle dans le domaine de la santé s'est imposé depuis la déclaration conjointe OMS/UNICEF d'Alma Ata en 1978. Il reconnaît notamment le fait que la santé des populations ne dépend pas uniquement des actions du secteur sanitaire, mais également de prises de décisions dans d'autres secteurs tels que l'environnement et l'action sociale. Cette démarche s'applique tout à fait au domaine de la REU.

1.2.2 Aspects réglementaires

Les axes à prendre en considération pour l'établissement de réglementations nationales sont les suivants : identification des dangers ; mise en évidence des risques sanitaires et de la capacité des mesures de protection envisageables à les maîtriser ; établissement d'objectifs de management des risques basés sur des critères de santé ; mise en œuvre des mesures de protection afin d'atteindre les objectifs fixés ; évaluation et suivi.

1.2.2.1 Identification des dangers

Les dangers associés à la REU sont les pathogènes associés aux excréta, certaines maladies vectorielles et certains toxiques chimiques.

Il convient de noter que les risques associés aux différents pathogènes (bactéries, helminthes, virus, protozoaires, trématodes,...) sont liés à leur durée de vie dans l'environnement, les risques associés aux éléments chimiques (métaux lourds, produits pharmaceutiques,...) sont quant à eux liés à leur transfert vers les eaux de consommation ou leur export vers les plantes qui seront ensuite consommées.

Le cadre réglementaire doit traduire ces directives générales en actions spécifiques se focalisant sur les dangers effectifs et les mesures de protection susceptible d'être effectivement déployées.

Il est précisé que, si le traitement des effluents est susceptible de réduire significativement la concentration de certains contaminants et les risques de transmission des maladies, cette seule approche n'est pas envisageable dans beaucoup de pays en développement. Les approches n'incluant pas de traitement doivent également être examinées, afin d'éviter la transmission des pathogènes ou l'exposition aux dangers chimiques.

1.2.2.2 Mise en évidence des risques sanitaires

L'évaluation des risques décrit la probabilité que, dans certaines circonstances, les dangers préalablement identifiés s'actualisent pour dégrader effectivement la santé humaine.

S'agissant de la REU agricole, on notera en particulier:

- Pour les consommateurs :
 - un risque de transmission lié à l'utilisation d'eaux usées non traitées (Helminthes et bactéries/virus),
 - un risque d'augmentation des diarrhées lorsque la concentration en bactéries thermotolérantes est supérieure à $10^4/100$ ml,
 - pas de risque démontré de transmission de protozoaires vers les consommateurs même si ceux-ci ont été identifiés sur des produits irrigués avec des EU.
- Pour les travailleurs et leur famille :
 - des risques de transmission des œufs d'helminthes à la fois chez les adultes et les enfants lorsque l'eau n'est pas traitée. Ce risque perdure à des concentrations supérieures à 1 œuf/l pour les enfants,
 - un risque d'augmentation des diarrhées lorsque la concentration en bactéries thermotolérantes est supérieure à $10^4/100$ ml chez les jeunes enfants,
 - un risque également élevé de transmission des salmonelles en cas de contact avec une eau non traitée,
 - un risque de transmission des œufs de Giardia liée au contact avec les eaux usées traitées ou non.
- Pour les riverains
 - des risques de transmission des œufs d'helminthes en cas de contacts prolongés avec des eaux d'irrigation à la raie ou par submersion,
 - un risque de transmission des virus et bactéries associé à l'irrigation par aspersion avec des eaux brutes.

Ces éléments sont issus des publications Sources: Shuval, Yekutiel & Fattal (1984); Fattal et al. (1986); Shuval et al. (1989); Blumenthal et al./ (2000a); Armon et al. (2002); Blumenthal & Peasey (2002); J.H.J. Ensink, W. van der Hoek & F.P./ Amerasinghe (unpublished data, 2005).

1.2.2.3 Objectifs de santé publique

Les objectifs de santé publique sont utilisés par les législateurs pour développer des réglementations pertinentes.

Ils fixent un niveau défini de protection de la santé pour une exposition donnée.

Pour la REU en agriculture, les objectifs de santé préconisés par l'OMS sont présentés dans le tableau suivant :

Table 2.4 Health-based targets and helminth reduction targets for treated wastewater use in agriculture

Type of irrigation	Health-based target for viral, bacterial and protozoan pathogens	Microbial reduction target for helminth eggs
Unrestricted	$\leq 10^{-6}$ DALY per person per year ^a	≤ 1 per litre (arithmetic mean) ^{b,c}
Restricted	$\leq 10^{-6}$ DALY per person per year ^a	≤ 1 per litre (arithmetic mean) ^{b,c}
Localized (e.g. drip irrigation)	$\leq 10^{-6}$ DALY per person per year ^a	(a) Low-growing crops: ^d ≤ 1 per litre (arithmetic mean)
		(b) High-growing crops: ^{d,e}
		No recommendation

^a The health-based target can be achieved, for unrestricted and localized irrigation, by a 6–7 log unit pathogen reduction (obtained by a combination of wastewater treatment and other health protection measures); for restricted irrigation, it is achieved by a 2–3 log unit pathogen reduction.

^b When children under 15 years of age are exposed, additional health protection measures should be used.

^c An arithmetic mean should be determined throughout the irrigation season. The mean value of ≤ 1 egg per litre should be obtained for at least 90% of samples in order to allow for the occasional high-value sample (i.e. with >10 eggs per litre). With some wastewater treatment processes (e.g. waste stabilization ponds), the hydraulic retention time can be used as a surrogate to assure compliance with ≤ 1 egg per litre.

^d High-growing crops include fruit trees, olives, etc.

^e No crops to be picked up from the soil.

■ Risques associés aux œufs d'helminthes

Pour ce paramètre, l'OMS préconise un objectif de seuil maximal de 1 œuf/litre en moyenne arithmétique annuelle, sauf pour l'arboriculture pour laquelle aucun seuil n'est imposé, à condition qu'aucun fruit ne soit ramassé à terre.

Lorsque des enfants de moins de 15 ans sont exposés, des mesures sanitaires complémentaires peuvent devoir être mises en œuvre.

■ Risques associés aux virus, bactéries et protozoaires

Pour ces classes de pathogènes, l'OMS préconise un seuil maximal de 10^{-6} DALY (Disability Adjusted Life Year) par personne et par an.

Cet objectif sanitaire nécessite un abattement des pathogènes de 6 à 7 log en irrigation non restrictive, mais seulement de 2 à 3 log s'il s'agit d'irrigation avec restriction sur les espèces cultivées.

Ces abattements sont obtenus par une combinaison de mesures de protection sanitaire incluant le traitement des EU, le respect d'un délai entre l'irrigation et la consommation des produits, l'irrigation sans mouillage de feuillage, le lavage domestique des produits avant consommation :

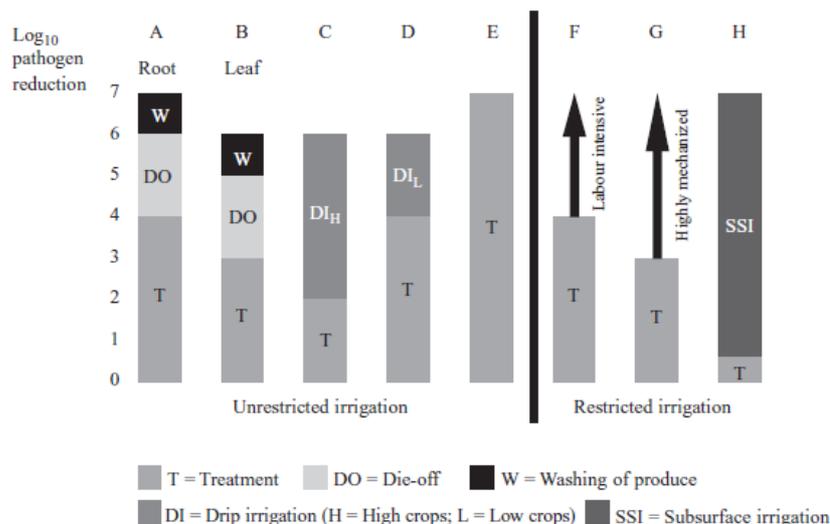


Figure 2.1

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

1.2.2.4 Mesures de protection de la santé

Le cadre réglementaire doit permettre d'assurer que les mesures adéquates sont appliquées avec pertinence. Il s'agira non pas d'une seule, mais d'une combinaison de mesures, comme précédemment évoqué. Cette combinaison variera selon les circonstances socioculturelles, économiques et environnementales.

1.2.2.5 Suivi et évaluation des systèmes

Le suivi se décline en trois modalités applicables à des phases des projets.

- **La validation** est mise en œuvre en phase initiale, lorsqu'un nouveau système est développé ou substantiellement modifié, ou pour prouver qu'un procédé est capable d'atteindre des objectifs définis.
- **Le suivi opérationnel** sert à vérifier en routine, sur la base de mesures simples et rapides, que le processus surveillé fonctionne comme attendu.
- **La vérification** sert à démontrer que le produit final (effluent traité, production végétale...) répond aux spécifications imposées, et in fine aux objectifs de préservation de la santé publique. Bien qu'il s'agisse d'un contrôle a posteriori, il contribue à aider les responsables à prendre les décisions visant à éviter que les dangers ne se répandent.

Le moyen le plus efficace d'assurer la sûreté d'un périmètre de REU est d'adopter une approche globale d'évaluation et de management des risques englobant toutes les étapes du processus : collecte des eaux usées, traitement, production agricole, consommation des produits.

Il s'agit notamment de constituer une équipe multidisciplinaire couvrant les champs suivants : production agricole, ingénierie, qualité de l'eau, santé environnementale, santé publique, sécurité sanitaire.

Lorsqu'un nouveau projet est planifié, il convient ensuite de mettre en place un plan de management des risques, dont le rapport propose un organigramme type (qui pourrait s'appliquer à des risques de toute autre nature) :

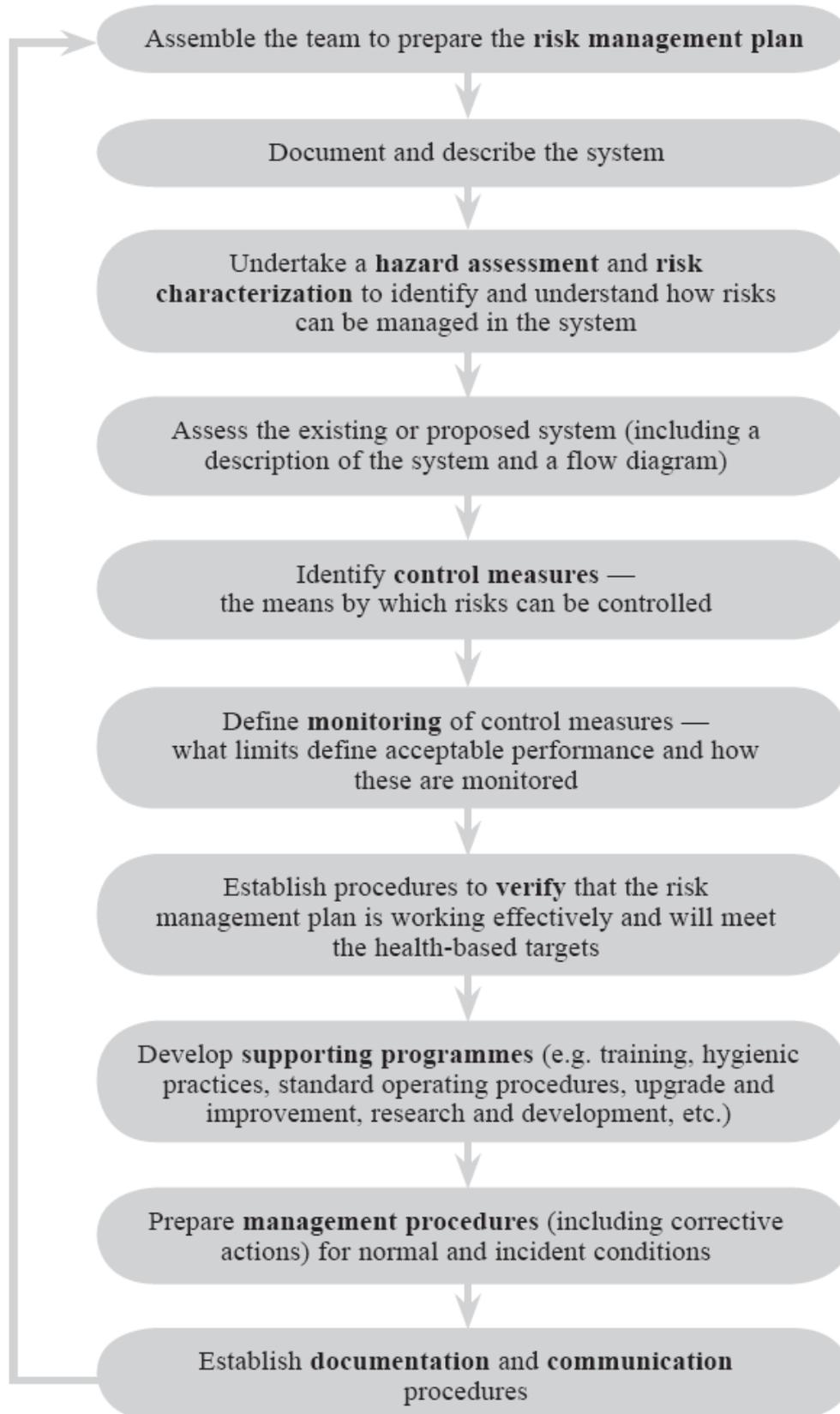


Figure 2.2
Development of a risk management plan (from WHO, 2004)

1.3 VOLUME 2 : REUTILISATION DES EAUX USEES EN AGRICULTURE

Ce volume traite des points suivants : présentation du cadre de Stockholm ; évaluation du risque sanitaire ; objectifs de santé publique ; mesures de protection sanitaire ; suivi et évaluation des systèmes ; aspects socioculturels ; aspects environnementaux ; considérations économiques et financières ; aspects politiques ; planification et mise en œuvre.

Les aspects, notamment politiques, réglementaires et institutionnels déjà évoqués avec le volume 1, ne sont pas repris dans cette présentation.

1.3.1 Le cadre de Stockholm

Le cadre de Stockholm est une approche intégrée qui combine l'évaluation et le management des risques afin de maîtriser les maladies hydriques. Il fournit un cadre harmonisé pour le développement de recommandations basé sur des critères de santé et des standards en termes de dangers microbiologiques associés aux problèmes d'assainissement.

Il comprend l'évaluation des risques sanitaires préalable à l'établissement d'objectifs sanitaires et la publication de valeurs – guide. Il définit enfin une approche globale du contrôle et évalue l'impact de ces approches combinées sur la santé publique.

Ce document constitue le cadre conceptuel des recommandations OMS liées à l'eau, dont celles relatives à la REU.

Le document propose que la mise au point de recommandations pour la REU considère des niveaux de protection sanitaire comparables à ceux tolérés pour les autres expositions aux risques d'origine hydrique, notamment l'eau potable. C'est ce qui conduit l'OMS à préconiser un seuil maximal de 10^{-6} DALY (Disability Adjusted Life Year, définition ci dessous) par personne et par an comme niveau de risque associé aux microorganismes pathogènes pour dans la pratique de la REU.

Box 2.1 Disability adjusted life years (DALYs)

DALYs are a measure of the health of a population or burden of disease due to a specific disease or risk factor. DALYs attempt to measure the time lost because of disability or death from a disease compared with a long life free of disability in the absence of the disease. DALYs are calculated by adding the years of life lost to premature death to the years lived with a disability. Years of life lost are calculated from age-specific mortality rates and the standard life expectancies of a given population. Years lived with a disability are calculated from the number of cases multiplied by the average duration of the disease and a severity factor ranging from 1 (death) to 0 (perfect health) based on the disease (e.g. watery diarrhoea has a severity factor ranging from 0.09 to 0.12, depending on the age group) (Murray & Lopez, 1996; Prüss & Havelaar, 2001). DALYs are an important tool for comparing health outcomes, because they account not only for acute health effects but also for delayed and chronic effects — including morbidity and mortality (Bartram, Fewtrell & Stenström, 2001).

When risk is described in DALYs, different health outcomes (e.g. cancer vs giardiasis) can be compared and risk management decisions can be prioritized.

Le tableau ci-dessous présente la mortalité et les DALY's dus à quelques maladies liées à la REU en agriculture :

Table 2.4 Global mortality and DALYs due to some diseases of relevance to wastewater use in agriculture

Disease	Mortality (deaths/year)	Burden of disease (DALYs/year)	Comments
Diarrhoea	1 798 000	61 966 000	99.8% of deaths occur in developing countries; 90% of deaths occur in children
Typhoid	600 000	N/A	Estimated 16 million cases per year
Schistosomiasis	15 000	1 702 000	Found in 74 countries; 200 million people worldwide are estimated to be infected, 20 million with severe consequences
Ascariasis	3 000	1 817 000	Estimated 1.45 billion infections, of which 350 million suffer adverse health effects
Hookworm disease	3 000	59 000	Estimated 1.3 billion infections, of which 150 million suffer adverse health effects
Lymphatic filariasis	0	5 777 000	Mosquito vectors of filariasis breed in organically polluted water; does not cause death but leads to severe disability
Hepatitis A	N/A	N/A	Estimated 1.4 million cases per year worldwide; serological evidence of prior infection ranges from 15% to nearly 100%

N/A, not available

Sources: WHO (2000c, 2002, 2003b, 2003c, 2004b).

1.3.2 Evaluation du risque sanitaire

L'évaluation des risques repose sur deux types d'information, les enquêtes épidémiologiques et les évaluations quantitatives du risque microbien basées sur une modélisation des relations dose — effet (QMRA - Quantitative Microbial Risk Assessment).

Table 3.1 Data used for the assessment of health risk

Type of study	Contributions	Limitations
Microbial analysis	<p>Determines concentrations of different excreted organisms in wastewater or on products</p> <p>Provides data on pathogen die-off rates</p> <p>Information used in QMRA to assess risk</p> <p>Can help to identify sources of pathogens</p> <p>Used to link pathogen to infection/disease (e.g. through analysis of stool samples or detection of seropositive individuals)</p>	<p>Expensive</p> <p>Collection of samples may be time-consuming</p> <p>Needs trained staff and laboratory facilities</p> <p>Obtaining laboratory results takes time</p> <p>Lack of standardized procedures for the detection of some pathogens or their recovery from food products</p> <p>Recovery percentages may show high variability</p> <p>Some methods do not determine viability</p>
Epidemiological study	<p>Measures actual disease in an exposed population</p> <p>Can be used to test different exposure hypotheses</p>	<p>Expensive</p> <p>Bias can affect results</p> <p>Sample sizes needed to measure statistically significant health outcomes may be large</p> <p>Need to strike a balance between power of the study in relation to its sensitivity</p>
QMRA	<p>Can estimate very low levels of risk of infection/disease</p> <p>Low-cost method of predicting risk of infection/disease</p> <p>Facilitates comparisons of different exposure routes</p>	<p>Exposure scenarios can vary significantly and are difficult to model</p> <p>Validated data inputs are not available for every exposure scenario</p> <p>Predicts risks from exposure to one type of pathogen at a time</p>

- Concernant le **dénombrement des micro-organismes**, le document présente plusieurs tableaux décrivant :
 - La concentration en micro-organismes dans les eaux usées,

Concentrations des pathogènes dans les eaux usées non traitées

Organismes pathogènes	Nombre par litre
Bactéries	
Coliformes thermorésistants	$10^4 - 10^{10}$
<i>Campylobacter jejuni</i>	$10 - 10^4$

Salmonella sp	1 - 10⁵
Shigella sp	10 - 10⁴
Vibrio cholerae	10² - 10⁴
Helminthes	
Ascaris lumbricoides	1 - 10³
Ankylostomes	1 - 10³
Trichuris trichinella	1 - 10²
Schistosoma mansoni	ND
Protozoaires	
Cryptosporidies	1 - 10⁴
Amibes	1 - 10²
Giardia intestinalis	10² - 10⁵
Virus	
Enterovirus	10⁵ - 10⁶
Rotavirus	10² - 10⁵

- Des exemples de germes indicateurs de contamination fécale,

Table 3.3 Examples of indicator organisms for human pathogens in wastewaters

Human pathogen	Indicator organisms	Comment
Bacteria		
<i>Shigella</i> , enterotoxigenic <i>E. coli</i> , <i>Campylobacter</i> , <i>Vibrio cholerae</i> (cholera)	<i>E. coli</i> , thermotolerant coliforms, intestinal enterococci	The <i>E. coli</i> /thermotolerant coliform group of bacteria has been used for more than 100 years as a model for pathogenic bacteria. Behaviour of <i>E. coli</i> and intestinal enterococci (not total coliforms) under environmental conditions is expected to reflect enteric pathogens, but not environmental bacteria such as <i>Legionella</i> or <i>Mycobacterium</i> .
Viruses		
Adenovirus, rotavirus, enteroviruses, hepatitis A virus, norovirus	Bacteriophages: somatic coliphages or F-RNA coliphages	Bacteriophages are viruses that infect bacteria, are considered to be non-pathogenic to humans and can be readily cultured and enumerated in the laboratory. Generally present in faeces of warm-blooded animals, but certain strains may be specific to humans.
Protozoa		
<i>Cryptosporidium</i> oocysts, <i>Giardia</i> cysts	<i>Clostridium perfringens</i>	<i>Clostridium perfringens</i> is a spore-forming bacterium that is highly resistant to environmental conditions. It has been shown to be a useful model for <i>Cryptosporidium</i> oocysts and <i>Giardia</i> cysts. Aerobic (<i>Bacillus</i>) spores could also be used, but are likely to grow in treatment systems and slough off surfaces, providing misleading numbers. Because protozoa are much larger than <i>Clostridium</i> spores, they will be removed in different ways during wastewater treatment processes. Validation testing should be performed with protozoan (oo)cysts or particles that are similar in size.
Helminths		
<i>Ascaris lumbricoides</i> and <i>Trichuris trichiura</i> ova	<i>Ascaris</i> ova	<i>Ascaris</i> and some other helminth ova (e.g. <i>Trichuris</i> , <i>Taenia</i>) can be measured directly. Viability of ova can be determined.

Source: Adapted from Petterson & Ashbolt (2003).

- ◆ Les facteurs affectant la survie des pathogènes dans l'environnement,

Table 3.4 Factors that affect pathogen survival in the environment

Factor	Comment
Humidity	Humid environments favour pathogen survival. Dry environments facilitate pathogen die-off.
Soil content	Clay soils and soils with high organic content favour survival of pathogens.
Temperature	Most important factor in pathogen die-off. High temperatures lead to rapid die-off, and low temperatures lead to prolonged survival. Freezing temperatures can also cause pathogen die-off.
pH	Some viruses survive longer in lower-pH soils, while alkaline soils are associated with more rapid die-off of viruses; neutral to slightly alkaline soils favour bacterial survival.
Sunlight (ultraviolet radiation)	Direct sunlight leads to rapid pathogen inactivation through desiccation and exposure to ultraviolet radiation.
Foliage/plant type	Certain plants have sticky surfaces (e.g. zucchini) or can absorb pathogens from the environment (e.g. lettuce, sprouts), leading to prolonged survival of some pathogens; root crops such as onions are more prone to contamination and facilitate pathogen survival.
Competition with native flora and fauna	Antagonistic effects from bacteria or algae may enhance die-off; bacteria may be preyed upon by protozoa.

Sources: Strauss (1985); Jimenéz (2003).

- Une sélection de travaux mettant en évidence l'abattement en microorganismes et helminthes d'origine fécale suite à différents traitements,

Table 3.7 Summary of selected microbial evidence of effect of water quality on crop contamination with helminths

Treatment type and effluent quality; number of nematode eggs per litre	Summary of evidence	Reference
(i) Raw wastewater; >100	Lettuce contamination levels at harvest were:	Ayres et al. (1992a)
(ii) Waste stabilization pond; >10	(i) up to 60 eggs/plant	
(iii) Waste stabilization pond; <0.5	(ii) 0.6 egg/plant	
(iv) Waste stabilization pond; 0	(iii) 0 eggs/plant (iv) 0 eggs/plant	
(i) Waste stabilization pond; 50	Lettuce contamination levels at harvest were:	Stott et al. (1994)
(ii) Waste stabilization pond; 10	(i) up to 2.2 eggs/plant	
(iii) Waste stabilization pond; ≤1	(ii) maximum 1.5 eggs/plant (iii) 0.3 egg/plant	

- Des exemples de délais d'inactivation des virus sur les cultures.

Table 3.8 Viral inactivation on different crops

Crops	T ₉₉ (days)	Data source	References
Artichoke, broccoli, celery and lettuce	1.45	Seeded poliovirus inactivation over four days in an environmental chamber	Engineering Science (1987); Asano et al. (1992)
Celery (environmental chamber)	1.82 ^a	Poliovirus seeded onto plants and time for 99% removal were recorded in both an environmental chamber and under field conditions	Sheikh, Cooper & Israel (1999)
Iceberg lettuce (environmental chamber)	3.3 ^a		
Romaine lettuce (field conditions)	1.25 ^a		
Butter lettuce (field conditions)	1.7 ^a		
Winter triumph lettuce	0.4 (fast phase) 2 (slow phase) subpopulation size 0.12% ^b	Plants spray-irrigated at maturity with wastewater seeded with <i>B. fragilis</i> bacteriophage B40-8; experiment undertaken in uncontrolled greenhouse conditions	Petterson et al. (2001b)
Carrot	1.25 (fast phase) 20 (slow phase) subpopulation size 2% ^b	Plants grown in pots and irrigated at maturity with wastewater seeded with <i>B. fragilis</i> bacteriophage B40-8; experiment undertaken in uncontrolled greenhouse conditions	Petterson et al. (2001b)

T₉₉, time required for a 99% (2-log) reduction

^a Estimated value of inactivation coefficient assuming log-linear relationship ($C_t = C_0 e^{-kt}$) and time for 2 log virus removal. Added here for the purpose of comparison; not included in cited paper.

^b The data showed evidence of biphasic decay (Petterson et al., 2001b).

- Concernant les **enquêtes épidémiologiques**, dont le rapport effectue une revue bibliographique, on constate qu'une vingtaine de publications ont été produites depuis 1937, dont une large partie dans les années 1990 et 2000.
- Concernant la **QMRA**, le rapport souligne les progrès enregistrés dans ce domaine depuis le précédent rapport de 1989. L'utilisation de simulation vient compléter les études épidémiologiques, souvent coûteuses et difficiles à conduire car elles doivent porter sur une large population. Les tableaux suivants présentent, à titre d'exemple, les risques d'infection calculés pour l'ingestion d'oignons irrigués à l'aide d'EU en fonction du niveau de contamination de l'eau usée :

Table 3.18 Unrestricted irrigation: median infection risks from the consumption of wastewater-irrigated onions estimated by 10 000-trial Monte Carlo simulations^a

Wastewater quality (<i>E. coli</i> per 100 ml)	Median infection risk (per person per year)		
	Rotavirus	<i>Campylobacter</i>	<i>Cryptosporidium</i>
10 ⁷ –10 ⁸	1.00	0.99	3.6 × 10 ⁻²
10 ⁶ –10 ⁷	0.99	0.81	3.9 × 10 ⁻³
10 ⁵ –10 ⁶	0.99	0.17	3.2 × 10 ⁻⁴
10 ⁴ –10 ⁵	0.43	1.6 × 10 ⁻²	3.7 × 10 ⁻⁵
10 ³ –10 ⁵	0.39	1.7 × 10 ⁻²	2.8 × 10 ⁻⁴
3 × 10 ⁴	0.29	1.1 × 10 ⁻²	2.3 × 10 ⁻⁴
10 ³ –10 ⁴	4.5 × 10 ⁻²	2.6 × 10 ⁻⁵	3.7 × 10 ⁻⁶
100–1000	5.6 × 10 ⁻³	1.0 × 10 ⁻⁴	3.8 × 10 ⁻⁷
10–100	4.4 × 10 ⁻⁴	1.1 × 10 ⁻⁵	3.0 × 10 ⁻⁸
1–10	5.7 × 10 ⁻⁵	1.8 × 10 ⁻⁶	<10 ⁻⁸

- puis la traduction de ce risque en termes d'objectifs de décontamination pour les oignons et les salades :

Table 3.19 Unrestricted irrigation: required pathogen reductions for various levels of tolerable risk of infection from the consumption of wastewater-irrigated lettuce and onions estimated by 10 000-trial Monte Carlo simulations^a

Tolerable level of infection risk (per person per year)	Corresponding required level of reduction (log units)	
	Lettuce	Onions
Rotavirus		
10 ⁻²	5	6
10 ⁻³	6	7
10 ⁻⁴	7	8
<i>Campylobacter</i>		
10 ⁻²	4	4
10 ⁻³	5	5
10 ⁻⁴	6	6
<i>Cryptosporidium</i>		
10 ⁻²	4	2
10 ⁻³	5	3
10 ⁻⁴	6	4

^a 100 g lettuce and onions eaten per person per two days; 10–15 ml and 1–5 ml wastewater remaining after irrigation on 100 g lettuce and 100 g onions, respectively; 0.1–1 and 1–5 rotavirus and *Campylobacter* and 0.1–1 *Cryptosporidium* oocyst per 10⁵ *E. coli* for lettuce and onions, respectively; ID₅₀ = 6.17 ± 25% and α = 0.253 ± 25% for rotavirus; ID₅₀ = 896 ± 25% and α = 0.145 ± 25% for *Campylobacter*; r = 0.0042 ± 25% for *Cryptosporidium*.

- Concernant **les toxiques chimiques**, le document rappelle le rôle majeur de l'industrie dans cette contamination, et le fait que l'élimination à la source de cette contamination constitue le premier moyen de protection de la santé publique et de l'environnement.

Peu de cas de toxicité aiguë à effet immédiats sont répertoriés. Des cas limite, en cas d'effluents lourdement contaminés, ont cependant été recensés au Japon (cas de maladie Itai – Itai) et en Chine (hépatomégalie, cancer, malformations congénitales).

Des pratiques de REU déficientes peuvent également avoir des effets indirects, par exemple sur des ressources souterraines vulnérables utilisées pour l'eau potable (nitrates...). L'eutrophisation des ressources superficielles peut conduire à la présence de toxines de cyanobactéries dans l'environnement.

Les métaux lourds, largement répandus et bien documentés du point de vue toxicologique et de leur comportement dans l'environnement (assimilation par les plantes...), sont distingués des toxiques organiques, spécifiques d'un nombre restreint d'industries. Certaines problématiques sont encore émergentes (perturbateurs endocriniens, produits pharmaceutiques...)

1.3.3 Objectifs basés sur des critères de santé

- Fixation d'un niveau de morbidité et de mortalité tolérable.

Les éléments évoqués lors de la présentation du cadre de Stockholm sont repris et développés.

- Objectifs de réduction de la concentration en germes microbiens

L'approche adoptée se concentre, pour l'irrigation sans restrictions, sur les risques liés à l'absorption d'aliments consommés crus, et pour l'irrigation avec restriction, sur les risques pour les travailleurs en contact direct avec les EU.

Pour l'irrigation sans restriction, le couplage de l'objectif d'un niveau de risque maximal de 10^{-6} DALY par personne et par an et du résultat des simulations de Monte Carlo précédemment évoquées conduit à une réduction nécessaire du nombre de pathogènes de 6 unités log pour la consommation de légumes feuille et de 7 unités log pour les légumes racine.

La recommandation d'une réduction de 6-7 unités log est celle retenue par l'OMS. L'estimation correspond au cas le plus défavorable, celui des rotavirus. Elle est donc a fortiori suffisante vis-à-vis des autres catégories de pathogènes (bactéries, protozoaires).

S'agissant des œufs d'helminthes, il n'existe pas encore à ce jour de données crédibles sur les risques infectieux et les DALYS par personne et par jour résultant d'une exposition aux EU et aux espèces d'helminthes, telles que l'ascaris, qu'elles ont susceptibles de contenir. La valeur maximale de 1 œuf/l repose cependant sur des études de terrain, notamment au Brésil pour les populations adultes. Des études mexicaines ont également montré que des mesures complémentaires peuvent devoir être prises pour les personnes de moins de 15 ans. Ces mesures complémentaires peuvent consister, soit à retenir le seuil maximal de 0,1 œuf/l, soit à mettre en place des mesures sanitaires collectives complémentaires (traitements antihelminthiques, lavage des légumes en solution désinfectante...).

Pour l'irrigation avec restriction, une méthodologie similaire conduit l'OMS à préconiser un objectif de réduction de 4 log pour une agriculture intensive en travail manuel, et à 3 log pour une irrigation hautement mécanisée.

Pour E. Coli, et compte tenu d'une concentration dans les effluents bruts de 10^7 à 10^8 /100ml, ceci conduit à viser in fine respectivement 10^3 - 10^4 et 10^5 – 10^6 /100ml.

Pour les œufs d'helminthes, la recommandation est la même que pour l'irrigation non restrictive, car la population prioritairement exposée est identique.

Huit options sont identifiées à titre d'exemple pour illustrer ces différentes considérations. Résumées par le schéma reproduit en tome 1, on peut les énumérer comme suit :

- Options A à E (irrigation non restrictive, aliments susceptibles d'être consommés crus)
 - A : adaptée aux légumes racine. Abattement des pathogènes de 7 log obtenu par la combinaison traitement (4 log) + délai avant récolte + lavage à l'eau propre.
 - B : adapté aux légumes feuille. Abattement des pathogènes de 6 log obtenu par la combinaison traitement (3 log) + délai avant récolte + lavage à l'eau propre.
 - C : adapté aux cultures hautes et production aérienne, sans ramassage à terre de produits : abattement de 6 log obtenu par la combinaison traitement (2 log) + irrigation goutte à goutte.
 - D : adapté aux cultures basses et production aérienne, sans ramassage à terre de produits : abattement de 6 log obtenu par la combinaison traitement (4 log) + irrigation goutte à goutte.

- E : adapté à toutes cultures. Abattement de 7 log obtenu uniquement par traitement.
- Options F à H (irrigation restrictive)
- F : agriculture intensive en travail manuel : abattement de 4 log par traitement, 3 log étant assurés par la restriction des cultures.
- G : agriculture hautement mécanisée : abattement de 3 log par traitement, 4 log étant assurés par la restriction des cultures.
- H : Assainissement autonome ou situation similaire : traitement par fosse sceptique (1 log) suivi d'un épandage souterrain (6 log).

Ces indications sont complétées par deux tableaux présentant la réduction des pathogènes atteignable par diverses mesures de protection :

Pathogènes (bactéries, virus, protozoaires)

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

Œufs d'helminthes

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

■ Paramètres de suivi

Il est important que les paramètres assortis d'objectifs chiffrés puissent effectivement faire l'objet d'un suivi.

Pour les eaux usées, la vérification directe des taux d'abattement précédemment décrits n'est le plus souvent pas directement envisageable. On s'appuie alors sur le dénombrement d'indicateurs de contamination fécale tels que E. Coli, dans l'effluent traité. :

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

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

Pour les situations de traitement poussé, la performance obtenue peut également être vérifiée par le suivi d'une sélection de paramètres pertinents (ex pour un traitement complet avec filtration et désinfection tertiaire : DBO5 ≤ 10 mg/l ; turbidité < 2 NTU ; chlore résiduel ≥ 1 mg/l, coliformes fécaux non détectables dans 100 ml (Californie, 2001)).

Pour les autres paramètres, un suivi est également à mettre en place. Pour certains d'entre eux un contrôle visuel est suffisant (type de culture...) d'autres nécessitent la mise en place d'une traçabilité (lavage des produits...).

■ Exportation des produits

Comme déjà indiqué, l'application des recommandations OMS est compatible avec le respect des règles de l'OMC.

■ Variations nationales autour du standard de 10^{-6} DALY/personne/an

En fonction des conditions économiques locales et en cas d'incidence élevée des maladies d'origine hydrique, des mesures d'hygiène publique peuvent présenter un rapport coût/efficacité supérieur à un traitement des effluents. L'adoption d'un objectif initial provisoire de 10^{-5} ou 10^{-4} DALY/personne/jour peut alors s'avérer pertinent.

■ Toxiques chimiques

Le rapport présente un **tableau de concentrations maximales dans le sol** d'une quarantaine de toxiques minéraux et organiques. Ces recommandations sont basées sur une démarche toxicologique, en prenant en compte les transferts le long des chaînes alimentaires. Les valeurs correspondant aux concentrations dans les EU sont présentées dans le tableau suivant :

Table A1.2 Threshold levels of trace elements for crop production

Element		Recommended maximum concentration ^a (mg/l)	Remarks
Al	Aluminium	5.0	Can cause non-productivity in acid soils (pH <5.5), but more alkaline soils at pH >7.0 will precipitate the ion and eliminate any toxicity.
As	Arsenic	0.10	Toxicity to plants varies widely, ranging from 12 mg/l for Sudan grass to less than 0.05 mg/l for rice.
Be	Beryllium	0.10	Toxicity to plants varies widely, ranging from 5 mg/l for kale to 0.5 mg/l for bush beans.
Cd	Cadmium	0.01	Toxic to beans, beets and turnips at concentrations as low as 0.1 mg/l in nutrient solutions. Conservative limits recommended due to its potential for accumulation in plants and soils to concentrations that may be harmful to humans.
Co	Cobalt	0.05	Toxic to tomato plants at 0.1 mg/l in nutrient solution. Tends to be inactivated by neutral and alkaline soils.
Cr	Chromium	0.10	Not generally recognized as an essential growth element. Conservative limits recommended due to lack of knowledge on its toxicity to plants.
Cu ^b	Copper	0.20	Toxic to a number of plants at 0.1–1.0 mg/l in nutrient solutions.
F	Fluoride	1.0	Inactivated by neutral and alkaline soils.
Fe ^b	Iron	5.0	Not toxic to plants in aerated soils, but can contribute to soil acidification and loss of availability of essential phosphorus and molybdenum. Overhead sprinkling may result in unsightly deposits on plants, equipment and buildings.

Element		Recommended maximum concentration ^a (mg/l)	Remarks
Li	Lithium	2.5	Tolerated by most crops up to 5 mg/l; mobile in soil. Toxic to citrus at low concentrations (<0.075 mg/l). Acts similarly to boron.
Mn ^b	Manganese	0.20	Toxic to a number of crops at a few-tenths to a few mg/l, but usually only in acid soils.
Mo	Molybdenum	0.01	Not toxic to plants at normal concentrations in soil and water. Can be toxic to livestock if forage is grown in soils with high concentrations of available molybdenum.
Ni	Nickel	0.20	Toxic to a number of plants at 0.5–1.0 mg/l; reduced toxicity at neutral or alkaline pH.
Pb	Lead	5.0	Can inhibit plant cell growth at very high concentrations.
Se	Selenium	0.02	Toxic to plants at concentrations as low as 0.025 mg/l, and toxic to livestock if forage is grown in soils with relatively high levels of added selenium. Essential element to animals, but in very low concentrations.
V	Vanadium	0.10	Toxic to many plants at relatively low concentrations.
Zn ^b	Zinc	2.0	Toxic to many plants at widely varying concentrations; reduced toxicity at pH >6.0 and in fine textured or organic soils.

Source: Adapted from Ayers & Westcot (1985); Pescod (1992).

^a The maximum concentration is based on a water application rate that is consistent with good irrigation practices (5000–10 000 m³/ha per year). If the water application rate greatly exceeds this, the maximum concentrations should be adjusted downward accordingly. No adjustment should be made for application rates less than 10 000 m³/ha per year. The values given are for water used on a continuous basis at one site.

^b Synergistic action of Cu and Zn and antagonistic action of Fe and Mn have been reported in certain plants species' absorption and tolerance of metals after wastewater irrigation. If the irrigation water contains high concentrations of Cu and Zn, Cu concentrations in the tissue may increase greatly. In plants irrigated with water containing a high concentration of Mn, Mn uptake in the plants may increase, and, consequently, the concentration of Fe in the plant tissue may be reduced considerably. Generally, metal concentrations in plant tissue increase with concentrations in the irrigation water. Concentrations in the roots are usually higher than in the leaves (Drakatos, Kalavrouziotis & Drakatos, 2000; Drakatos et al., 2002; Kalavrouziotis & Drakatos, 2002).

1.3.4 Mesures de protection sanitaire

- Restriction des cultures

Le rapport énumère en particulier les conditions de succès de ce type de mesures, conditions notamment politiques et organisationnelles (respect des lois, autorité légale du contrôle des effluents). Il convient également qu'il y ait un marché pour la liste de cultures restreinte envisagée et que la pression du marché en faveur des cultures interdites ne soit pas trop importante.

- Techniques d'irrigation

Le tableau suivant présente sommairement les critères de choix entre les différentes techniques d'irrigation disponibles : submersion, billons, aspersion, localisée, souterraine.

Table 5.1 Selection of wastewater application techniques based on health protection

Irrigation technique	Factors affecting choice	Special measures for wastewater
Flood	Lowest cost Exact levelling not required	Thorough protection for fieldworkers, crop handlers and consumers
Furrow	Low cost Levelling may be needed	Protection for fieldworkers, possibly for crop handlers and consumers
Spray and sprinkler	Medium water use efficiency Levelling not required Advanced sprinklers that reduce crop contamination and potential contamination of local communities have been developed that can reduce exposure to pathogens by 1 log unit	Some crops, especially tree fruits, are prone to more contamination Minimum distance of 50–100 m from houses and roads Anaerobic wastewaters should not be used because of odour nuisance New technologies reduce spray drift and may be able to reduce crop contamination by better targeting
Subsurface and localized (drip, trickle and bubbler)	High cost High water use efficiency Higher yields Potential for significant reduction of crop contamination Localized irrigation systems and subsurface irrigation can substantially reduce exposure to pathogens by 2–6 log units	Localized irrigation: selection of non-clogging emitters; filtration to prevent clogging of emitters

- Délai entre irrigation et récolte

Les performances de ce procédé ont été résumées au chapitre précédent. Cette technique est fiable et devrait régulièrement faire partie de la combinaison des mesures adoptées.

Cependant, si un abattement moyen de l'ordre 1 log/j peut être enregistré pour les pathogènes, les œufs d'helminthes peuvent rester viables à la surface des cultures pendant 2 mois, même si la concentration résiduelle est faible au bout de 30 jours.

- Précautions dans la préparation des repas

Les performances de ce procédé ont été résumées au chapitre précédent.

- Contrôle de l'exposition humaine

Pour les agriculteurs, la prévention consiste, outre la sélection des modes d'irrigation déjà évoquée, à adopter les mesures suivantes : port de chaussures et/ou de gants (shistosomiase), facilité d'accès à l'eau potable et aux commodités d'hygiène.

Pour les consommateurs, on notera l'utilité de la mise à disposition d'eau potable sur les marchés pour laver et rafraîchir les produits, ces derniers étant fréquemment recontaminés lors de la commercialisation. Les mesures à prendre lors de la préparation des repas ont déjà été évoquées. L'inspection des viandes provenant d'animaux ayant pâture sur des champs d'épandage (ténias...) relève également de la protection des consommateurs.

Pour toutes les catégories de population, l'opportunité de la mise en place de mesures prophylactiques (vaccinations, administration d'antihelminthiques) est également à considérer.

■ Traitement des eaux usées

La présentation adoptée par l'OMS met bien en évidence qu'il s'agit d'une mesure parmi d'autres.

Un premier tableau présente les performances permises par les différents procédés élémentaires, en termes de réduction de 4 classes de pathogènes : virus, bactéries, oocystes de protozoaires, œufs d'helminthes :

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

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

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

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

^b Data from full-scale plants.

^c Theoretical efficiency based on removal mechanisms.

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

^e Data from laboratory tests.

Un second tableau présente, de façon qualitative, les avantages et inconvénients de ces différents traitements :

Table 5.3 Advantages and disadvantages of different wastewater treatment processes

Treatment	Advantages	Disadvantages^a
Low-rate biological systems		
Waste stabilization ponds, wastewater storage and treatment reservoirs	<ul style="list-style-type: none"> Effective at reducing pathogen concentrations (all types of pathogens) Low costs of construction, operation and maintenance Simplicity of operation and maintenance Produce little sludge with low helminth ova content Work well in warm climates with medium to low evaporation No use of electrical energy for operation Help to reconcile wastewater production with water irrigation demand because they can store water for use at peak demand times 	<ul style="list-style-type: none"> Hydraulic short-circuiting may reduce pathogen removal efficiency Algae in effluents may interfere with irrigation application Require large amounts of land (especially in temperate environments) Can facilitate vector breeding if not properly maintained High evaporation in arid climates leads to loss of water resources and increased effluent salinity
Constructed wetlands	<ul style="list-style-type: none"> Effective in reducing pathogen concentrations — medium bacterial and viral removal efficiency Low cost, low complexity Relatively simple operation and maintenance requirements Require no electricity May improve environment for other species (e.g. birds) 	<ul style="list-style-type: none"> Pathogen removal variable, depending upon a variety of factors Different designs/plants needed in different settings High evapotranspiration in arid climates leads to loss of water resources and increased effluent salinity May facilitate vector breeding Wildlife excreta may cause deterioration of effluent quality
High-rate processes		
Primary sedimentation	<ul style="list-style-type: none"> Low cost Simple technology 	<ul style="list-style-type: none"> Low pathogen removal
Chemically enhanced primary treatment	<ul style="list-style-type: none"> Improves primary sedimentation at low cost Low area requirement High helminth egg removal efficiency Produces effluents suitable for agricultural needs 	<ul style="list-style-type: none"> Produces more sludge than normal primary sedimentation Need to treat the sludge produced to inactivate pathogens Need to use chemicals
Activated sludge or trickling filters + secondary sedimentation + disinfection	<ul style="list-style-type: none"> Technology widely available and well understood Performance can be optimized for good pathogen removal 	<ul style="list-style-type: none"> High cost and complexity Need trained staff Require electricity Produce large volumes of sludge, which need to be handled, treated and disposed of Need to treat the sludge produced to inactivate pathogens Sludge bulking may increase helminth egg numbers in the effluent

Treatment	Advantages	Disadvantages ^a
Upflow anaerobic sludge blanket reactor	Low cost Medium helminth egg removal efficiency	Effluent can cause odour problems Needs trained staff Sludge needs digestion and/or treatment to inactivate pathogens
Aerated lagoon + settling pond	Technology widely available and well understood Performance can be optimized for good pathogen removal No need for primary sedimentation	Require electricity Require larger land area than other high-rate processes Less expensive and complex than other high-rate processes Sludge needs to be treated to inactivate pathogens
Coagulation, flocculation and sedimentation	Improve virus and other pathogen removal/inactivation efficiency Low additional cost	Increase sludge production Sludge needs to be treated to inactivate pathogens
High-rate granular or slow-rate sand filtration	Improves pathogen removal Well understood technology Low additional cost	Needs careful management to optimize performance Slow-rate filters require more space Sludge needs to be treated to inactivate pathogens
Dual-media filtration	When used after primary treatment, efficiently removes protozoan (oo)cysts and helminth eggs When used after secondary treatment, improves pathogen removal Well understood technology Low additional cost	Low efficiency of bacterial and viral removals Needs careful management to optimize performance
Chlorination (free chlorine)	Lowest-cost disinfection method Well understood technology Effective inactivation of bacteria and viruses	Needs pretreatment to be efficient Low efficiency of protozoan and helminth inactivation Creates disinfection by-products Hazardous chemical
Ozone disinfection	Effective inactivation of bacteria, viruses and some protozoa	Effective where organic matter is low Higher cost and complexity than chlorination Low efficiency of protozoan and helminth inactivation Needs to be generated on site Production of hazardous by-products
Ultraviolet disinfection	Effective in inactivating bacteria, viruses and some protozoa Low cost No toxic chemicals used or produced	Effective only in effluents with low suspended solids content and high transmittance Does not inactivate helminth eggs Performance can be reduced by particulate matter and biofilm formation Needs good maintenance of lamps

Treatment	Advantages	Disadvantages ^a
Primary sedimentation + membrane bioreactors	Remove all pathogens	Complex Expensive Sludge needs to be treated to inactivate pathogens Membrane fouling

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

^a Many of these disadvantages can be minimized by careful engineering design and good operation and maintenance.

Pour les bassins de stabilisation, il est rappelé qu'ils permettent une élimination de 2 - 4 unités log pour les virus, 3-6 pour les bactéries, 1-2 pour les protozoaires et 3 pour les œufs d'helminthes

Les formules de dimensionnement de ces bassins, sur la base de l'élimination des paramètres « œufs d'helminthes » et « E. Coli » sont proposée. Les équations présentées sont celles de Marais (1966) pour E. Coli et de Ayres (1992) pour les œufs d'helminthes.

Pour les réservoirs de stockage d'eaux usées, il est renvoyé aux travaux de Juanico and Dor (1999) et Mara (2004). Correctement conçus, ils permettent, outre leur rôle de stockage, des performances épuratoires proches de celles des bassins de stabilisation.

Ils présentent l'avantage d'une plus grande profondeur que ces derniers (5 – 15 m contre 1 à 2 m), d'où une plus faible emprise au sol, de moindres pertes par évaporation et donc une moindre augmentation de la salinité de la ressource.

Les zones humides artificielles (#lagunes à macrophytes) constituent généralement des procédés de traitement secondaires ou tertiaires, en aval de fosses sceptiques, lagunes anaérobies ou traitement préalable conventionnel. Elles sont d'abord conçues pour abattre la charge organique, et pas spécifiquement les pathogènes. Elles présentent malgré tout une certaine efficacité dans ce domaine, même si elle n'est pas constante. Les réductions atteintes peuvent être de 1 - 2 unités log pour les virus, <1-3 pour les bactéries, <1-3 pour les protozoaires et jusqu'à 3 pour les œufs d'helminthes. Il est renvoyé pour plus de détails aux travaux de Rivera and all (1995) et du groupe spécialisé de l'IWA (2000).

La maîtrise des moustiques est par ailleurs un paramètre important de gestion de ce type d'installations.

Pour les techniques de traitement compact, les abattements potentiels de pathogènes présentés dans le tableau ci-dessus sont explicités.

Aucune filière complète combinant plusieurs étapes de traitement n'est présentée.

Il avait été cependant antérieurement précisé que dans le cas de l'adoption de l'option E reposant uniquement sur l'épuration des effluents (abattement de 6 – 7 log), le traitement type à mettre en place devait comprendre successivement les étapes suivantes : décantation primaire, boues activées, décantation secondaire, coagulation/floculation chimique, décantation tertiaire, filtration, désinfection par chloration ou UV, et que le coût et la complexité de mise en œuvre de cette option conduisait à l'éliminer dans de nombreux pays en développement.

■ Utilisation d'effluents bruts

- En cas de périmètre d'irrigation préexistant et comportant une utilisation d'effluents bruts, l'OMS préconise des mesures de court et moyen terme afin de limiter l'impact sanitaire sur les populations.
- La première est l'information des producteurs afin de les inciter à restreindre la liste des cultures pratiquées.
- En second lieu figure la mise en œuvre de techniques d'irrigation goutte à goutte rustiques. Ces dernières nécessitent cependant un prétraitement minimal des effluents.

- En cas de non limitation de la liste des cultures, le respect d'un délai entre arrosage et récolte constitue un facteur de protection primordial.
- Viennent ensuite les mesures de précaution de la préparation des repas, puis des mesures d'hygiène ou de prophylaxie générale : éducation à la santé, vaccination, voire couverture des égouts.

En cas de mise en œuvre progressive de traitements, la mise en place de bassins anaérobie ou aérobies facultatifs est encouragée, en confirmation des recommandations de 1989. On peut également envisager des traitements primaires par filtration rapide.

1.3.5 Suivi et évaluation des systèmes

Ce chapitre reprend et amplifie les indications données dans le tome 1. On trouvait également dans le tome 1 une préconisation de fréquence des contrôles :

- zones urbaines : 2/mois pour E. Coli et 1/mois pour les œufs d'helminthes
- zones rurales : 1/mois pour E. Coli et 0,5 à 1/mois pour les œufs d'helminthes.

1.3.6 Aspects socio-culturels

Ce chapitre traite des obstacles culturels et religieux à la réutilisation des eaux usées, ainsi que de la perception de ces pratiques par le public.

Des enquêtes spécifiques sont utiles en amont des projets pour mieux cerner les éventuelles craintes de la population.

Dans le cadre de l'islam, 3 méthodes de purification de l'eau peuvent la rendre apte à une réutilisation : la décantation spontanée par sédimentation, la dilution en proportion suffisante avec de l'eau propre, la mise à contribution du soleil et du vent.

L'information régulière du public tout au long du processus de création des périmètres de REU constitue également un facteur important pour leur bon accueil ultérieur.

1.3.7 Aspects environnementaux

Ce chapitre dresse une revue des points suivants :

- Composition des eaux usées : pathogènes, salinité, métaux lourds, toxiques organiques, nutriments (N P K), matière organique, matières en suspension, acides et bases.
- Effets environnementaux à travers la chaîne de production agricole : effets sur les sols, les eaux souterraines, les eaux de surface.
- Stratégies de management pour limiter les impacts environnementaux : deux tableaux dressent une liste de propositions en fonction des paramètres considérés et de la nature des problèmes (pertes d'eau par évaporation ou infiltration, pollution des nappes phréatiques, colmatage ou corrosion des systèmes d'arrosage, salinisation et /ou sodisation des sols, colmatage de la couche superficielle du sol.)

Table 8.4 Control measures by polluting agent

Compound	Control measure
Nitrogen in excess	Dilute wastewater with fresh water when possible Limit the quantity of wastewater applied Remove excess nitrogen from wastewater
Organic matter	Do not continuously apply wastewater, to allow soil to biodegrade it Enhance removal of organic matter from wastewater
Salinity	Avoid the use of water with 500–2000 mg TDS/l or 0.8–2.3 dS/m electrical conductivity, depending on the type of soil and land drainage Reduce upstream salt use and discharge into wastewater
Chlorides	With sprinklers, only use water with <100 mg/l In irrigation by flooding, use water with <350 mg/l Irrigate by night to prevent leaf burn
Toxic organic compounds in soil and crops	Pretreat or segregate industrial discharges from sewage Promote cleaner production in industries, to avoid using toxic compounds Educate society to use less toxic compounds and, when used, dispose of them safely
Metals	Pretreat or segregate industrial discharges from sewage Use wastewater only in soils having a pH >6.5
Suspended solids	Use water without solids >2–5 mm Remove suspended solids by pretreatment of wastewater Plough soils when clogged

TDS, total dissolved solids

Sources: Seabrook (1975); Bole & Bell (1978); Reed, Thomas & Kowal (1980); USEPA (1981); Ayers & Wescot (1985); Phene & Ruskin (1989); Bouwer (1991); Oron et al. (1991, 1992); Pescod (1992); Farid et al. (1993); Chang et al. (1995); National Research Council (1996); Jiménez & Chávez (1997); Strauss (2000); Cornish & Lawrence (2001); AATSE (2004); Ensink, Simmons & van der Hoek (2004); Ensink et al. (2004); Foster et al. (2004).

Table 8.5 Control measures according to the kind of problem

Problem	Control measure
Evaporation and infiltration of water during storage	Use compact lagoons in series lined with impermeable materials (clay, plastic) to prevent loss of water to evaporation and infiltration
Clogging of irrigation systems	Use water with low total suspended solids content Use irrigation methods not affected by solids
Sprinkler clogging/corrosion	Clogging and corrosion can be controlled by using water with <100 mg of chlorine per litre, <70 mg of sodium per litre and <1.5 mg of iron and manganese per litre
Soil salinity and sodicity	Increase soil washing, improve ground drainage and/or apply soil amenders Dilute water with sodium adsorption ratio >8 and electrical conductivity >2.3 dS/m
Formation of a biological soil layer that blocks water infiltration	Reduce the quantity of water applied and/or increase flood and dry periods
Infiltration to subsoil of low-quality water	Irrigate in places where aquifer level is >3 m below the surface and soil permeability is 60–2000 mm/day Reduce the hydraulic load

Problem	Control measure
Joint leaching of nitrogen and organic matter	Promote biological denitrification in soil by creating an appropriate carbon to nitrogen ratio, promoting anaerobic conditions in soils and avoiding salt accumulations that inhibit denitrification bacteria
Contamination of water bodies	Adapt irrigation rates according to crop demands and allow sufficient passage of water through soil Irrigate in sites located 500–1000 m from surface water bodies or more than 3 m from aquifers used as water supply
Water pollution with pesticides	Do not irrigate immediately after pesticide application Do not over-apply pesticides Use integrated pest management approaches to reduce pesticide use

1.3.8 Considérations économiques et financières

■ La faisabilité économique

Le document présente différentes méthodes utilisables pour évaluer la faisabilité économique des projets de REU.

Dans l'analyse coûts - bénéfices, des valeurs monétaires sont assignées à tous les coûts et bénéfices attendus, dans les conditions économiques du pays.

Traditionnellement, le secteur de la santé utilisait une analyse d'efficacité des coûts pour évaluer les différentes options d'une intervention sanitaire, mais la mise au point des DALYS a facilité une évolution vers une analyse coût – bénéfices, améliorant ainsi les communications avec d'autres secteurs de l'économie.

A titre d'illustration, les tableaux ci dessous présentent des éléments de coûts de diverses techniques d'épuration (emprise au sol, consommation énergétique, volume de boues produit, coût d'investissement et de fonctionnement).

Le document met en évidence la difficulté de la délimitation du périmètre d'analyse économique des projets de REU. La question des modalités de prise en compte du coût des unités de traitement d'une part, des bénéfices collatéraux tels qu'une fertilisation à moindre coût d'autre part, est plus particulièrement évoquée.

Un panel de différentes méthodes de quantification peut également être utilisé dans des approches multi-critères.

Table 9.1 Economic considerations for different wastewater treatment systems

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

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

UASB, Upflow anaerobic sludge blanket

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

- La faisabilité financière

La mise en place de mécanismes financiers appropriés est nécessaire pour assurer la pérennité des projets et le recouvrement des coûts. Ceci concerne les coûts d'investissement et de fonctionnement, mais aussi les coûts environnementaux et les impacts externes au système.

Les modalités de fixation et de recouvrement de ces redevances sont discutées.

Dans le cas de l'agriculture, le prix de l'eau usée est habituellement basé soit sur le coût marginal de traitement et de transport, soit sur la valeur fertilisante (azote...), généralement faible.

- Faisabilité de marché

Cette notion fait référence soit à la possibilité de vendre l'eau usée traitée aux producteurs, soit à la possibilité de mise sur le marché des produits de l'agriculture irriguée avec des EU.

Les études de marché sont particulièrement importantes lorsque la restriction des cultures constitue une des modalités de protection sanitaire.

1.3.9 Aspects politiques ; planification et mise en œuvre

Ces deux chapitres reprennent et amplifient les éléments sur les aspects politiques et réglementaires abordés dans le tome 1.

1.4 LECTURE CRITIQUE PAR LE GISPE DU DOCUMENT OMS DE 2006

L'analyse a porté essentiellement sur le chapitre 4 concernant les questions liées à la santé qui sont du domaine de compétences du Groupe d'intervention en santé publique et épidémiologie.

Le document a pour objectif de supprimer ou minimiser le risque de maladies liées à l'utilisation agricole après traitement des eaux usées. Le concept de base est de réduire au maximum la contamination des produits agricoles cultivés avec arrosage par une eau usée traitée.

Le chapitre 4 est celui qui traite des aspects sanitaires sur les quels nous avons cherché à rendre lisible les informations du guide.

Une lecture strictement médicale permet de voir dans le document OMS une préoccupation épidémiologique intéressante mais difficile à traduire en textes opérationnels. Il faut garder en mémoire que cette approche récente ne contredit pas les préconisations antérieures mais en quelque sorte les complète

SYNTHESE DU CHAPITRE 4 DU DOCUMENT OMS

Ce chapitre est un guide pour appréhender la gestion du risque environnemental sur la santé des populations.

L'évaluation des effets des modifications de l'environnement sur la santé nécessite au préalable d'en identifier les effets, c'est-à-dire de déterminer les pathologies et les causes de mortalité anticipée dont la probabilité est augmentée par l'exposition à un facteur de risque environnemental. Puis, le risque attribuable de cette morbidité et de cette mortalité qui peut effectivement être attribuée à une modification de l'exposition de la population au(x) facteur(s) de risque considéré(s) est quantifiée en fonction d'une part, de la force de l'association entre facteur de risque et morbidité ou mortalité, et d'autre part, de la prévalence de l'exposition.

Une évaluation d'impact sanitaire (EIS) vise à quantifier l'impact de l'exposition à des nuisances environnementales sur la santé (par exemple le nombre de cas « attribuables ») à court terme et à long terme à partir de relations exposition-risque (E-R) issues des études épidémiologiques

Dans ce guide une des bases du raisonnement est l'utilisation des DALY dans une optique de réduction des risques liés à la réutilisation des eaux usées (REU).

Les DALY sont un calcul des années de vie passées en bonne santé. Ils sont utilisés en général comme indicateurs d'efficacité d'une intervention en santé. En cas de maladie avec incapacité ou décès prématuré le nombre de DALY diminue. Il est donc possible d'évaluer la charge des différentes maladies et la réduction de cette charge lors des interventions de santé (préventives ou curatives).

Ici les DALY sont utilisés pour calculer l'excès de risque lié à la consommation d'eau « polluée ».

Le seuil tolérable lié aux maladies transmises par la consommation d'eaux usées traitées a été fixé à 10^{-6} DALY/ personne/an. C'est donc le seuil maximum tolérable d'excès de risque lié à l'utilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation.

Ce 10^{-6} représente en fait un excès de risque de perte de DALY par rapport au risque de base soit un cas supplémentaire sur une population de un million de sujets exposés par rapport à une population non exposée.

Il est, semble t-il voisin de l'excès de risque de 10^{-5} de décès par cancer pour une personne exposée sur une vie entière ; mesure et seuil communément utilisés dans le domaine de l'Evaluation gestion des risques sanitaires (ERS) environnementaux pour toute exposition à un polluant cancérigène.

Dans un but opérationnel, il est nécessaire de calculer le degré de réduction des pathogènes pour atteindre ce niveau de protection (ou plus précisément pour atteindre un excès de risque inférieur à 10^{-6} DALY/pers/an).

Ce calcul passe par différentes étapes qui constituent l'essentiel de ce chapitre 4 avec les éléments suivants.

Etape 1 : Calcul du risque tolérable d'infection (ou plutôt de l'excès de risque)

Le tableau 4.1 montre que pour rester sous le seuil d'un excès de risque de 10^{-6} DALY/pers/an il faut réduire le nombre de pathogènes de 2 à 7 log selon le type de culture et d'irrigation.

Tableau 4.1. : risque tolérable d'infection dans l'utilisation agricole des eaux usées traitées

Type d'exposition	Excès de risque	Nb de log de réduction	Nb oeufs helminthes / l
Irrigation non limitée	< ou = 10^{-6}		
Salades		6	< ou = 1
Oignons		7	< ou = 1
Irrigation limitée	< ou = 10^{-6}		
Culture mécanisée		3	< ou = 1
Culture intensive		4	< ou = 1
Goutte à goutte	< ou = 10^{-6}		
croissance rapide		2	
croissance lente		4	< ou = 1

Le seuil tolérable de maladie est alors compris entre 10^{-3} et 10^{-4} / pers/an.

Le seuil tolérable de maladie va être converti en seuil tolérable d'infection (connaissant ou estimant le rapport Malades/infectés ; cf. tableau 4.2)

Tableau 4.2. : Seuils tolérables d'infection

pathogène	DALY par cas de maladie	Ratio infection / maladie	Risque tolérable d'infection /per/an
Rotavirus			
Pays industrialisés	$1,4 \times 10^{-2}$	0,05	$1,4 \times 10^{-3}$
Pays en développpt	$2,6 \times 10^{-2}$	0,05	$7,7 \times 10^{-4}$
Campylobacter	$4,6 \times 10^{-3}$	0,7	$3,1 \times 10^{-4}$
Cryptosporidium	$1,5 \times 10^{-3}$	0,3	$2,2 \times 10^{-3}$

Etape 2 : QMRA (Quantitative Microbial Risk Assessment)

Consiste à déterminer le nombre maximal de pathogènes ingérés lors d'une exposition en réalisant une analyse du risque d'exposition selon la nature du danger, de la voie d'exposition et des caractéristiques socio – économiques des populations concernées

QMRA peut se traduire par « Evaluation quantitative du risque microbiologique ». C'est une des méthodes de modélisation utilisée initialement en santé environnementale (exposition à des polluants) adaptée ici au risque pour la santé lié à une exposition à des germes transmis par l'eau. Elle permet de décrire les relations entre la présence d'un germe dans l'eau ou les aliments et la probabilité de conséquences dans la population exposée.

Elle se réalise en 4 étapes :

- Identification du danger (toxicité propre du produit (germe))
- Evaluation de l'exposition des populations à ce produit
- Caractérisation de la relation dose-réponse (exposition-risque)
- Caractérisation des risques.

Etape 3 : Réduction nécessaire de l'agent pathogène

Calcul de la réduction nécessaire du pathogène pour atteindre le seuil d'excès de risque de 10-6 DALY/pers/an.

Etape 4 : Mesures de protection pour atteindre la réduction nécessaire du pathogène

Traitement de l'eau +/- autres mesures de protection.

Etape 5 : Surveillance - vérification

Réalisée à travers le calcul du nombre d' E. coli après traitement de l'eau (cf. tableau 4.5).

Tableau 4.5. : Surveillance du traitement des eaux usées par le nombre de Coli thermo résistants présent dans ces eaux après traitement

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

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

ANALYSE CRITIQUE

Ce guide est peu fonctionnel ni opérationnel, en particulier concernant les meilleures méthodes de traitement des eaux et les indicateurs pour vérifier l'impact des ces traitements.

Ce guide comporte beaucoup de raisonnements théoriques avec des modèles basés sur des données de terrain rares et limitées qui ne sont pas d'un grand secours pour des opérateurs.

Les auteurs en ont conscience puisque dans le chapitre 5-7 ils reconnaissent que l'utilisation des eaux usées non traitées pour les cultures se fait très souvent dans le monde, en particulier dans les pays à ressources limitées et que cela ne semble ne pas poser de problèmes sanitaires majeurs.

On peut retenir que ce document préconise que les eaux usées ne peuvent être utilisées pour l'irrigation que si leur traitement a assuré la réduction de 6 ou 7 log par rapport au nombre de pathogènes présents dans les eaux non traitées. Cette donnée est largement théorique et obtenue à partir des calculs résumés ci-dessus et dans la partie 3.2 du guide (cf. tableau 3.2). Mais cela peut être revu s'il s'agit d'une culture non alimentaire ou de la culture d'un aliment qui se consomme cuit, dans ce cas le problème est la protection des travailleurs et une éventuelle pollution chimique.

Tableau 3.2. : Concentrations des pathogènes dans les eaux usées non traitées

Organismes pathogènes	Nombre par litre
Bactéries	
Coliformes thermorésistants	$10^4 - 10^{10}$
<i>Campylobacter jejuni</i>	$10 - 10^4$
Salmonella sp	$1 - 10^5$
Shigella sp	$10 - 10^4$
<i>Vibrio cholerae</i>	$10^2 - 10^4$
Helminthes	
<i>Ascaris lumbricoides</i>	$1 - 10^3$
Ankylostomes	$1 - 10^3$
<i>Trichuris trichinella</i>	$1 - 10^2$
<i>Schistosoma mansoni</i>	ND
Protozoaires	
Cryptosporidies	$1 - 10^4$
Amibes	$1 - 10^2$
<i>Giardia intestinalis</i>	$10^2 - 10^5$
Virus	
Enterovirus	$10^5 - 10^6$
Rotavirus	$10^2 - 10^5$

Ce tableau démontre par ailleurs que la recherche des coliformes thermorésistants ne peut suffire à analyser une eau à consommer ; il n'y a pas concordance entre le nombre de ces Coli et le nombre d'œufs ou kystes de parasites.

Ce document de plus, fait une part très belle au volet microbiologie et une part trop faible au volet chimique. Pourtant dans le cadre de l'utilisation des eaux usées en agriculture le risque chimique est vraisemblablement plus important car peu réduit par les traitements et parce que tout toxique peut entrer dans la chaîne alimentaire et avoir des effets péjoratifs avec des aliments cuits ou des aliments (œufs, laitages, viande) venant d'animaux consommant les cultures arrosés par ces eaux (ruminants).

On peut néanmoins penser que la marge élevée de réduction des risques biologiques (6 ou 7 log) est voulue dans ce but.

Les responsables français ont renoncé à utiliser les DALY pour les questions d'eaux car ces DALY dépendent très fortement des agents pathogènes concernées et des populations à risque selon leur mode alimentaire ou d'achat et préparation des aliments. Pour les experts français il faut calculer des DALY pour chaque agent pathogène.

Par ailleurs un souci se fait jour actuellement c'est celui de bien évaluer les méthodes de décontamination en tenant compte des effets pervers éventuels de toxicité des effluents ou des produits utilisés pour le traitement. Cette préoccupation est particulièrement importante dans les pays à ressources limitées où dans certaines régions il vaut mieux avoir de l'eau avec des critères d'utilisation limités que pas d'eau du tout.

L'utilisation du nombre de E Coli résistants pour 100 ml comme critère de non souillure fécale est de plus en plus contestée pour l'analyse de la potabilité de l'eau, car peu performant et non valide pour les parasites. D'autres critères sont mieux adaptés comme la turbidimétrie dans le cas des cryptocoques en particulier.

AU TOTAL :

Nous pensons que pour une réutilisation des eaux usées (quelque soit le traitement de ces eaux) il faut :

- évaluer les risques en fonction de la qualité des effluents
- suivre la qualité physico chimique et microbiologique de ces effluents
- suivre dans la population la fréquence des diarrhées
- traiter ces eaux pour approcher de la réduction de 6 log si cela est possible sans créer d'autres problèmes sur la population (toxique)
- favoriser l'utilisation de ces eaux selon les types de culture (non alimentaires, d'aliments à cuire) et de moyens d'arrosage favorables à un moindre risque (goutte à goutte)
- accompagner toute action d'une éducation pour la santé en direction
 - des travailleurs pour réduire les risques lors de leur activité professionnelle (médecine du travail) ;
 - de la population pour favoriser une meilleure hygiène alimentaire (le lavage vigoureux, la désinfection au chlore, le pelage des fruits et légumes réduisent chacun de 1 ou 2 log).

Ce document OMS doit être pris comme un outil pour orienter la réflexion et aider les décideurs politiques dans leurs orientations et interventions dans ce domaine.

Annexe 5.

**Arrêté du 2 août 2010 relatif à
l'utilisation d'eaux issues du traitement
d'épuration des eaux résiduaires
urbaines pour l'irrigation de cultures ou
d'espaces verts**

Décrets, arrêtés, circulaires

TEXTES GÉNÉRAUX

MINISTÈRE DE LA SANTÉ ET DES SPORTS

Arrêté du 2 août 2010 relatif à l'utilisation d'eaux issues du traitement d'épuration des eaux résiduaires urbaines pour l'irrigation de cultures ou d'espaces verts

NOR : SASP1013629A

Le ministre d'Etat, ministre de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de la mer, en charge des technologies vertes et des négociations sur le climat, la ministre de la santé et des sports, le ministre de l'alimentation, de l'agriculture et de la pêche et la secrétaire d'Etat chargée de l'écologie,

Vu le code de la santé publique, et notamment ses articles L. 1311-1 et L. 1311-2 ;

Vu le code de l'environnement, et notamment son article R. 211-23 ;

Vu le code des collectivités territoriales, et notamment ses articles L. 2224-8 et L. 2224-10 ;

Vu l'arrêté du 8 janvier 1998 fixant les prescriptions techniques applicables aux épandages de boues sur les sols agricoles pris en application du décret n° 97-1133 du 8 décembre 1997 relatif à l'épandage des boues issues du traitement des eaux usées ;

Vu l'arrêté du 22 juin 2007 relatif à la collecte, au transport et au traitement des eaux usées des agglomérations d'assainissement ainsi qu'à la surveillance de leur fonctionnement et de leur efficacité, et aux dispositifs d'assainissement non collectif recevant une charge brute de pollution organique supérieure à 1,2 kg/j de DBO₅ ;

Vu l'avis du Conseil supérieur d'hygiène publique de France en date du 9 janvier 2001 ;

Vu le rapport de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments en date du 1^{er} décembre 2008 ;

Vu l'avis de l'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail en date du 8 octobre 2009 ;

Vu l'avis de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments en date du 19 mai 2010 ;

Vu l'avis de la mission interministérielle de l'eau en date du 19 novembre 2009,

Arrêtent :

Art. 1^{er}. – *Champ d'application.*

Le présent arrêté fixe les prescriptions sanitaires et techniques applicables à l'utilisation d'eaux usées traitées à des fins d'irrigation de cultures ou d'espaces verts. Ces prescriptions visent à garantir la protection de la santé publique, de la santé animale et de l'environnement ainsi que la sécurité sanitaire des productions agricoles.

Au sens du présent arrêté, les eaux usées traitées sont celles issues des stations d'épuration des eaux usées mentionnées au II de l'article L. 2224-8 du code général des collectivités territoriales et celles issues des installations d'assainissement non collectif mentionnées au III de l'article L. 2224-8 du code général des collectivités territoriales et dont la charge brute de pollution organique est supérieure à 1,2 kg de demande biologique en oxygène sur cinq jours (DBO₅) par jour.

Au sens du présent arrêté, l'irrigation désigne l'apport artificiel en eau pour des cultures ou des espaces verts.

Art. 2. – *Définitions.*

L'utilisation d'eaux usées traitées aux fins d'irrigation est mise en œuvre selon les règles de l'art, au moyen des systèmes suivants :

1. Irrigation gravitaire : l'eau est fournie aux plantes par remplissage de petits bassins, par planches ou par calans, par des rigoles, canaux ou raies d'irrigation ;

2. Irrigation localisée :

a) Souterraine : l'eau est fournie par l'intermédiaire de tuyaux perforés, de goutteurs de microirrigation ou de drains enterrés ;

b) De surface : l'eau est distribuée au moyen de goutteurs ou de rampes perforées au voisinage de la plante ;

3. Irrigation par aspersion : l'eau est fournie aux plantes sous forme de pluie artificielle grâce à l'utilisation d'organes d'arrosage ou d'asperseurs alimentés en eau sous pression.

Art. 3. – Prescriptions techniques.

Sans préjudice de l'application des réglementations générales ou particulières concernant la protection des ressources en eau, l'irrigation de cultures ou d'espaces verts par des eaux usées traitées doit respecter, en fonction du niveau de qualité sanitaire des eaux usées traitées tel que défini en annexe I, les contraintes d'usage, de distance et de terrain définies en annexe II.

Les conditions de stockage des eaux usées traitées ne doivent pas favoriser le développement de vecteurs ou d'agents pathogènes.

Art. 4. – Cas de l'irrigation par aspersion d'eaux usées traitées.

Toute utilisation d'eaux usées traitées à des fins d'irrigation par aspersion peut être autorisée à titre expérimental par arrêté préfectoral tel que défini à l'article 8 et après avis favorable de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail. Cet avis est rendu dans un délai ne devant pas excéder six mois à compter de la date de réception par l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail du dossier de demande d'expérimentation déclaré complet. Le contenu du dossier de demande d'expérimentation est défini en annexe III. Il comporte notamment les résultats d'un programme de suivi de la qualité des eaux usées traitées devant porter sur une aspersion menée à échelle réduite sur un terrain implanté ou confiné de telle manière qu'aucun public n'y soit exposé. Ce programme de suivi ne fait pas l'objet d'une autorisation spécifique.

L'équipement utilisé doit émettre la plus faible proportion possible d'aérosols et être placé le plus bas possible par rapport au sol et à la culture.

Art. 5. – Interdictions.

Est interdite l'irrigation des cultures et des espaces verts :

1. A partir d'eaux usées brutes ;
2. A partir d'eaux usées traitées issues de stations d'épuration reliées à un établissement de collecte, de stockage, de manipulation ou de traitement des sous-produits d'origine animale de catégorie 1 ou 2 au sens du règlement européen 1774/2002 et soumis à la réglementation des installations classées au titre des rubriques 2730 ou 2731, à l'exception des cas où les eaux sont, préalablement à leur rejet dans le réseau de collecte, traitées thermiquement à 133 °C pendant 20 minutes sous une pression de 3 bars ;
3. A partir d'eaux usées traitées issues de stations d'épuration qui produisent des boues ne respectant pas l'ensemble des valeurs limites figurant aux tableaux I a et I b de l'annexe I de l'arrêté du 8 janvier 1998 susvisé ;
4. A partir d'eaux usées traitées sur un sol ne respectant pas l'ensemble des valeurs limites figurant au tableau 2 de l'annexe I de l'arrêté du 8 janvier 1998 susvisé ;
5. A partir d'eaux usées traitées à l'intérieur d'un périmètre de protection rapprochée de captage d'eau destinée à la consommation humaine, tel que défini à l'article L. 1321-2 du code de la santé publique. Il peut être dérogé à cette interdiction, après avis d'un hydrogéologue agréé en matière d'hygiène publique, dans certaines zones du périmètre de protection rapprochée, dans le cas d'un captage d'eau superficielle ou d'origine karstique, pour une eau usée traitée de qualité A ou B telle que définie en annexe I.

Art. 6. – Protection des réseaux d'eau potable.

Les canalisations de distribution d'eaux usées traitées sont repérées de façon explicite.

Tout raccordement, qu'il soit temporaire ou permanent, du réseau de distribution d'eaux usées traitées avec le réseau de distribution d'eau destinée à la consommation humaine est interdit. Le cas échéant, l'appoint en eau du système de distribution d'eaux usées traitées depuis le réseau de distribution d'eau destinée à la consommation humaine est assuré par un système de disconnexion par surverse totale, notamment à l'occasion du remplissage d'une cuve de stockage d'eaux usées traitées.

Art. 7. – Dépôt du dossier.

Toute personne souhaitant réaliser une installation ou procéder à une activité d'utilisation d'eaux usées traitées à des fins d'irrigation de cultures ou d'espaces verts adresse une demande au préfet du département où elle doit être réalisée.

Cette personne peut être le propriétaire ou l'exploitant de la station d'épuration, ou le propriétaire ou l'exploitant des parcelles à irriguer.

Le contenu du dossier est défini en annexe III.

Dans le cas d'une demande d'expérimentation au titre de l'article 4, le préfet transmet le dossier à l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail.

Art. 8. – Arrêté préfectoral.

L'utilisation d'eaux usées traitées à des fins d'irrigation est autorisée par un arrêté préfectoral qui fixe, après avis du conseil départemental de l'environnement et des risques sanitaires et technologiques et, le cas échéant, après l'avis favorable de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail, les modalités d'irrigation à partir des eaux usées traitées de la station d'épuration.

L'arrêté préfectoral indique notamment :

1. L'origine et le niveau de qualité sanitaire des eaux usées traitées selon le tableau de l'annexe I ;
2. Le programme d'irrigation prévu à l'article 9. Si les conditions d'irrigation sont variables d'une année sur l'autre, cet arrêté prévoit que l'exploitant du système d'irrigation fournisse un programme annuel d'irrigation ;
3. Le programme de surveillance des eaux usées traitées défini à l'article 10 ;
4. Le programme de surveillance de la qualité des sols défini à l'article 11 ;
5. Les débits ou volumes journaliers autorisés pour l'irrigation et, le cas échéant, pour le stockage ;
6. Les distances à respecter vis-à-vis des activités ou usages de l'eau à protéger ;
7. Les mesures d'information du public ;
8. L'identité de l'exploitant de la station d'épuration, de l'exploitant du système d'irrigation et des exploitants des parcelles irriguées.

L'arrêté préfectoral peut prévoir des dispositions plus strictes que celles du présent arrêté, notamment en application de l'article L. 1311-2 du code de la santé publique.

L'arrêté préfectoral précise l'identité des personnes responsables de la surveillance des eaux et des sols, qui peut être différente de celle définie aux articles 10 et 11, après accord de l'ensemble des parties (exploitants de la station d'épuration, du système d'irrigation et des parcelles irriguées).

Art. 9. – Programme d'irrigation.

Le programme d'irrigation comprend :

1. La liste des parcelles ou groupes de parcelles concernées ainsi qu'une représentation cartographique des parcelles concernées ;
2. La nature des cultures implantées pendant la période d'irrigation ;
3. L'identification des personnes morales ou physiques intervenant dans la mise en œuvre de l'irrigation ;
4. Le calendrier prévisionnel de l'irrigation et les quantités d'eau par unité culturale en fonction du sol et des cultures ;
5. Le descriptif du matériel utilisé pour l'irrigation.

Le programme annuel d'irrigation est une déclinaison annuelle des documents prévus au premier alinéa du présent article. Il est transmis au préfet et aux maires concernés au plus tard un mois avant le début de la campagne d'irrigation par l'exploitant du système d'irrigation.

Art. 10. – Programme de surveillance des eaux usées traitées.

L'exploitant de la station d'épuration met en place un programme de surveillance, qui comporte :

1. Le suivi analytique des *Escherichia coli* dans les eaux usées traitées selon une fréquence minimale fixée en annexe IV : les prélèvements sont effectués au point d'usage pendant la totalité de la saison d'irrigation. Pour les durées d'irrigation inférieures à deux mois par an, le nombre d'analyses annuel ne pourra être inférieur à deux ;
2. Le suivi de la qualité des boues produites lors du traitement des eaux usées à raison d'au moins quatre analyses par an pour les paramètres figurant aux tableaux I a et I b de l'annexe I de l'arrêté du 8 janvier 1998 susvisé, à l'exception des traitements par lagunage qui font l'objet d'une analyse annuelle dans la lagune finale. L'arrêté préfectoral prévu à l'article 8 définit, dans le cas où les boues ne font pas l'objet d'un épandage agricole, les modalités de constitution des échantillons de boues nécessaires à leur analyse ;
3. Le suivi annuel des paramètres définis en annexe I en complément de la surveillance de la qualité des eaux usées traitées prévue par l'arrêté du 22 juin 2007 susvisé.

Les analyses du programme de surveillance sont réalisées dans un délai tel que les résultats d'analyses sont connus avant le début de la période d'irrigation par des eaux usées traitées.

Les analyses de la qualité des eaux doivent être réalisées par un laboratoire accrédité, pour les paramètres et les différents types d'eaux considérés, selon la norme ISO/CEI 17025 par le comité français d'accréditation ou par tout autre organisme d'accréditation équivalent européen signataire de l'accord multilatéral pris dans le cadre de la coordination européenne des organismes d'accréditation.

L'exploitant de la station d'épuration transmet les résultats du programme de surveillance au préfet et aux maires concernés une fois par an.

L'exploitant de la station d'épuration transmet les résultats du programme de surveillance aux exploitants des parcelles concernées par le programme d'irrigation et, le cas échéant, aux personnes morales ou physiques intervenant dans la mise en œuvre de l'irrigation.

Art. 11. – Programme de surveillance de la qualité des sols.

L'exploitant de chaque parcelle irriguée par des eaux usées traitées réalise au minimum tous les dix ans une analyse du sol sur chaque point de référence, repéré par ses coordonnées Lambert, représentatif d'une zone homogène. Par « zone homogène », on entend une partie d'unité culturale homogène d'un point de vue pédologique n'excédant pas vingt hectares. Par « unité culturale », on entend une parcelle ou un groupe de parcelles exploitées selon un système unique de rotations de cultures par un seul exploitant. Ces analyses portent sur les éléments traces figurant au tableau 2 de l'annexe I de l'arrêté du 8 janvier 1998 susvisé et sur le pH. Les analyses de sol doivent être réalisées par un laboratoire d'analyse de terre agréé par le ministère de l'alimentation, de l'agriculture et de la pêche. Les méthodes d'échantillonnage et d'analyse de sols sont conformes aux dispositions de l'annexe V de l'arrêté du 8 janvier 1998 susvisé.

L'exploitant de la parcelle irriguée communique les résultats des analyses à l'exploitant de la station d'épuration.

Art. 12. – Traçabilité.

L'exploitant de la parcelle irriguée tient à jour un registre, qu'il tient à la disposition du maire de la commune concernée, de l'autorité sanitaire, du service de police de l'eau et de l'exploitant de la station d'épuration, précisant :

1. La nature des cultures et les parcelles irriguées par des eaux usées traitées ;
2. Les volumes d'eaux usées traitées épanchées ;
3. Les périodes d'irrigation par des eaux usées traitées ;
4. Les résultats des programmes de surveillance définis aux articles 10 et 11 ;
5. Les résultats des analyses des sols réalisées dans le cadre de l'appréciation de l'état initial du milieu récepteur prévu à l'annexe III-6.

Ce registre est conservé pendant dix ans.

Art. 13. – Suspension de l'irrigation par des eaux usées traitées.

Dans le cadre du programme de surveillance défini à l'article 10, en cas de dépassement d'une valeur limite fixée par le présent arrêté ou, le cas échéant, par l'arrêté préfectoral, portant sur les eaux usées traitées ou les boues, l'exploitant de la station d'épuration :

1. En informe immédiatement les exploitants des parcelles irriguées et, le cas échéant, les personnes morales ou physiques intervenant dans la mise en œuvre de l'irrigation et suspend immédiatement le programme d'irrigation ;

2. Transmet immédiatement l'information au préfet et aux maires concernés ainsi que les causes du dépassement constaté et les actions correctives mises en œuvre ou envisagées.

L'irrigation par des eaux usées traitées est alors interdite jusqu'à transmission au préfet des résultats d'analyses conformes aux valeurs limites.

Dans le cadre de la surveillance de la qualité des sols définie à l'article 11, en cas de dépassement d'une valeur limite figurant au tableau 2 de l'annexe I de l'arrêté du 8 janvier 1998 susvisé ou, le cas échéant, par l'arrêté préfectoral, l'exploitant de la parcelle irriguée en informe immédiatement l'exploitant de la station d'épuration et exclut la parcelle incriminée du programme d'irrigation.

Art. 14. – Mise en conformité des installations existantes.

Les opérations d'irrigation gravitaire ou localisée d'eaux usées traitées autorisées par arrêté préfectoral à la date d'entrée en vigueur du présent arrêté doivent être mises en conformité avec les dispositions du présent arrêté dans un délai d'un an à compter de son entrée en vigueur.

Les opérations d'irrigation par aspersion d'eaux usées traitées autorisées par arrêté préfectoral à la date d'entrée en vigueur du présent arrêté doivent être mises en conformité avec les dispositions prévues aux articles 5, 10, 11, 12 et 13 du présent arrêté dans un délai d'un an à compter de son entrée en vigueur.

Art. 15. – Application.

La directrice de l'eau et de la biodiversité, le directeur général de la santé et le directeur général des politiques agricole, agroalimentaire et des territoires sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent arrêté, qui sera publié au *Journal officiel* de la République française.

Fait à Paris, le 2 août 2010.

La ministre de la santé et des sports,
ROSELYNE BACHELOT-NARQUIN

*Le ministre d'Etat, ministre de l'écologie,
de l'énergie, du développement durable et de la mer,
en charge des technologies vertes
et des négociations sur le climat,*

JEAN-LOUIS BORLOO

*Le ministre de l'alimentation,
de l'agriculture et de la pêche,*
BRUNO LE MAIRE

*La secrétaire d'Etat
chargée de l'écologie,*
CHANTAL JOUANNO

ANNEXES

ANNEXE I

NIVEAUX DE QUALITÉ SANITAIRES DES EAUX USÉES TRAITÉES

Quatre niveaux de qualité sanitaire des eaux usées traitées (A, B, C et D) sont définis comme suit :

PARAMÈTRES	NIVEAU DE QUALITÉ SANITAIRE DES EAUX USÉES TRAITÉES			
	A	B	C	D
Matières en suspension (mg/l)	< 15	Conforme à la réglementation des rejets d'eaux usées traitées pour l'exutoire de la station hors période d'irrigation		
Demande chimique en oxygène (mg/l)	< 60			
Entérocoques fécaux (abattement en log)	≥ 4	≥ 3	≥ 2	≥ 2
Phages ARN F-spécifiques (abattement en log)	≥ 4	≥ 3	≥ 2	≥ 2
Spores de bactéries anaérobies sulfitoréductrices (abattement en log)	≥ 4	≥ 3	≥ 2	≥ 2
<i>Escherichia coli</i> (UFC/100 ml)	≤ 250	≤ 10 000	≤ 100 000	-

Les eaux usées traitées sont classées dans le niveau de qualité qui correspond au classement du paramètre le plus défavorable.

Pour les stations d'épuration dont la qualité des eaux usées traitées varie dans l'année, il convient de prendre en compte les résultats d'analyses relatives au dénombrement d'*Escherichia coli* précédant la campagne d'irrigation.

Les abattements sont mesurés entre l'eau entrant dans la station d'épuration et l'eau usée traitée sortant de la station d'épuration ou de la filière de traitement complémentaire, le cas échéant.

ANNEXE II

CONTRAINTES D'USAGE, DE DISTANCE ET DE TERRAIN

1. Contraintes d'usage

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

TYPE D'USAGE	NIVEAU DE QUALITÉ SANITAIRE DES EAUX USÉES TRAITÉES			
	A	B	C	D
Forêt d'exploitation avec accès contrôlé du public	+	+	+(3)	+(3)

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

Dans le cas d'une culture sous serre, seule l'irrigation localisée, telle que définie à l'article 2, est autorisée.

2. Contraintes de distance

Les distances minimales à respecter (en mètres) entre l'irrigation par des eaux usées traitées et les activités à protéger figurent dans le tableau suivant :

NATURE DES ACTIVITÉS À PROTÉGER	NIVEAU DE QUALITÉ SANITAIRE DES EAUX USÉES TRAITÉES		
	A	B	C ET D
Plan d'eau (1)	20 m	50 m	100 m
Bassin aquacole (à l'exception des coquillages filtreurs) Pisciculture y compris pêche de loisir	20 m	50 m	100 m
Conchyliculture Pêche à pied des coquillages filtreurs	50 m	200 m	300 m
Baignades et activités nautiques	50 m	100 m	200 m
Abreuvement du bétail	50 m	100 m	200 m

(1) A l'exception du plan d'eau servant d'autoire au rejet de la station d'épuration et des plans d'eau privés où l'accès est réglementé et où aucune activité telle que baignade, sport nautique et aquatique, pêche ou abreuvement du bétail n'est pratiquée.

3. Contraintes de terrain

Dans le cas d'un terrain dont la pente est supérieure à 7 %, seule l'irrigation localisée, telle que définie à l'article 2, est autorisée.

L'irrigation par des eaux usées traitées de terrains saturés en eau est interdite de manière à éviter tout ruissellement d'eaux usées traitées hors du site.

En milieu karstique, l'irrigation n'est possible qu'avec des eaux de qualité A et B et seulement sur des terrains comportant un sol épais avec un couvert végétal. En outre, si la pente de ces terrains excède 3 %, l'irrigation doit être localisée.

ANNEXE III

DOSSIER DE DEMANDE D'AUTORISATION

Le dossier de demande d'autorisation adressé au préfet en quatre exemplaires comprend :

1. Lettre de demande du pétitionnaire.
2. Note de synthèse technique et non technique justifiant la demande et décrivant les conditions actuelles d'irrigation du secteur concerné et le milieu récepteur des eaux issues de la station d'épuration.

3. Informations sur la station d'épuration :

Nom exact et localisation précise ;

Type de réseaux (unitaire, séparatif) raccordés à la station d'épuration ;

Caractéristiques des eaux usées brutes : débits et volumes, nature des eaux épurées (eaux usées domestiques, industrielles, etc.), principales caractéristiques physico-chimiques, recensement et analyses des activités raccordées au réseau de collecte d'eaux usées et compatibilité des rejets de ces activités avec l'utilisation des eaux usées traitées y compris copie des conventions de rejets des établissements à risque (abattoirs, établissements de soins, industriels, etc.) ;

Caractéristiques techniques des équipements et procédés de traitement mis en œuvre sur la station d'épuration ;

Informations générales sur le milieu récepteur (notamment hydrologie et hydrogéologie) ;

Résultats du suivi de la performance épuratoire de la station d'épuration (comprenant la filière de traitement tertiaire, le cas échéant) sur une période d'au moins six mois consécutifs comprenant l'ensemble de la saison d'irrigation avec une fréquence mensuelle d'analyses portant sur les paramètres définis en annexe I ;

Résultats du suivi de la qualité des bores produites lors du traitement des eaux usées, sur une période d'au moins 6 mois, à raison d'au moins quatre analyses par an pour les paramètres figurant aux tableaux I a et I b de l'annexe I de l'arrêté du 8 janvier 1998 susvisé ;

Extrait des rapports d'autosurveillance des eaux résiduaires brutes et des effluents épurés (nombre de non-conformités et période de suivi).

4. Description détaillée du projet de réutilisation :

Éléments cartographiques des documents d'urbanisme en vigueur (plan local d'urbanisme) autour de la zone d'irrigation envisagée ;

Présentation et analyse des situations météorologiques locales (pluviométrie, climat et variations saisonnières) ;

Description détaillée de la filière de traitement tertiaire, le cas échéant (principe, dimensionnement, gestion technique et maintenance) ;

Le cas échéant, informations sur le stockage temporaire des eaux usées traitées (matériel, localisation, enterré ou non, temps de séjour) ;

Identification des parcelles à irriguer (noms exacts et localisations précises des terrains, nombre d'hectares concernés, couverts végétaux envisagés, infrastructures, activités anthropiques et usages du sol) ;

Nature et devenir des cultures irriguées (description détaillée de l'utilisation des sites irrigués par les eaux usées traitées), évaluation des besoins en eaux des espaces irrigables ;

Fréquence et conditions d'apport en eaux usées traitées en fonction des capacités d'absorption et d'échange des sols ;

Devenir des eaux usées traitées en dehors des périodes d'utilisation pour l'irrigation (exutoires possibles, installations de stockage envisagées) ;

Représentation cartographique, si possible au 1/25 000, du projet d'irrigation, indiquant notamment les usages à protéger (habitations, puits, cours d'eau, captages, etc.), les caractéristiques topographiques (dont les courbes de niveaux), pédologiques (aptitude des sols à l'infiltration, nature et pentes des terrains), hydrogéologiques et hydrologiques superficielles et profondes, la localisation, le cas échéant, des périmètres de protection des captages d'eau, les types de cultures et les distances par rapport aux habitations, aux bâtiments et/ou installations accueillant du public et aux voies de circulation ;

Mesures d'information du public prévu et notamment sur le site ;

Projet de programme d'irrigation saisonnier à titre indicatif (débit, quantité d'eau potentiellement épanchée, nombre d'heures d'irrigation par jour ou par nuit) ;

Programme de surveillance ;

Paramètres pris en compte pour la gestion de l'irrigation (programmation manuelle, automatique, en fonction des pluies, etc.).

5. Caractéristiques, dimensionnement et entretien du réseau d'irrigation et description détaillée des matériels d'irrigation, de la mise en route, de la gestion et de l'entretien du système sur les sites irrigués (identification des intervenants) ainsi que la formation prévue pour les travailleurs concernés.

6. Description de l'état initial du milieu récepteur des eaux usées traitées et de l'aptitude des sols à l'irrigation, comprenant notamment une analyse des sols réalisée en un point de référence, repéré par ses coordonnées Lambert, représentatif de chaque zone homogène (c'est-à-dire pour chaque partie d'unité culturale homogène d'un point de vue pédologique n'excédant pas 20 hectares), portant sur les éléments traces figurant au tableau 2 de l'annexe I de l'arrêté du 8 janvier 1998 susvisé et sur le pH. Les analyses de sol doivent être réalisées par un laboratoire d'analyse de terre agréé par le ministère de l'alimentation, de l'agriculture et de la pêche.

7. Analyse des risques : descriptif des modes de détection et gestion des dysfonctionnements de la filière de traitement et de distribution.

8. Analyse des impacts environnementaux et sanitaires de la réutilisation des eaux usées traitées (infrastructures, habitations, pluies, cultures, etc.), modes d'évaluation de ces impacts et mesures compensatoires prévues.

9. Projet de convention entre le propriétaire de la station d'épuration, l'exploitant de la station d'épuration, les propriétaires des parcelles concernées, les exploitants des parcelles concernées et les éventuelles personnes morales ou physiques intervenant dans la mise en œuvre de l'irrigation explicitant notamment la gestion de l'irrigation et les modalités de suivi (sols, effluents, surveillance des impacts sanitaires).

Lorsque la demande porte sur une expérimentation pour l'irrigation par aspersion d'eaux usées traitées (tel que prévu à l'article 4) :

A. – Le dossier comprend en outre les informations suivantes :

10. La description de la technologie d'irrigation mentionnée au point 5 comprend des précisions sur la technologie d'aspersion et le périmètre de l'asperseur. Les conditions de vents, ainsi que leur prise en compte pour la gestion de l'irrigation, sont précisées.

11. Les résultats du suivi de la performance épuration de la station d'épuration mentionnés au point 3 sont complétés par les informations suivantes (il s'agit d'un programme de suivi pendant six mois consécutifs comprenant la saison estivale qui doit être mené à échelle réduite sur un terrain implanté ou confiné de telle manière qu'aucun public n'y soit exposé) :

Méthodes de prélèvement et d'analyses mises en œuvre (identité des laboratoires chargés des prélèvements et des analyses) ;

Définition précise des points de prélèvements, localisation et critères d'identification ;

Paramètres à suivre pour contrôler la qualité des eaux en entrée et en sortie de la station d'épuration, en sortie de la bache de stockage (le cas échéant) et en sortie des asperseurs :

- paramètres physico-chimiques à suivre quotidiennement : matières en suspension (MES), demande biochimique en oxygène en cinq jours (DBO5), demande chimique en oxygène (DCO), carbone organique total (COT) et dissous (COD), turbidité, paramètres relatifs à l'azote (NTK, N-NH⁴, N-NO₂⁻ et N-NO₃⁻) et phosphore total ;
- paramètres microbiologiques à suivre hebdomadairement : *Escherichia coli*, entérocoques fécaux, spores de bactéries anaérobies sulfite-réductrices, bactériophages ARN-F spécifiques, *Legionella spp* et *Legionella pneumophila*, amibes, *Cryptosporidium* et *Giardia*.

Synthèse des résultats analytiques et synthèse des résultats de toutes les analyses comprenant notamment la date des prélèvements, le volume d'eau analysé, la limite de détection et le rendement de récupération de la méthode utilisée ;

Copie, sur support informatique, des résultats d'analyses du laboratoire.

B. – Le préfet transmet le dossier à l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail, après l'avoir complété avec les pièces suivantes, en trois exemplaires :

12. Avis des services de l'Etat, des organismes consultés et, le cas échéant, de l'hydrogéologue agréé.

13. Rapport et avis du conseil départemental de l'environnement et des risques sanitaires et technologiques et projet d'arrêté préfectoral.

ANNEXE IV

FRÉQUENCES DE SURVEILLANCE DES EAUX USÉES TRAITÉES

USAGE REQUÉRANT A MINIMA (1) une eau de qualité sanitaire	FRÉQUENCE D'ANALYSES	VALEUR LIMITE À RESPECTER en <i>Escherichia coli</i> (UFC/100 ml)
A	1 par semaine	≤ 250
B	1 tous les 15 jours	≤ 10 000
C et D	1 par mois	≤ 100 000

(1) Selon le tableau de l'annexe I.

Annexe 6.

Analyses économiques se rapportant aux bénéfices du traitement et de la REU

ANALYSES ECONOMIQUES SE RAPPORTANT AUX BENEFICES DU TRAITEMENT ET DE LA REU

Les réflexions qui suivent mettent en perspective que la REUT s'inscrit non seulement dans une problématique technique et institutionnelle mais également économique et que cette dimension économique est relativement complexe.

L'ANALYSE COUTS – AVANTAGES

Les projets de REUT sont généralement accompagnés d'une analyse coûts-avantages¹ qui prend tout son sens du fait de l'importance des investissements à réaliser mais aussi de la durée implicite de l'aménagement et de ses effets dans le temps, enfin et surtout des enjeux en matière de protection des milieux naturels.

Ayant pour objectif principal de prouver le bien fondé des projets ainsi que leur cohérence financière ces analyses s'attachent de plus en plus à mettre en lumière les bénéfices environnementaux, examinés dans leur finalité marchande et non marchande.

Tous les exemples montrent en effet le besoin d'une reconsidération profonde des impacts positifs de la réutilisation des eaux usées et traitées, en s'attachant à mettre en lumière les bénéfices réels des investissements. Les bénéfices liés au traitement des eaux usées ne seraient-ils pas mieux compris si au lieu de parler d'un processus d'évacuation, on décrivait plutôt un processus de production de biens valorisables à partir de rejets collectés ? [Chenoweth, Durham, Job, 2007 : valeur économique de l'eau usée traitée]. On sait bien que l'eau usée qui a été traitée peut avoir de nouveaux usages et qu'elle peut acquérir une importante valeur économique

C'est sur le thème de la valorisation de cette eau traitée que les débats sont devenus nombreux et les expériences à travers le monde de plus en plus enrichissantes pour arriver à évaluer les usages de l'eau à leur juste valeur.

LA VALEUR DE L'EAU

Il est courant de constater maintenant que le **prix de l'eau**, celui que payent les usagers, relève d'une décision des autorités publiques le plus souvent basée sur des considérations politiques et économiques. Pour plusieurs raisons la détermination du prix de l'eau est un sujet complexe, d'autant plus qu'elle concerne un bien essentiel, souvent géré de manière monopolistique, à sa ressource comme à sa distribution. De plus l'eau est caractérisée par des externalités positives (création d'espace aquatique récréatif par exemple), et négatives (entre autre diminution de la biodiversité et de la qualité de l'eau dans le milieu naturel, ou encore intrusion saline par excès de prélèvement).

Déterminer un prix reste toujours difficile, mais déterminer la valeur économique des eaux usées et traitées ou de l'eau réutilisée est encore plus complexe [Chenoweth, et al., 2007]. L'eau a la particularité de pouvoir constituer en fait plusieurs produits différents, ce qui lui donne des caractéristiques uniques et inhabituelles dans la mesure des bénéfices. La vraie valeur de l'eau n'est pas nécessairement liée à son prix ou à son coût marchand qui, par définition, n'intègre pas les externalités, mais plutôt à son rôle dans l'amélioration de l'environnement, de l'économie, et de la qualité de vie de la population [NWRA, 1999 ; Morgan et Howens, 2001]. Il devient ainsi plus réaliste de chercher à évaluer les bénéfices nets tirés de la qualité et de la disponibilité de l'eau.

¹ **Au moins dans les pays de l'UE pour être en correspondance avec la DCE qui préconise une analyse de cohérence financière afin de s'assurer que le coût d'un projet ne soit pas disproportionné au regard des avantages attendus.**

Parmi les principaux outils utilisés pour analyser les résultats liés au traitement de l'eau il faut brièvement rappeler les **méthodes liées au coût de la gestion de l'eau** dont l'objectif est de minimiser le coût global pour atteindre des standards de rentabilité définis, en incorporant l'amortissement du capital, les charges de fonctionnement et une recette suffisante qui assure un bon équilibre financier dans le temps. Dans le cas de réutilisation des eaux traitées, ces méthodes ont montré que les bénéfices réels étaient le plus souvent minimisés, et que la notion de bien être social ou d'externalités environnementales n'était pas prise en compte.

De plus en plus il est apparu évident que la réutilisation des eaux usées engendre des **avantages financiers et non financiers**. Ce sont ces derniers qui ont attirés l'attention soutenue des économistes depuis une cinquantaine d'années maintenant. Pour mieux valoriser les bénéfices des projets de réutilisation les laboratoires et les chercheurs ont développé des évaluations qui permettent de tenir compte des préférences exprimées par les individus par rapport aux conséquences d'un projet. Plusieurs méthodes ont été avancées pour estimer la valeur de biens non marchands, en particulier la méthode **d'Evaluation Contingente** qui permet de déterminer le Consentement à Payer des usagers (CAP). L'évaluation contingente est utilisée pour estimer la valeur de tous types d'écosystèmes et services environnementaux. Elle est plus difficile d'utilisation pour les composantes de l'environnement qui ne sont pas visibles ou peu connues du public (eau souterraine par exemple).

L'ÉVALUATION ÉCONOMIQUE DES BIENS ENVIRONNEMENTAUX

L'évaluation économique des biens environnementaux et de l'environnement est principalement basée sur des méthodes qui associent une valeur exprimée en termes monétaires (euros, dollars ...) à des changements de l'état de l'environnement. Cette monétarisation de l'environnement ne consiste pas à ramener l'environnement à l'état de simple marchandise qu'on peut acheter ou épuiser librement. Elle permet de fournir un élément de comparaison à des grandeurs économiques plus classiques mobilisées dans l'analyse des décisions et les choix politiques [Direction Régionale de l'Environnement –Alsace].

Différentes approches d'évaluation économique des biens environnementaux ont été développées et sont aujourd'hui utilisées en pratique, chaque méthode apportant un éclairage différent et original et plusieurs méthodes peuvent être utilisées conjointement pour mieux capturer cette valeur qui reste difficile à évaluer ! Les valeurs obtenues par des méthodes complémentaires ne peuvent cependant pas être simplement additionnées pour obtenir une valeur monétaire totale.

On distingue en général quatre types d'approches :

- les méthodes à préférences révélées dont la méthode des prix hédoniques et la méthode des coûts de transport
- Les méthodes à préférences déclarées dont l'évaluation contingente et l'analyse conjointe
- Méthode des coûts évités, coûts de remplacements, coûts substitués
- Les méthodes dose-effet dont la méthode des coûts sanitaires

Les moyens nécessaires à la mise en œuvre des principales méthodes, ainsi que leurs avantages et inconvénients sont illustrés ci-dessous :

Méthode	Type d'information mobilisée	Coût	Avantages	Inconvénients
Coûts évités	Informations techniques	+	Méthode intuitive et facile à comprendre	Ne permet de connaître les valeurs des non-usages
Evaluation contingente	Echantillon de personnes à interviewer (si enquête postale ou téléphonique)	+++	Permet de connaître les valeurs de non-usage Permet d'évaluer toute sorte de biens et de services	Est basée sur des réponses et des situations hypothétiques Coût plus élevé que les autres méthodes
Prix hédoniques	Données sur les transactions immobilières	++	Adaptée à l'estimation d'un changement de la qualité de l'environnement Basée sur des choix et des situations réelles	Ne permet pas de connaître les valeurs de non-usage Difficultés pour trouver des données immobilières adaptées Attention aux effets de l'inflation
Coûts de transport	Echantillon de personnes à interviewer (si enquête postale ou téléphonique) Données sur les fréquences de visite du site évalué, sur les coûts de transport (prix billets bus, ...)	+++	Adaptée à l'estimation de la valeur récréative d'un site Basée sur des choix et des situations réelles	Ne permet pas de connaître les valeurs de non-usage L'existence de sites substitués et de visites à but multiple complexifie les estimations

Source : Direction Régionale de l'Environnement – Alsace 2006

Ces méthodes sont devenues classiques et de plus en plus maîtrisées. Leur utilisation cependant reste souvent lourde à mettre en œuvre et s'avère difficile d'interprétation notamment à cause des biais qui peuvent intervenir dans la compréhension subjective des questions qui sont posées aux usagers.

Enfin il faut garder présent à l'esprit que toute évaluation de la valeur de l'eau ne peut être que spécifique au lieu et au service d'eau considérés. Les facteurs climatiques, la qualité et la quantité de l'eau ont une influence sur la partie " offre " de l'évaluation de l'eau, tandis que la population, le revenu et la structure économique influencent la partie " demande " [Young, 2005].

LA VALORISATION DE L'EAU

Plusieurs économistes insistent de plus en plus sur la valorisation de l'eau et sur la notion de mesure du bénéfice réel. C'est ainsi que l'accent a été mis sur la diminution des externalités négatives liées à l'eau, sur les effets positifs de l'augmentation de la disponibilité, et sur les bénéfices liés aux habitats récréatifs et sauvages, sur la biodiversité et la préservation des écosystèmes, sur l'esthétique publique et privée.

L'eau recyclée peut réduire certaines externalités négatives au prélèvement d'eau douce dans le milieu naturel. Par exemple l'exemple de Barcelone montre que l'eau recyclée peut aussi être parfois de meilleure qualité que l'eau de la rivière [Sala L., 2007].

Dans les pays en développement les activités aquatiques récréatives sont souvent des activités peu coûteuses et qui de plus attirent les touristes [Desaigues, Lesgards et al, 1999 ; Young, 2005].

Ces bénéfices sont pour la plupart intangibles, et donc difficiles à évaluer. Cependant il existe des moyens de les mesurer en des termes quantifiables, par exemple par une **comptabilité énergétique** ou en ayant recours à une "Analyse du cycle de vie" [Chenoweth, Durham, Job, 2007].

La mesure de l'énergie incorporée, depuis le prélèvement de l'eau jusqu'à la recharge de la rivière, pourrait fournir une précieuse information de l'impact environnemental des solutions alternatives de gestion de l'eau et mettre en lumière **l'importance de l'eau traitée comme une ressource et non comme un déchet à évacuer**. L'énergie est la valeur la plus facile à mesurer et d'autres types d'industries mesurent l'énergie incorporée dans des produits comme l'acier et le béton, de même que l'énergie totale et les coûts d'exploitation imbriqués dans la production. L'avantage du calcul de l'énergie incorporée est qu'il n'est pas influencé par les subventions liées à l'eau ou les coûts de l'énergie, les taux de change ou le PIB [Georgescu-Roegen, 1971 ; Passet, 1979 et 1990 ; Ayres et Warr, 2005]. Les résultats obtenus sont ainsi calculés "de la source à la source", mais distinguent en cas de besoin l'énergie nécessaire à la production d'eau potable et celle pour la distribution, la collecte et le traitement. Il faut noter que les coûts d'énergie et donc l'analyse économique dépendent beaucoup du lieu et des besoins de pompage. La reproductibilité de ces analyses n'est pas toujours possible, en revanche les données utilisées et les valeurs calculées deviennent des bases essentielles dans les analyses comparatives.

En conclusion il est possible de dire que la comparaison des différentes méthodes de calcul visant à prouver l'efficacité des investissements dans le traitement des eaux usées montre que les bénéfices des projets ont très souvent été sous estimés et mal valorisés. Les différentes approches possibles visant à reconsidérer l'ensemble des bénéfices sont à vulgariser pour faire remonter les externalités positives des projets. Il est essentiel de se donner une méthodologie rigoureuse dans la recherche des données.

LA RECHERCHE DE DONNEES FIABLES ET COHERENTES POUR LES ANALYSES ECONOMIQUES SE RAPPORTANT AUX BENEFICES DU TRAITEMENT ET DE LA REUT

Les données à rassembler sont présentées sous des rubriques volontairement générales, elles peuvent s'appliquer à différents types de projet de réutilisation, et à différentes approches économiques et de valorisation des bénéfices.

Ces données essentielles sont présentées dans le tableau suivant :

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

Annexe 7.

Éléments d'évaluation de la valeur ajoutée par projet visité

ÉLÉMENTS D'ÉVALUATION DE LA VALEUR AJOUTÉE PAR PROJET VISITE

JORDANIE – SAMRA

	Vaj moyenne	Besoins en eau irrigation	Valorisation du m ³ à l'ha
	€/ha	m ³ /ha	€/m ³
Maraichage plein champ	1 510	5 500	0.27
Maraichage sous serre	3 333	4 500	0.74
Citrus	1 920	4 560	0.42
Bananiers	4 810	9 130	0.53
Alfalfa fourrage	1 200	20 000	0.06
Fourrage des zones proches de la STEP			1.12
Sources	Visite de terrain en bordure de la STEP, sur la Zarka. Visites de terrain le long du King Abdalah Canal Etude defaisabilité de la SCP 2006 - AFD Etude USAID : Reuse for Industry, agriculture and landscaping - 2006		
Les résultats se situent entre 0.27 et 1.12 euros / m3			
Les fourrages sont peu présents dans la vallée du Jourdain.			
Par contre ils sont exclusifs sur la zone non contrôlée proche de la STEP			

BURKINA FASSO - KOSSODO

	Sur 200 m ²		
revenu mensuel en cfa	50 000		
revenu mensuel en euro	76		
revenu annuel en euro	914		
nb m ³	2 727		
valorisation du m ³ en euro	0.34	on considère qu'il ne rémunère pas la Main d'œuvre	
Sources	Enquête bord champ avec Président du groupement des exploitants du périmètre de la station de Kossodo+ONEA +AFD		
REMARQUES	Une parcelle d'agriculteur varie de 150 à 200 m ² le plan cultural est composé d'épinards (80%) seule culture vendue, et par une grande variété de légumes : courgettes, gombo, haricot feuille aubergine, maïs, pommes de terre, boulenboula, bouivoaka.		
Les revenus annoncés par les agriculteurs sont les valeurs déduites des charges de production, ce qui correspond à la Valeur Ajoutée			

ISRAEL - SHAFDAN

Plan cultural NEGUEV		Haricot Vert	Poivron	Radis	Pomme de terre	Tomate cerise							
Rendements	Tonne/ha	20	70	75	45	70							
Prix de vente export (CIF)	Euros/T	3 850.0	9 400.0	5 850.0	1 800.0	6 250.0							
Prix bord champ	Euros/T	577.5	1 410.0	878.0	270.0	938.0							
Chiffre d'affaire du producteur	Euros/ha	11 550	98 700	65 850	12 150	65 660							
Coûts de production	Euros/ha	5 400	56 400	14 625	4 500	48 098							
Valeur ajoutée	Euros/ha	6 150	42 300	51 225	7 650	17 562							
Volumes consommés par ha	m ³ /ha	5 500	5 500	5 500	5 500	5 500							
Valorisation du m ³	Euros/m ³	1.1	7.7	9.3	1.4	3.2							
Valorisation du m ³ pour un ha moyen		4.5											
Sources : visite des fermes représentatives d'un fort dynamisme.													
+ statistiques des mercuriales de la Chambre de Commerce d'Israël.													
+ Données de CARMEL AGREXCO janvier 2010													
+ Recoupement avec données INRA France													
+ Statistiques de l'agriculture et des pratiques agricoles - Vaucluse PACA													
Coûts de production	Comprennent les intrants, la main d'oeuvre, les couts d'énergie, l'entretien et le fonctionnement des équipements spécifiques												
Remarques	le plan cultural se compose aussi de fraisiers, d'aubergine, de concombre et de fleurs coupées qui sont toutes des cultures à très hautes valeurs ajoutées (identique au moins au Radis) d'autres cultures comme la carotte, la courgette avec des prix de vente plus faibles, sont également présentes dans le Neguev. Elles sont en diminution du fait de leur faible productivité relative												
Hypothèses	La principale hypothèse concerne le plan cultural, il a été retenu en fonction des statistiques de production et d'exportation fournies par CARMEL AGREXCO (principal exportateur d'Israël en produits frais)												
Conclusions	le résultat obtenu est vraisemblablement une moyenne faible du fait de la restriction technique sur le choix des cultures												

ITALIE – SAN ROCCO

Production jour théorique	en m ³	345 600	
Production an	en M m ³		126 144 000
Production réelle	en m ³	282 591	
Production an	en m ³	103 145 715	
Eau agricole disponible	en m ³	11 700 000	11.3%
Besoins en eau / ha - moyenne	en m ³	6 000	
Superficie irriguée	ha	1 950	
Valeur ajoutée moyenne / ha	euros	450	
Valeur de production moy /ha	euros	2 000	
valeur ajoutée agricole par m ³		0.08	
UV			
dépenses supplémentaires énergie		100 000	
dépenses sup pour 1 m ³		0.009	
Vaj moy/ha sources : entretien avec agriculteur + Metropolitana Milanese + Parco Agricolo Sud Milano " Conoscenza e gestione di un territorio agricolo"			
Dépenses supplémentaires en énergie sources: Degrèmont San Rocco			

FRANCE – CLERMONT FERRAND

Rendement mini	Blé Dur	Colza	Pois	Mais semence	Tournesol	Moyenne
Tonage /ha	3.5 T/ha	2.0 T/ha	3.0 T/ha	3.5 T/ha	1.5 T/ha	
Produit Brut (y.c.subvention)	871	628	673	3 512	488	
Coûts Production (y.c. eau)	437	464	320	1 194	119	
Carburant	103	120	116	206	108	
Assurances	92	51	92	179	20	
Total Charges directes	632	635	528	1 579	247	
Valeur Ajoutée	239	-7	145	1 933	241	510
BESOIN EN EAU m ³ /ha				1 352		
Rendement maxi	Blé Dur	Colza	Pois	Mais semence	Tournesol	
Tonage /ha	5.5 T/ha	3.5 T/ha	5.0 T/ha	3.8 T/ha	2.8 T/ha	
Produit Brut (y.c.subvention)	1 271	1 048	1 013	3 512	852	
Coûts Production (y.c. eau)	541	473	450	1 194	324	
Carburant	113	126	128	186	123	
Assurances	92	51	96	179	20	
Total Charges directes	746	650	674	1 559	467	
Valeur Ajoutée	525	398	339	1 953	385	720
BESOIN EN EAU m ³ /ha				1 352	316	572
Valeur ajoutée moyenne	382	196	242	1 943	313	
valorisation brute du m ³				1.44	0.99	sans pondératio eau irrigation
% plan cultural	20%	15%	15%	40%	10%	
Vaj pondérée pour 1 par ha	76.4	29.325	36.3	777.2	31.3	950.525
Vaj moyenne par m ³						1.66

Annexe 8.

Données scientifiques de la recharge de nappe

DONNEES SCIENTIFIQUES DE LA RECHARGE DE NAPPE

LA RECHARGE DES EAUX SOUTERRAINES PAR LES EUT

PROCEDES DE RECHARGE ARTIFICIELLE DES NAPPES PAR LES EUT

Selon leur niveau de technologie, leur objectif, leur facilité de mise en œuvre, le niveau de traitement exigé à l'entrée, leur coût et leur efficacité, on peut classer les procédés de recharge par les EUT en quatre grandes catégories, mais ce sont le plus souvent les conditions hydrogéologiques du terrain qui guident aussi le choix du procédé à mettre en place. Ce sont : i) les systèmes d'infiltration en surface ; ii) les systèmes de traitement sol-aquifère : « Soil Aquifer Treatment » ou SAT ; iii) l'injection dans la zone non saturée ; iv) l'injection directe dans la nappe.

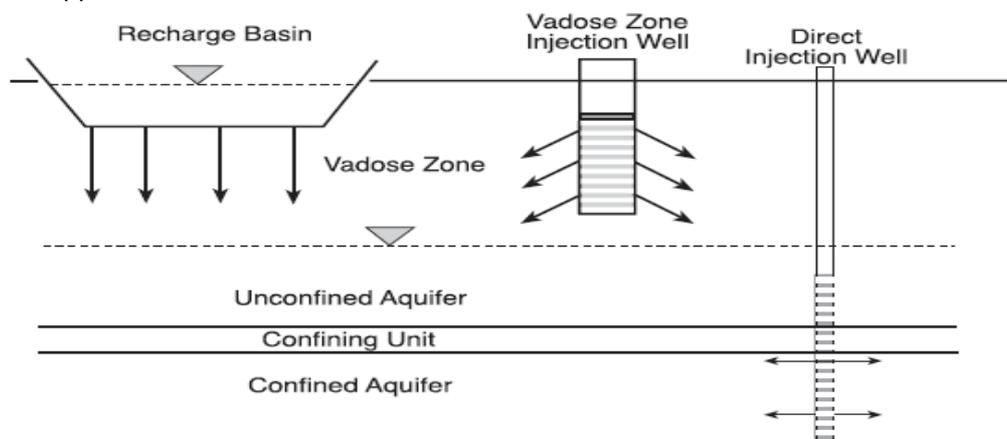


Fig.1 : Principaux procédés de recharge artificielle par les EUT. (D'après USEPA, 2004)

Les systèmes d'infiltration en surface

L'infiltration en surface est un procédé de recharge directe par lequel l'eau est soumise à un processus de filtration à travers la matrice poreuse, entre la surface du sol et la surface de la nappe. Un milieu idéal pour ce type de recharge devrait présenter les caractéristiques suivantes (USEPA, 2004) : i) un taux d'infiltration assez élevé ; ii) l'absence de niveaux qui s'opposeraient au mouvement de l'eau au sein de la zone non saturée ; iii) l'absence d'argiles dans la composition du sol superficiel, qui créeraient des fentes de retrait en surface, sources d'hétérogénéités du massif filtrant ; iv) la présence d'une certaine quantité de particules argileuses pour adsorber les éléments traces et les métaux lourds, et offrir de grandes surfaces spécifiques favorisant la décomposition des microorganismes. Les particules argileuses offrent également une capacité d'échanges d'ions qui retient l'Azote et favorise ses transformations ; v) une source de carbone autochtone qui favoriserait une dénitrification rapide pendant les périodes d'inondation, favoriserait une prolifération microbienne pour lutter contre les agents pathogènes et favoriser la décomposition des matières organiques allochtones (Fox, 2002; Medema et Stuyfsand, 2002; Skjemstad et al, 2002). Le Carbone Organique Total contenu dans l'EUT peut aussi constituer à cet égard une source de Carbone.

Malheureusement, certaines de ces caractéristiques s'excluent mutuellement et l'importance de chacune dépendra de l'objet précis de la recharge. Les caractéristiques hydrogéologiques suivantes contrôlent également et déterminent le processus de recharge par la surface : i) propriétés physiques et perméabilité des formations superficielle ; ii) profondeur de la surface de la nappe ; iii) porosité efficace, épaisseur de la nappe et champ de variation des niveaux ; iv) transmissivités, gradients hydrauliques et système de pompage ; v) structures et barrières lithologiques à la percolation verticale et à l'écoulement dans la nappe ; vi) niveau d'oxydation de l'eau souterraine en place.

Avant une infiltration en surface, une EUT aura généralement subi un traitement secondaire incluant une désinfection et une filtration. L'azote est parfois éliminé pour éviter tout risque de contamination de l'eau souterraine par les Nitrates. Pour un épandage de surface efficace, on doit par ailleurs soigneusement entretenir les aires d'infiltration pour éviter le colmatage. Les techniques d'infiltration en surface comprennent : i) l'épandage de surface, utilisant généralement des lits de cours d'eau intermittents en période d'étiage, ii) les bassins d'infiltration. Si l'épandage de surface est très fréquemment utilisé dans la recharge par les eaux de surface conventionnelles, ce sont les bassins qui constituent le procédé le plus performant et le plus utilisé dans la recharge par les EUT.

Ces systèmes exigent des sols perméables, possédant des vitesses d'infiltration élevées, susceptibles de transmettre les quantités d'eau allouées sans que la zone de percolation sous jacente ne soit entièrement saturée. Les vitesses d'infiltration usuelles en surface varient de 0.3 à 3 m/j, valeurs incluant les effets éventuels de colmatage (Bouwer et Rice, 1984).

Pour une opération optimale, le choix, la conception et la gestion des sites de recharge doivent répondre à certains critères (NAS, 1994):

Colmatage

Se produit par dépôt des matières en suspension au fond des bassins, formant une couche de produits organiques et minéraux (particules argileuses, vases, amas bactériens, algues), dont l'effet est une forte réduction de la perméabilité et des vitesses d'infiltration, obligeant à l'arrêt de la recharge et l'assèchement des bassins. Pour une teneur en MES de 10 mg/l, le cycle des « mise en eau – assèchement » est de l'ordre de 2j-5j à 2 sem-2 semaines. Les systèmes de recharge annuels, comprenant des cycles périodiques de mise en eau, d'assèchement et de nettoyage de l'état de surface, comportent des charges annuelles de 30 à 200 m/an en moyenne (Bouwer, 1882). Le colmatage constitue un puissant bio filtre contribuant fortement au succès des procédés de recharge d'EUT par bassins, par la rétention et l'élimination de fines, de microorganismes, du carbone organique, des nitrates et des substances métalliques.

Hauteur de charge

La hauteur d'eau dans les bassins constitue un important paramètre : une forte charge certes favorise la percolation en première analyse, mais a tendance à comprimer la couche de colmatage, ce qui a pour effet finalement de ralentir l'infiltration (Bouwer et Rice, 1989). Par ailleurs, le rythme des cycles mise en eau – assèchement est plus lent avec de fortes charges, ce qui provoque, avec une plus longue exposition solaire, un développement plus important des algues et du colmatage. Les bassins à faible charge (20 cm) présentent encore l'avantage de pouvoir être vidangés très rapidement pour entamer un cycle d'assèchement.

Profondeur de la surface de la nappe

Cette profondeur doit être suffisante pour que la frange capillaire demeure bien en dessous du fond du bassin d'infiltration, et ne s'oppose ainsi pas au processus de percolation. Par ailleurs et vis-à-vis des EUT, la présence d'une zone non saturée entre la nappe et le fond du bassin est de nature à favoriser les processus d'épuration aérobies et l'élimination des virus.

Les systèmes « Soil Aquifer Treatment »

Les systèmes SAT sont conçus et exploités de sorte que toute l'eau infiltrée puisse être récupérée à travers un réseau de drains ou de puits de pompage. Pour protéger au mieux l'eau de la nappe autochtone contre tout risque de contamination par les eaux usées traitées infiltrées, le SAT est généralement conçu comme un système de recharge-récupération (Recharge Recovery System), où l'intégralité des eaux percolant vers la nappe est reprise dans l'aquifère à l'aide d'une batterie de puits de pompage convenablement implantés (fig. 2).

La zone non saturée, et dans certains cas l'aquifère, joue le rôle de filtre réduisant la concentration en divers polluants au terme de processus physiques, chimiques et microbiologiques. Les MES sont adsorbés, les organiques biodégradables décomposés, les microorganismes sont adsorbés, ou meurent en raison de la compétition avec les autres microorganismes du sol; les concentrations d'azote sont réduites par dénitrification; les composés organiques synthétiques sont adsorbés ou biodégradés; le phosphore, le fluor et les métaux lourds sont adsorbés ou précipités. Ainsi, le SAT constitue une étape importante dans la chaîne des de traitements pour la réutilisation des eaux usées.

Une bonne majorité du SAT se produit dans la partie supérieure de la zone vadose, où les sols sont mieux aérés et possèdent un contenu en matière organique important.

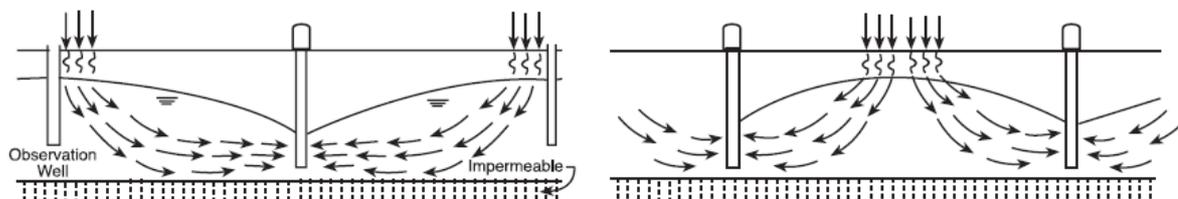


Fig 2...Lignes de courant dans un système SAT de recharge – récupération (Bouwer, 1978)

Injection par puits dans la zone non saturée:

Ce procédé est souvent utilisé pour la recharge par les eaux conventionnelles. Il a été rarement utilisé pour injecter des EUT, les seules réalisations relatives étant celles de la région de Phoenix dans les années 90 (USEPA, 2004).

Injection directe par puits (NAS, 1994):

Lorsqu'il n'existe pas de sols suffisamment perméables en surface ou pas de disponibilités en terrain, ou lorsqu'il existe des niveaux imperméables au sein de la zone non saturée, ou encore lorsque l'aquifère est captif, on pratique la recharge par puits, directement dans l'aquifère. Au delà de leur coût, le principal problème posé par les puits d'injection est leur propension au colmatage, en raison du dépôt de matières en suspension et du développement d'algues au contact avec l'aquifère. Le colmatage des puits est un phénomène plus aigu que celui des bassins : les vitesses de filtration sont ici bien plus fortes, et le décolmatage constitue une opération bien plus complexe. La prévention constitue alors le meilleur remède contre le colmatage : élimination préalable des MES, des nutriments (Azote et Phosphore) et des microorganismes. Les bulles d'air, qui se dégagent en cas de recharge avec une eau plus froide que l'eau de la nappe, sont également une importante cause de colmatage : il y a donc intérêt à ce que les concentrations en air dissous soient minimales dans les eaux de recharge. On peut remédier au colmatage des puits en procédant à des pompages de décolmatage.

D'une manière générale, l'injection par puits nécessite, pour être efficace et durable, un niveau de prétraitement de l'eau extrêmement développé (advanced wastewater treatment, AWT), fournissant une eau ayant les propriétés d'une eau potable

QUALITE DES EAUX DE RECHARGE

D'une manière générale, les propriétés de l'eau qui ont le plus d'influence sur le fonctionnement et l'efficacité des installations de recharge sont les teneurs en matières en suspension, en gaz dissous, en nutriments, la DBO et DCO, la teneur en Sodium (un fort Sodium Absorption Ratio diminue la perméabilité du sol). Mais lorsque l'eau de la nappe est susceptible d'être utilisée comme eau potable, les caractéristiques les plus importantes à considérer concernent ; i) les éléments toxiques, organiques et minéraux, ii) les composés azotés, iii) les organismes pathogènes. Les effets des constituants des eaux usées d'origine domestique sur la santé humaine sont généralement bien connus, sauf en ce qui concerne certains éléments traces et les dérivés des produits pharmaceutiques.

Il existe plusieurs niveaux de traitement pour épurer les eaux usées ; l'annexe 5 reprend la classification de ces niveaux de traitement.

LE REACTEUR SOL – AQUIFERE

Dans un système de recharge par bassin, le rôle assigné à la zone non saturée consiste à éliminer ou réduire les constituants chimiques et biologiques susceptibles de présenter un quelconque risque pour la santé, avant que l'eau rechargée n'atteigne la nappe d'eau souterraine.

Processus de la zone non saturée

La zone vadose est un milieu complexe dont la saturation en eau est partielle, variable dans le temps et dans l'espace. La température varie également dans la couche superficielle, ce qui provoque de fortes variations temporelles des flux hydrodynamiques, et des cinétiques chimiques et biologiques. La zone non saturée se comporte un réacteur aérobie. La biodégradation des produits organiques est un processus aérobie qui survient lorsque les micro-organismes ambiants, responsables de la dégradation, trouvent l'oxygène et les éléments nutritifs dont ils ont besoin pour opérer cette transformation. Dans la zone non saturée, l'afflux et la diffusion verticale d'oxygène à partir de la surface, en période d'assèchement, renouvellent sans cesse l'alimentation en oxygène (Borden et Bedient, 1986). En général, les aquifères de sols sablonneux qui affichent une conductivité hydraulique modérée ou élevée sont propices à une biodégradation aérobie efficace.

Par ailleurs, différents procédés peuvent éliminer les produits chimiques et pathogènes au cours du transfert dans la zone vadose. Certains produits chimiques particulièrement volatiles (Ammoniac, produits BETEX, etc...) peuvent retourner dans l'atmosphère en période d'assèchement, mais sont bloqués et entraînés vers la nappe par les masses d'eau infiltrées ; d'autres se transforment en de nouveaux produits, toxiques ou non, ou sont adsorbés sur des surfaces minérales ou organiques ; ou encore précipitent, etc.... Certains pathogènes de grande dimension comme les parasites, certaines bactéries, ou des colloïdes contenant des contaminants, sont filtrés par les pores les plus fins, un processus qui peut colmater progressivement le milieu et provoquer, à terme si les contaminants ne sont pas biodégradables, l'arrêt complet du système.

Les processus dans la nappe souterraine

Les composés chimiques et les pathogènes, encore présents en solution après la traversée de la zone non saturée, subissent des transformations analogues au sein de l'aquifère saturé, mais d'une manière bien plus limitée ; en effet, l'activité biologique dans la nappe est beaucoup plus lente, ce qui ralentit fortement les réactions de dégradation des composés encore présents.

Propriétés du complexe sol aquifère

Les caractéristiques du sol (zone vadose) interviennent dans les systèmes d'infiltration en surface. La conception et la faisabilité du système nécessite alors de bien connaître les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol : texture, porosité (primaire et secondaire), perméabilité, présence d'argiles et de matière organique, profil de teneur en eau du sol et capacité au champ, profondeur de la frange capillaire et de la nappe et sa variation dans le temps, flux d'alimentation naturelle, vitesse d'infiltration en surface et profonde, flux d'évaporation superficielle et profonde, quantités allouées à la recharge artificielle et qualité des eaux, capacité d'ingestion de l'aquifère au droit du site, existence de produits chimiques indésirables dans la zone vadose, ainsi que la pente du terrain et le système de drainage superficiel.

Les sols possédant une texture grossière sont favorables à une bonne infiltration, mais défavorables au filtrage et à la transformation chimique des constituants indésirables. Une texture intermédiaire (terre sablonneuse) avec une faible présence d'argile, juste assez pour autoriser l'adsorption et la filtration mais pas trop pour assurer une perméabilité acceptable, constitue le meilleur compromis pour un système SAT optimal (Bouwer, 1985).

Le choix final d'un site et la faisabilité de la recharge dépend par ailleurs des critères économiques et de la disponibilité des terrains nécessaires.

Durabilité d'un système SAT

La durabilité d'un SAT se mesure à la capacité du sol et de l'aquifère à recevoir la recharge indéfiniment sans subir d'effets secondaires nuisibles. Dans la zone vadose, le phénomène du colmatage est certes inévitable, mais peut être géré correctement et maîtrisé avec un protocole adéquat d'assèchement périodique pour oxyder la matière organique accumulée et reconstituer le taux d'infiltration.

Parmi les corps qui n'auraient pas complètement disparu de l'eau de recharge avant d'atteindre l'aquifère, les virus représentent les éléments les plus dangereux, on doit donc aménager une trajectoire suffisante entre la zone d'infiltration vers l'aquifère et tout captage susceptible de servir d'eau potable de façon à assurer la neutralisation de l'essentiel de l'activité biologique et minimiser les risques. Quant à l'activité microbienne associée à la recharge, elle peut avoir trois effets : i) les bactéries peuvent croître et induire un colmatage du milieu, avec une réduction graduelle de la conductivité hydraulique ; ii) l'activité microbienne peut générer des substances affectant défavorablement le goût et l'odeur de l'eau récupérée; iii) des organismes pathogènes encore présents dans l'eau parvenant à la nappe peuvent transiter dans l'aquifère et causer des dommages lorsque quand l'eau de la nappe est utilisée à des fins d'eau potable sans désinfection

EFFETS ENVIRONNEMENTAUX ET SANITAIRES D'UN SYSTEME SAT

Au cours d'un processus de type SAT, la cible à éliminer complètement est constituée par les organismes pathogènes, afin que l'eau puisse par la suite servir à des usages d'irrigation non restrictifs. La teneur en azote doit aussi être réduite. Les MES et les éléments biodégradables devraient également être éliminés. Si l'eau rénovée doit être utilisée pour alimenter des plans d'eau récréatifs ou rejetée dans l'eau de surface, le phosphore devrait aussi être supprimé pour empêcher la croissance d'algues dans le milieu récepteur. Les parties suivantes décrivent comment ces constituants peuvent être éliminés ou réduits dans des systèmes SAT (Pescod, 1992).

Matières en Suspension :

Au sortir de la station de traitement, les matières en suspension sont généralement assez fines et se trouvent sous forme organique (boues, bactéries, cellules d'algues, etc). Ces particules solides s'accumulent sur le fond des bassins d'infiltration, nécessitant des périodes de séchage régulières pour retrouver les capacités d'infiltration initiales et un entretien périodique du sol par des opérations de raclage et de grattage du fond. Pour des sables silteux et des silts sableux, peu de particules solides en suspension pourront pénétrer dans le sol et, le cas échéant, sur de courtes distances (quelques cm). Dans des sables de dune et d'autres sols grossiers, des éléments fins et colloïdaux (incluant des cellules d'algues) peuvent pénétrer sur des distances beaucoup plus grandes. Excepté les sables moyens et grossiers uniformes, les sols sont des filtres très efficaces et les MES sont presque entièrement éliminés de l'effluent au bout d'un mètre de percolation par la zone vadose. De plus amples détails concernant l'élimination des MES et le colmatage sont fournis par Pescod (1992), Bouwer (1985) et Bouwer et Chaney (1974).

Composés organiques :

La plupart des composés organiques d'origine humaine, animale ou végétale présents dans l'effluent de la station de traitement sont rapidement décomposés dans le sol. Dans des conditions aérobies (épandage intermittent), la décomposition est plus rapide et complète (sous forme de dioxyde de carbone, de minéraux et d'eau) que dans des conditions anaérobies, ce dernier état caractérisant les profils de sols soumis à une infiltration continue. La DBO5 varie de plusieurs centaines à 1000 mg/l pour des effluents domestiques bruts non traités à environ 10 à 20 mg/l pour des effluents secondaires de bonne qualité. Les systèmes SAT peuvent traiter d'assez fortes charges en DBO : la DBO est quasiment réduite à zéro au bout de quelques mètres de percolation dans un sol aérobie ; mais l'eau sortant d'un SAT contient toujours une petite quantité de carbone organique, de l'ordre de quelques mg/l. Par ailleurs, les hydrocarbures halogénés sont plus résistants à la biodégradation que les hydrocarbures non halogénés (Bouwer et al. 1984; Bouwer et Riz 1984), et certains composés organiques synthétiques sont encore présents à de très faibles doses dans les eaux issues de systèmes

SAT, à des niveaux de l'ordre du ppb (microgr/l), mais ne posent pas de problème lorsque l'eau est destinée à l'irrigation.

Bactéries et virus :

Les organismes pathogènes des effluents domestiques comprennent les salmonelles, shigelles, myobactéries, vibrions cholériques. Les tests de routine ne comprennent généralement pas les tests spécifiques de ces bactéries, mais un comptage systématique des coliformes fécaux. Ainsi, *Escherichia coli* constitue un bon indicateur utilisé pour détecter une contamination fécale de l'eau : sa présence indique généralement celle de bactéries pathogènes humaines. Inversement : si les coliformes fécaux sont absents, alors les pathogènes le sont aussi. Les virus des effluents domestiques comprennent les entérovirus et des adénovirus. Les virus de l'hépatite ont un comportement particulier. La présence de virus dans les eaux issues d'un SAT est mesurée en termes de concentration en groupes ou clusters, exprimée en PFU, ou « plaque-forming units ». Les autres pathogènes des eaux usées comprennent les parasites : protozoaires et helminthes.

Le sol est un filtre efficace pour éliminer les microorganismes des effluents des stations d'épuration (excepté les sols grossiers ou les roches fissurées). Les bactéries sont filtrées, et les virus, plus petits, sont adsorbés. Cette adsorption est favorisée par un faible pH et une forte salinité de l'effluent. Les bactéries et les virus retenus dans le sol ne se reproduisent pas et finissent pas mourir, au bout de quelques semaines à quelques mois ; mais des durées de survie bien plus longues ont été signalées. De nombreuses études indiquent une élimination quasi complète des coliformes fécaux après une percolation dans le sol de un à quelques mètres ; mais des distances de parcours souterrain de microorganismes beaucoup plus longues ont aussi été décrites, généralement associées aux macropores, comme on en trouve dans les formations graveleuses, les argiles craquelées et fissurées, les roches fissurées, etc....La meilleure protection contre la propagation des microorganismes pathogènes dans l'eau souterraine consiste à : i) les réduire dans l'effluent avant l'infiltration, ii) éviter les matériaux grossiers dans les systèmes SAT, iii) favoriser les parcours souterrains sur de longues distances et des temps de séjour importants (Pescod, 1992), Bouwer(1985), Bouwer et Chaney(1974), Gerba et Goyal(1985)).

L'Azote:

Les niveaux d'azote dans les effluents des stations d'épuration varient de 20 à plus de 100 mg/l. L'azote est présent sous forme organique, d'ammonium et de nitrate. Les quantités relatives de ces formes azotées dépendent du type de traitement préalable au SAT. Dans les effluents secondaires, il existe souvent sous forme d'ammonium mais quelques procédés sont conçus pour effectuer une nitrification et l'effluent contient alors essentiellement du nitrate. Les effluents bruts non traités renferment des quantités d'azote considérables. La forme et la concentration d'azote souhaitable dans une eau issue d'un SAT dépend des besoins en eau et en azote des cultures à irriguer, de la nécessité éventuelle d'éviter la pollution des eaux souterraines par les nitrates, et des autres utilisations possibles de l'eau. Un bon contrôle de l'azote dans l'eau produite par un SAT est possible en optimisant les niveaux de charge hydraulique et les cycles de mise en eau et d'assèchement des bassins d'infiltration. Par exemple, si l'azote de l'effluent se trouve sous forme d'ammonium, des périodes d'inondation courtes et un séchage fréquent (2 j/ 5j) provoqueront une nitrification quasi-totale de l'ammonium dans le sol, due à l'aération fréquente du profil de sol et aux conditions aérobies.

Des périodes plus longues (un mois d'inondation pour un mois de séchage) entraîneraient une propagation de l'ammonium jusqu'à la nappe souterraine en raison des conditions anaérobies dans le sol et de l'absence de nitrification. Des périodes intermédiaires (une semaine d'inondation une semaine de séchage) entraînent une succession de conditions aérobies et anaérobies dans la partie supérieure du sol, avec une succession de nitrification et dénitrification. Ce dernier est un processus bactérien anaérobie qui réduit le nitrate pour libérer de l'azote gazeux et des oxydes d'azote qui retournent à l'atmosphère. Ce procédé a permis d'éliminer près de 75 % de l'azote de l'effluent dans un système SAT en Arizona : la totalité de l'azote parvenant à la nappe se trouve sous forme de nitrate. La dénitrification nécessite la présence de nitrate et de carbone organique (source d'énergie pour des bactéries dénitrificatrices) dans des conditions anaérobies. Le lecteur trouvera plus de précisions à ce sujet dans Bouwer (1985) et Bouwer et Chaney (1974).

Le Phosphore:

L'effluent des stations d'épuration renferme de 5 à 50 mg/l de phosphore, selon le contexte local. Durant le prétraitement des effluents et lors du passage par le sol du système SAT, le phosphore organique est biologiquement converti en phosphate. Dans des sols calcaires et au pH alcalin, le phosphate précipite avec le calcium pour former le phosphate de calcium. Dans des sols acides, le phosphate réagit avec des oxydes de fer et d'aluminium dans le sol pour former des composés insolubles. Parfois, le phosphate est initialement immobilisé par adsorption, puis retourne aux formes insolubles, permettant plus d'adsorption de phosphate mobile. Dans des sables propres et un pH neutre, le phosphate peut être relativement mobile. On trouvera d'autres informations dans Bouwer (1985) et Bouwer et Chaney (1974).

Les Eléments traces et les sels

Les effluents des stations contiennent bien d'autres produits chimiques à de faibles concentrations notamment des métaux lourds, du fluor et du bore. A moins que ces éléments ne soient déjà présents à de fortes concentrations dans l'eau potable ou dans des eaux industrielles rejoignant le réseau municipal, leurs concentrations dans les effluents des stations urbaines sont généralement inférieures aux doses maximales admises pour l'eau d'irrigation (FAO 1985). Les métaux sont retenus par la plupart des sols. Le fluorure peut former du fluorure de calcium, qui a une solubilité très faible dans le sol et est aussi adsorbé par divers composants du sol, particulièrement les hydroxydes d'aluminium. Le bore est mobile dans les sables et les graviers, mais peut être adsorbé par l'argile. Ainsi, les systèmes SAT peuvent réduire d'une manière significative les concentrations des oligoéléments présents dans les effluents des stations d'épuration.

La salinité des effluents des stations urbaines est généralement de plusieurs centaines de mg/l plus élevée que celle de l'eau potable. Dans les systèmes SAT, généralement formés de sols sableux, les lames d'eau appliquées sont bien plus importantes que les pertes par évaporation. La salinité des eaux issues d'un système SAT devrait être du même ordre de grandeur (ou légèrement plus élevée) que celle de l'effluent. Si le sol est riche en argiles ou en matière organique, il y a adsorption de cations et échange d'ions à la première mise en eau, mais la composition ionique de l'eau issue du SAT est essentiellement la même que celle de l'effluent utilisé pour la recharge : les systèmes SAT n'éliminent pas les sels des effluents (Pescod, 1992).

CONDITIONS REQUISES POUR LA RECHARGE PAR LES EUT

La qualité de l'eau extraite d'un aquifère rechargé par des EUT dépend généralement :

- de la qualité de l'eau rechargée et du niveau de traitement subi
- du procédé de recharge utilisé
- des propriétés physiques de la zone non saturée et de l'aquifère
- du temps de séjour de l'eau dans ces deux précédents milieux
- du niveau de mélange éventuel avec des sources d'eau conventionnelles

Il est important de savoir déterminer à quel niveau l'eau doit-elle être caractérisée avec précision et soumise à réglementation (F.Brissaud, 2003) : au niveau de l'utilisateur, au niveau du prélèvement dans l'aquifère, ou avant la recharge ? En tout état de cause, les conditions requises pour la recharge par les EUT dépendent essentiellement de l'usage final de l'eau. Deux catégories apparaissent selon que l'eau soit finalement potable ou non potable.

Recharge pour un usage indirect d'eau potable:

La recharge artificielle par les EUT pour un usage indirect d'eau potable constitue une option mise en œuvre dans plusieurs régions du monde et notamment aux USA (West Basin, Orange County, Tucson par exemple, St André en Belgique). Dans ce cas, la recharge ne doit pas dégrader la qualité de l'eau souterraine, ni nécessiter un traitement supplémentaire des eaux prélevées. Excepté le cas de l'Australie (NWQMS, 1995), les réglementations relatives à la qualité des eaux de recharge ne tablent pas sur la capacité d'épuration de l'aquifère pour éliminer les polluants en vue d'atteindre une qualité d'eau acceptable, et l'eau de recharge atteignant la zone saturée de l'aquifère devrait d'ores et déjà avoir acquis un niveau de qualité acceptable pour l'eau potable (F.Brissaud, 2003). Si la recharge est directe, l'eau injectée doit être potable et, à ce titre, respecter strictement les normes de potabilité locales.

Les conditions à remplir dans les cas de recharge indirecte sont plus complexes. La qualité de l'eau infiltrée peut être très sensiblement améliorée lors de la percolation à travers la zone non saturée, grâce aux processus d'adsorption et d'oxydation. Ces processus affectent la matière organique, les nutriments, les microorganismes, les lourds métaux et les polluants organiques à l'état de traces. Mais bien que la connaissance de ces processus ait beaucoup progressé (Bouwer, 1996; Drewes et Jekel, 1996), il est encore difficile de prévoir avec précision l'efficacité du traitement du à l'infiltration dans la zone non saturée. Ce mécanisme dépend en effet d'un grand nombre de facteurs : profondeur de la zone non saturée, caractéristiques physiques et minéralogiques du sous sol, hétérogénéité, charge hydraulique, calendrier et cycle des infiltrations, qualité de l'eau infiltrée.

Lorsque le transfert par la zone non saturée fait partie intégrante du procédé de traitement de l'eau, il est généralement recommandé de procéder au cas par cas (F.Brissaud, 2003). Chaque grand projet doit en effet être précédé par des essais de percolation en laboratoire et in situ, et chacun des polluants à considérer doit être étudié d'une manière spécifique. L'exemple du projet de Dan en Israël semble montrer que l'alimentation d'un système SAT, composé de sables dunaires homogènes, par des effluents secondaires, peut aboutir à la production d'une eau de qualité presque potable (Sack et al, 2001), mais on ne saurait recommander d'alimenter un champ captant destiné à l'eau potable avec ce même type de traitement : un niveau supplémentaire de décontamination microbienne par désinfection, serait alors nécessaire pour obtenir une qualité d'eau potable dans l'aquifère. D'ailleurs, les eaux extraites de la nappe de Dan sont elles mêmes désinfectées par chloration avant leur utilisation pour une irrigation non restrictive.

Recharge pour la production d'eau non potable:

La qualité de l'eau extraite de la nappe devrait alors respecter scrupuleusement les normes relatives à l'utilisation donnée de l'eau. Dans les normes de réutilisation relatives à la santé, l'élimination des microorganismes pathogènes constitue l'enjeu majeur. En cas de recharge directe, l'eau de recharge doit elle même avoir un niveau de traitement suffisant. Dans ce cas, les MES et la matière organique doivent avoir été radicalement réduits pour éviter le colmatage des puits d'injection.

La recharge indirecte exige un niveau de traitement moins élaboré, et le système SAT constitue généralement un traitement approprié pour atteindre la qualité de l'eau exigée, à condition qu'il soit correctement conçu et géré. Mais la prédiction de la qualité de l'eau parvenant à la nappe est souvent difficile, principalement en raison de la grande hétérogénéité des couches du sol. Une investigation précise des caractéristiques hydrauliques des couches de sol situées au droit du site d'infiltration et des essais d'infiltration sur place sont alors nécessaires, sauf peut être dans le cas de sables dunaires, généralement homogènes. Lorsque le sous sol est fortement perméable, ou hétérogène, il n'est pas en mesure d'assurer le traitement exigé ; la percolation à travers des lits de sable calibré remplissant le fond de bassins aménagés à la surface du sol peut alors être utilisée comme un niveau de traitement préalable avant la filtration par la zone non saturée en place (Brissaud et al, 1999 ; Brissaud, 2003).