



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Civil et d'Hydraulique

MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies
hydraulique
Hydraulique Urbaine

Réf. : HU47

Présenté et soutenu par :
Debabeche ishak

Le : mardi 26 juin 2018

Etude de l'impact de la réutilisation des eaux usées épurées sur la gestion et la préservation de la ressource en eau conventionnelle dans le sud algérien -cas de la région d'el-kantara-

Jury :

M.	Bedjaoui ali	MCA	Université de Biskra	Président
M.	Guergazi saadia	Pr	Université de Biskra	Examineur
M.	Masmoudi rachid	MCA	Université de Biskra	Rapporteur

DÉDICACES

Je dédie ce modeste mémoire qui est la conséquence de longues années d'études, en premier lieu à :

- ❖ Mon cher père qui ma donné la volonté de réaliser et de finir ce travail*
- ❖ Ma très chère mère qui est le symbole du sacrifice et de tendresse.*
- ❖ Ma très chère fiancée qui ma donné la volonté de réaliser et de finir ce travail*
- ❖ Tous mes frères et soeurs.*
- ❖ Tous les amis intimes de la promotion de l'hydraulique urbain ; khaled , najib , mohamed et tous*
- ❖ Tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin à réaliser ce travail.*
- ❖ tous ceux qui me sont chers et proches,*
- ❖ Je dédie également ce travail à tous mes amis avec lesquels je partage tous les souvenirs inoubliables chaouki ,nadhira ,ossama et rachid*

REMERCIEMENTS

Avant tout, je remercie DIEU qui a illuminé mon chemin et qui m'a armé courage pour achever mes études.

A l'issue de cette étude, Je tiens à exprimer mes vifs remerciements à toutes les personnes qui m'ont aidé tout au long de mon travail ;Ma reconnaissance va plus particulièrement à :

- ❖ Un grand remerciement à mon cher encadreur : Mr.masmoudi rachid pour sa précieuse assistance plein de sincérité et d'une volonté seine de me transmettre toutes ses connaissances se rattachant à mon travail.*
- ❖ Je suis également reconnaissant aux membres de Jury qui ont bien voulu examiner et discuter mon travail ; je les en Remercie vivement .*
- ❖ Je remercie Mr bentaleb mohamed Ingénieur hydraulicien pour leur aides .*
- ❖ Je remercie L'ensemble des enseignants qui m'ont suivi durant mon cycle d'étude surtout M^{onsieur} DEBABECHE MAHMOUD professeur en hydraulique et M^{onsieur} bouzien toufik professeur en hydraulique*
- ❖ Enfin,je voudrais souligner les contributions efficaces de tous mes Proches et Amis qui,à des titre divers,m'ont aidé et soutenu moralement,tout au long de la préparation de cette thèse.Ce soutien moral est d'autant plus important que la rédaction d'une thèse . Je les remercie encore une fois.*

Listes des figures

- Figure1-1** :Les projections calculées par le FAO du stress hydrique et de la pénurie dans plusieurs régions du monde en 2006. Tirée de PNUD, 2006, p. 136**p :6**
- Figure 3-1** : Répartition du taux de comblement annuel des grands barrages dans les bassins hydrographiques (*Remini et Hallouche, 2003*).....**p :16**
- Figure 3-2** : Evolution de l'évaporation dans les barrages algériens (39 barrages).
Légende : A.E.P : Adduction en eau potable, Irr. : Irrigation, I : Industrie.....**p :17**
- Figure 3-3** : Variation des débits de fuites dans les barrages algériens (22 barrages).....**p :19**
- Figure 4-1** : Situation géographique de la région d'étude.....**p :24**
- Figure 4-2** : Situation du sous bassin versant de Oued El-Hai par rapport aux grands bassins versants de l'Algérie.....**p :25**
- Figure 4-3** : Réseau hydrographique de la région d'El kantara.....**p :26**
- Figure 4-4** : Réseau hydrographique du bassin versant de Oued El-Hai.....**p :27**
- Figure 4-5** : Proposition et dimensionnement d'un système de phyto épuration du village Rouge commune El Kantara W.de Biskra.....**p :30**
- Figure 4-5** : Rejet du village rouge.....**p :30**
- Figure 4-6** : Origine des eaux usées analysées.....**p :31**

Listes des tableaux

- Tableau 4-1:** Résultats des analyses des eaux usées du rejet du village rouge.....p :31
- Tableau 4-2 :** la température hivernale de l'air.....p :32
- Tableau5-1 :**Directives concernant la qualité microbiologique des eaux usées utilisées en agriculture. Modifié d'OMS, 1989, p. 38.p :36
- Tableau5-2 :**Exposition et risques de contamination par les composés chimiques qui se trouvent dans les eaux d'irrigation. Tiré de Weber and al., 2006, p. 57..... p :37
- Tableau 5-3 :** Recommandations au niveau microbiologique pour la réutilisation des eaux usées épurées en agriculture appliquées en l'Algérie(JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE, 2012)p : 38
- Tableau 5-4 :**Limites recommandées en éléments traces dans les eaux usées épurées destinées a l'irrigation (JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE, 2012).....p :39
- Tableau 5-5 :** Grille d'évaluation de l'impact sur l'environnement.....p :42
- Tableau 5-6 :** L'épargne économique due à la réutilisation des eaux traitées en \$/ha. Modifié de Environmental Alternatives Unlimited and al., 2004, p. 17.....p :43
- Tableau 5-7 :** Grille d'évaluation de l'impact sur la société.....p :45

Table des matières

Introduction.....p :1

CHAPITRE I : NOTIONS GENERALES SUR LA REUTILISATION DES EAUX USEES EN AGRICULTURE

1-1 : Introduction.....p : 3

1-2 : Définitionp : 3

1-3 : Historique de la réutilisationp : 3

1-4: Problématique des eaux dans les pays en développementP : 5

1-5: Modes de réutilisation des eaux usées traitéesp :6

1-6 : Risques de la réutilisation des eaux uséesp : 8

1-6-1: Risque sanitaire p : 8

1-6-2 :Le risque environnemental p :8

1-7 : Conclusionp:10

CHAPITRE II : ENJEUX DE LA RÉUTILISATION DES EAUX USÉES

2-1: Enjeux sociaux.....p: 11

2-2: Enjeux environnementaux.....p: 12

2-3: Enjeux économiques.....p: 13

CHAPITRE III : SITUATION DES EAUX USÉES

3-1 : Introductionp :15

3-2 : Problématique de l'eau en algériep :15

3-2-1 : les principaux problèmes hydrauliques en algériep :15

3-3 : potentiel d'eau usée en algériep :20

3-4 : Situation De l'irrigation En Algérie p :20

3-5 : Situation de la reutilisation des eaux usees en Algériep :21

3-6 : Traitement des eaux usées en AlgérieP :22

CHAPITRE IV : PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

4-1 : Introduction	p :23
4-2 : Localisation	p: 23
4-3 : Ressources en eau	p: 26
4-4 : La population	p: 27
4-5 : -Industrie	p: 28
4-6 : Caractéristiques édaphiques	p: 28
4-7 : l'agriculture	P : 28
4-8 : station de Phytoépuration du village rouge (EL-kantara)	p :29
4-8-1 : Introduction	p :29
4-8-2 : Classification des systèmes d'écoulement	p :29
4-8-3 : Dimensionnement de la station de Phytoépuration du village rouge	P :30
4-8-3-1 : Situation Actuelle du Village rouge	p :30
4-8-3-2 : Caractéristiques physico-chimiques des eaux usées	P :30
4-8-3-3 : Données numériques du Village Rouge	p :31
4-8-3-4 : Première variante (système horizontal)	p :32
4-8-3-5 : Deuxième variante (Système hybride)	p :32
4-9 : Conclusion	p :33

CHAPITRE V : ÉVALUATION DE LA RÉUTILISATION DES EAUX USÉES

5-1 : Introduction	p :34
5-2:Normes de la réutilisation des eaux usées	p :34
5-2-1 : Normes de l'OMS	p :34

5-2-2 : Contexte réglementaire algérien	p :37
5-3 : Évaluation de l'impact de la réutilisation des eaux usées	p :40
5-3-1 : Impact sur l'environnement	p :40
5-3-2 : Impact sur l'économie	p :43
5-3-3 : Impact sur le social	p :44

CHAPITRE VI : CRITIQUE ET RECOMMANDATIONS

6-1 : Avantages de la réutilisation et recommandations socio-économiques	P :46
6-1-1 : Avantages environnementaux	P :46
6-1-2 : Avantages économiques	P :46
6-1-3 : Avantages sociaux	p :47
6-2 : Recommandations environnementales	P :47
6-2-1 : Oxygénation	P :47
6-2-2 : Récupération du méthane	P :48
6-2-3 : Valorisation des boues	P :48
6-3 : Recommandations relatives à la sécurité	P :49
6-3-1 : Informations relatives à la sécurité structurelle	P :49
6-3-2 : Informations relatives à la sécurité des personnes	P :49
6-4 : Sensibilisation des agriculteurs	P :50

RESUME :

En Algérie, les éléments d'une crise environnementale sont perceptibles, que ce soit au nord ou bien au sud. Il est temps donc d'envisager de nouvelles stratégies de planification, de préservation et de gestion des ressources en eau et enfin la protection de l'environnement, l'ensemble représente la base du développement durable pour un pays en voie de développement.

Le projet d'épuration des eaux usées, vient de la nécessité de protection des ressources hydriques de la région et de la santé publique.. A cet effet, la présente étude a été élaborée pour palier à ce problème et de proposer une nouvelle technique d'épuration sans dépense d'énergie et pouvant s'intégrer au tissus urbain sans aucun problème d'impact sur le paysage.

La phytoépuration est une nouvelle technique d'épuration qui n'a pratiquement jamais été utilisée en Algérie.

Cette technique d'épuration est caractérisée par le fait que l'eau vient couler lentement et sous conditions contrôlées à l'intérieur de milieux végétales, de façon à en favoriser la dépuratation naturelle, qui s'effectue à cause du processus d'aération, sédimentation, absorption et métabolisation de la part des microorganismes et de la flore .

À la fin de l'étude, nous avons présenté quelques recommandations et des avantages concernant le processus de traitement des eaux usées par la methode de phytoépuration

ملخص

في الجزائر ، تكونت عناصر أزمة بيئية واضحة ، سواء في الشمال أو في الجنوب. ولذلك فقد حان الوقت للنظر في استراتيجيات جديدة لتخطيط الموارد المائية وحفظها وإدارتها ، وفي النهاية حماية البيئة ، يمثل هذا أساس التنمية المستدامة لبلدنا.

يأتي مشروع معالجة مياه الصرف الصحي من الحاجة إلى حماية الموارد المائية في المنطقة والصحة العامة ، ولهذا الغرض ، تم تطوير الدراسة الحالية للتغلب على هذه المشكلة واقتراح تقنية جديدة لتنقية المياه. التنقية دون إنفاق الطاقة ويمكن دمجها في النسيج الحضري دون أي مشكلة تؤثر على المشهد

التنقية الطبيعية هو تقنية معالجة جديدة بالكاد تم استخدامها في الجزائر وتتميز هذه التقنية من حقيقة أن المياه تتدفق ببطء وتحت ظروف خاضعة للرقابة داخل المجتمعات النباتية، وذلك لتعزيز التنقية الطبيعية، والذي يحدث بسبب عملية التهوية، الترسيب ، والاستيعاب والتمثيل الغذائي من الكائنات الحية الدقيقة والنباتات

في نهاية الدراسة، قدمنا بعض التوصيات والفوائد فيما يتعلق بعملية معالجة مياه الصرف الصحي من خلال طريقة التنقية الطبيعية

Introduction

Introduction:

Le problème de l'eau se pose avec acuité aussi bien au Nord qu'au Sud, chez les uns en terme de qualité, chez les autres en terme de quantité.

L'accroissement démographique, les activités anthropiques et les changements climatiques exercent une grande pression sur la ressource «eau ». Celle-ci diminue à cause de la surexploitation des nappes, de la pollution des lacs et des rivières, etc. Pour disposer de plus d'eau douce pour les usages industriels et d'eau potable, l'agriculture, qui consomme près de 70% de toute l'eau douce utilisée, doit réutiliser davantage les eaux usées en irrigation. Cette réutilisation permet, en plus de l'eau, d'apporter des fertilisants et de la matière organique.

La réutilisation des eaux usées a toujours existé, mais elle a toujours été traitée d'une façon monodisciplinaire, le seul critère retenu étant la santé humaine. Toutes les normes de l'OMS ont été élaborées dans un souci sanitaire. Celles-ci ont été d'une part contraignantes, car difficile à respecter par les pays en voie de développement et, d'autre part, ont posé le problème d'acceptabilité sociale (image négative d'une eau considérée dangereuse).

L'Algérie est un pays où les structures d'épuration des eaux usées sont modestes car la quasi – totalité des stations destinées à résorber ce problème sont à l'arrêt. Au niveau des villes, sur 600 millions de m³/an, 540 millions de m³/an sont déversés dans la nature. Au niveau du monde rural, la situation est plus grave, faute d'équipement d'assainissement.

Entre 3000 et 4000 cas de maladies à transmission hydrique dues aux eaux usées sont enregistrées annuellement au niveau national. Selon un représentant du ministère de la santé, 80 % des cas de contamination de l'eau sont dus à la pollution fécale. Autre problème du rejet des eaux usées vers la mer, est dû à l'implantation des stations de dessalement le long du littoral qui seront confrontées à la pollution de l'eau de mer.

Afin de remédier à ce problème, l'étude suggère de valoriser la possibilité de la réutilisation des eaux usées, épurées par filtres plantés (Phyto-épuration) pour l'irrigation en agriculture. Selon la littérature, le procédé d'épuration par les plantes est considéré dans certains cas comme plus avantageux que les techniques classiques d'épuration. Cette technique entre dans le cadre de la gestion des ressources en eaux non conventionnelles. C'est une technique écologique durable qui respecte l'homme et la nature, car elle peut être intégrée dans le milieu urbain sans problèmes d'impact sur le paysage.

Introduction

Le processus d'épuration naturelle des eaux usées est effectué d'un ensemble de réactions physico-chimiques et biologiques effectuées par les micro-organismes et les plantes sur les polluants présents dans ces eaux. Celui-ci est défini par le terme "PHYTOEPURATION ". Parmi les systèmes de phytoépuration on distingue:

- le système à écoulement "sous-superficiel" dans lequel le bassin est submergé en permanence en eau à épurer,
- le système à écoulement "superficiel" dans lequel le bassin est submergé en permanence en eau à épurer
- et le système "flottant", où les plantes sont soutenues par des structures flottantes adaptées, avec des racines libres en travers de l'écoulement d'eau à épurer.

Selon la littérature, le système de phytoépuration à écoulement sous-superficiel est considéré comme étant le plus développé. Il est mis en oeuvre dans des bassins étanches remplis d'un matériau perméable et inerte, dans lequel sont plantées des végétaux. Il peut être à écoulement horizontal ou vertical. L'acte d'épurer est réalisé principalement par des micro-organismes qui vivent en symbiose avec les plantes. Ces micro-organismes soit en aérobie ou en anaérobie, mettent en place une série de réactions chimiques et physiques permettant la dégradation des polluants

1 : NOTIONS GÉNÉRALES SUR LA REUTILISATION DES EAUX USEES EN AGRICULTURE :

1-1: Introduction :

L'eau usée traitée à l'aval des systèmes d'assainissement urbains représente une eau renouvelable non conventionnelle, qui pourrait être une source attrayante et bon marché à employer en agriculture, au voisinage des centres urbains. Cependant, en raison de la nature variable de cette eau (sa charge en constituants minéraux, organiques et biologiques) ; sa réutilisation devrait être gérée soigneusement, surveillée et contrôlée par des spécialistes afin de vérifier les risques et menaces potentiels sur les usagers, le sol, et les cultures irriguées avec elle, ainsi que sur l'environnement dans son ensemble.

En Algérie l'utilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation des terres agricoles est encore à l'état « embryonnaire » et ne se pratique que sur de très faibles superficies et souvent à titre expérimentale. Aussi l'installation des stations d'épuration en aval des réseaux existants constitue non seulement une des solutions pour la protection de nos ressources en eau, du milieu naturel et par conséquent de l'environnement, mais peut également constituer un apport non négligeable pouvant satisfaire les besoins agricoles.

1-2 : Définition :

Selon Valiron et al. (1983), la réutilisation de l'eau est définie ainsi: « La réutilisation est une action volontaire et planifiée qui vise la production des quantités complémentaires en eau pour différents usages afin de combler des déficits hydriques ». La réutilisation des eaux usées pour l'irrigation est particulièrement intéressante dans les pays qui ont des ressources hydriques faibles avec présence de saisons sèches et où la compétition avec l'eau potable est très marquée. Dans ces pays, l'irrigation de cultures ou d'espaces verts constitue donc la voie de l'avenir pour la réutilisation des eaux usées urbaines traitées, à court et à moyen termes.

1-3 : Historique de la réutilisation :

La réutilisation des eaux usées est une pratique très ancienne. Au milieu du 19^{ème} siècle, de nombreuses villes d'Amérique du nord et d'Europe ont adopté l'irrigation des cultures comme moyen d'éliminer leurs eaux résiduaires (Mara et Cairncross, 1991). La raison essentielle était d'empêcher la pollution des cours d'eau et non l'amélioration de la production agricole.

Echelle mondiale :

Pendant les dernières années, la réutilisation des eaux usées a connu un développement très rapide avec une croissance des volumes d'eaux usées réutilisées de l'ordre de 10 à 29 % par an, en Europe, aux États Unis et en Chine, et jusqu'à 41 % en Australie. Le volume journalier actuel des eaux réutilisées atteint le chiffre impressionnant de 1,5-1,7 millions de m³ par jour dans plusieurs pays, comme par exemple en Californie, en Floride, au Mexique et en Chine (LAZAROVA et BRISSAUD, 2007).

Il est bien évident, que la réutilisation des eaux usées (rejets bruts ou traités) a connu une promotion à travers le monde entier, sur la base de vraies expériences (BELAID, 2010) :

En Amérique : Aux États-Unis, 34 états disposent de réglementations ou de recommandations relatives à l'usage agricole des eaux usées (Ecosse, 2001). Les grandes réalisations sont en Californie où les eaux usées sont utilisés pour irriguer le coton, la luzerne, le maïs, l'orge et la betterave à sucre et en Floride, où en plus des parcs et des golfs, 3000 ha de cultures et de pépinières sont irriguées par les eaux usées traitées. Au Mexique, les eaux usées brutes de Mexico sont réutilisées pour l'irrigation agricole dans le cadre d'un plus grand projet d'irrigation (irrigation de 90 000 hectares de maïs, d'orge et de tomates). Pour l'ensemble des villes mexicaines la superficie irriguée par les eaux usées brutes est de l'ordre de 250 000 ha (Mara et Cairncross, 1991)

En Méditerranée : La réutilisation agricole des eaux usées a toujours existé sur le pourtour sud de la Méditerranée. En effet, le bassin méditerranéen est une région où la pénurie d'eau est particulièrement ressentie. La Tunisie est le premier pays de l'Ouest méditerranéen à avoir adopté des réglementations en 1989 pour la réutilisation de l'eau (Bahri, 2002). On compte environ 6400 hectares irrigués par les eaux usées traitées dont presque 70% sont situés autour de Tunis (grand centre urbain), lieu de production des eaux usées. Les cultures irriguées sont les arbres fruitiers (citrons, olives, pommes, poires etc.), les vignobles, les fourrages (luzerne, sorgho), le coton, etc.

En Australie : L'Australie est un continent sec. L'intensité des précipitations est très variable dans l'espace puisqu'un quart du continent concentre 80% des précipitations. Le plus ancien périmètre irrigué au monde se trouve à Melbourne (créé en 1897) et il comporte 4000 ha (Mara et Cairncross, 1991). Essentiellement, les eaux usées brutes servent à irriguer les pâturages

En Chine et en Inde La Chine et l'Inde, deux pays très peuplés et qui risquent d'être en stress hydrique dans la prochaine décennie, pratiquent à grande échelle la réutilisation des

eaux usées en irrigation agricole. Pour l'ensemble des villes chinoises, on compte 1 330 000 ha irrigués par les eaux usées. Pour l'Inde, le total s'élève à 73000 ha (Mara et Cairncross, 1991).

1-4 : Problématique des eaux dans les pays en développement :

En plus de son rôle vital dans la vie humaine, l'eau joue un rôle très important dans le développement économique de plusieurs pays, où l'agriculture est considérée comme une activité dominante et primordiale. Actuellement, certains pays vivent un état économique critique, car les ressources en eau sont de plus en plus rares. Cette situation délicate est due principalement au manque d'une gestion intégrée des ressources en eau (Fernandez et al., 2004). Toutefois, il n'y a pas que la mauvaise gestion de l'eau qui est responsable de cette situation, mais aussi d'autres facteurs comme : l'intensité de l'irrigation agricole, la croissance démographique et les changements climatiques qui exercent également une grande pression sur les ressources en eau. Certains pays en développement (PED) connaissent une croissance démographique élevée, ce qui les oblige à augmenter leur activité agricole pour répondre aux besoins à la fois alimentaires et économiques. Cette agriculture intense a engendré des impacts significatifs sur l'environnement, surtout dans les pays où l'agriculture irriguée et la surexploitation des ressources en eaux souterraines sont très présentes. En fait, l'agriculture est une activité qui demande de l'eau en grande quantité, sachant que les prélèvements faits par elle, atteignent en moyenne 63 % des eaux prélevées pour l'ensemble des usages (résidentiel, agricole et industrie). L'agriculture peut même utiliser jusqu'à 90 % des eaux consommées dans certains pays méditerranéens (Fernandez et al., 2004). De plus, l'usage de l'eau dans d'autres secteurs comme la production énergétique et industrielle, peut aggraver la situation en rendant l'eau agricole de moins en moins disponible. En réalité, l'eau n'est pas totalement rare dans ces pays, elle est simplement mal répartie. Les pays d'Amérique latine ont 31 % des ressources mondiales d'eau douce, soit 12 fois plus d'eau par personne que les habitants de l'Asie du Sud (PNUD, 2006). En effet, on distingue trois situations critiques en ce qui concerne la disponibilité de l'eau. Premièrement, lorsqu'il y a moins de 1700 m³ d'eau disponibles par habitant par an, on parle d'un stress hydrique. Deuxièmement, avec moins de 1000 m³ /personne/an, on parle d'une pénurie d'eau, tandis qu'une quantité de moins de 500 m³ /personne/an représente une pénurie absolue (PNUD, 2006). Actuellement, plusieurs pays vivent soit un stress ou une pénurie qui, selon les experts, ont plus d'impacts lorsqu'ils sont soutenus par des conditions climatiques rudes et fermes,

comme dans le cas des climats arides et semi-arides. Le graphique de la figure montre des projections qui prévoient un stress hydrique et une pénurie, surtout dans l'Afrique subsaharienne et dans les États arabes.

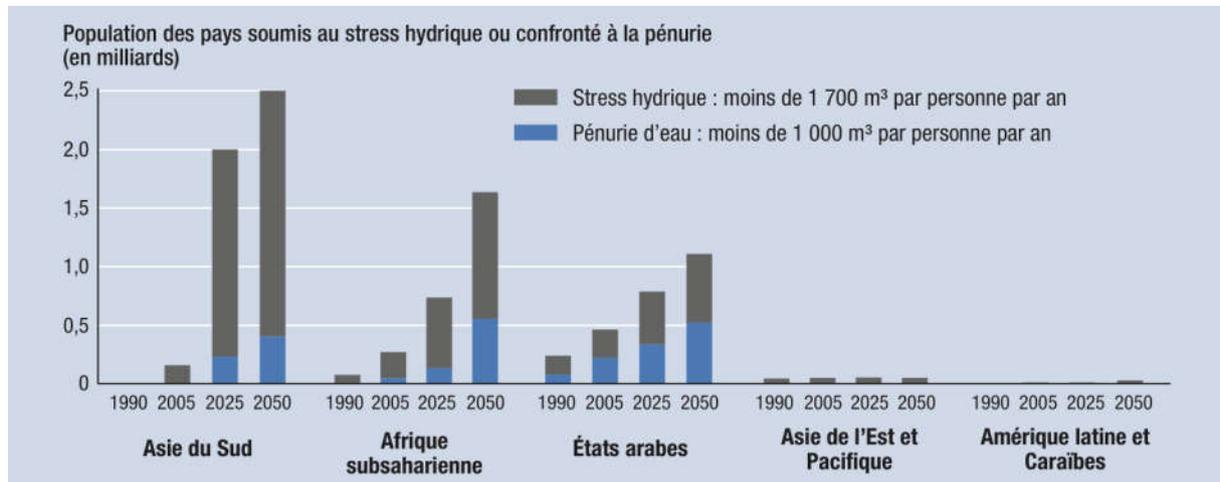


Figure 1-1 : Les projections calculées par le FAO du stress hydrique et de la pénurie dans plusieurs régions du monde en 2006. Tirée de PNUD, 2006, p. 136

Donc, afin de préserver les ressources en eau, certains pays, dont l'Algérie, devront trouver des alternatives aux eaux propres, surtout dans le secteur agricole où la consommation est très forte. Dès lors, la réutilisation des eaux usées après leur traitement apparaît comme une solution qui peut réduire la pression par les autres besoins ou usages, qu'ils soient : domiciliaire, industriel ou énergétique

1-5: Modes de réutilisation des eaux usées traitées :

La réutilisation des eaux usées est répandue dans le monde entier avec plusieurs types de valorisation. Il existe des milliers de projets utilisant des eaux usées (Boxio et al. 2008), mais dans la plupart des cas, les eaux usées sont utilisées à l'état brut ou après un traitement minimal, et pratiquement aucune mesure n'est prise pour protéger la santé (OMS, 1989).

Les différents types de réutilisation sont :

A. Usage en agriculture

La majorité des projets de réutilisation des eaux usées concernent des utilisations agricoles, la réutilisation pour l'irrigation est essentiellement présente dans les pays réputés agricoles mais dont les ressources hydriques sont faibles (Lazarova, 1998).

B. Usage en aquaculture

Une production de poissons à grande échelle avec des EUT est également réalisée aux Etats Unis. La plupart des étangs de loisirs qui utilisent les EUT aux Etats Unis permettent généralement la pêche. Quand des poissons sont pêchés dans ces étangs et sont destinés à la consommation humaine, la qualité du traitement des eaux doit être minutieusement évaluée (qualité chimique et microbiologique) afin d'éviter la bioaccumulation de contaminants toxiques à travers la chaîne alimentaire. Ainsi, les recommandations de l'OMS, 1989, exigent un nombre de coliformes totaux de 103 germes/100mL et l'absence d'oeufs de nématode(Lazarova, 1998).

C. Usage industriel

La réutilisation industrielle des eaux usées est désormais une réalité technique et économique. Pour certains pays, l'eau recyclée fournit 85 % des besoins globaux en eau pour l'industrie (OMS, 1989). Les plus grands secteurs consommateurs de l'eau sont les centrales thermiques et nucléaires (eau de refroidissement) et les papeteries. La qualité de l'eau réutilisée est réglementée et dépend du type d'application ou de production industrielle (USEPA, 2004).

D. Usage urbain et périurbain

Les usages urbains et périurbains des eaux usées ayant subi un traitement se développent rapidement et deviennent un élément fondamental de la politique de gestion intégrée de l'eau dans les grandes agglomérations. Les bénéfices obtenus sont importants. Il faut noter en premier, la réduction de la demande en eau potable qui peut atteindre 10-15 %, voir 40 % dans les zones résidentielles avec beaucoup d'espaces verts (Miller, 1990). Les usages les plus courants sont l'irrigation d'espaces verts (parcs, golfs, terrains sportifs), l'aménagement paysager (cascades, fontaines, plans d'eau), le lavage des rues ou des véhicules et la protection contre l'incendie. Les normes qui régissent la qualité des eaux usées destinées à de tels usages sont très sévères et voisines de celles en vigueur pour l'eau potable. Dans ce cas (OMS, 2006).

E. Recharge de nappes

La principale motivation concernant la recharge de nappe est la dégradation de sa qualité physico-chimique et/ou la diminution de sa capacité. Ce mode de réutilisation a lieu essentiellement dans des zones arides qui doivent faire face à des problèmes d'assèchement de nappes, ou dans des zones côtières où les nappes sont envahies par l'eau de mer. On poursuit de la sorte plusieurs objectifs :

- La restauration d'une nappe surexploitée par excès de pompage et dont le rabattement est préjudiciable,

- La protection des aquifères côtiers contre l'intrusion d'eau salée,
- Le stockage des eaux pour une utilisation différée,
- L'amélioration du niveau de traitement de l'eau, utilisant de la sorte le pouvoir autoépuration du sol
- La protection de l'environnement en évitant de rejeter les effluents dans un cours d'eau ou en mer (AGENCE FRANÇAISE DE DÉVELOPPEMENT, 2011)

Selon ECOSSE (2011), et sur le plan mondial, la réutilisation des EUT pour l'agriculture, l'industrie et les usages domestiques couvrent respectivement 70 %, 20 %, 10 % de leur demande en eau

1-6: Risques de la réutilisation des eaux usées :

1-6-1: Risque sanitaire :

Des virus, des bactéries, des protozoaires et des helminthes pathogènes passent dans les excréta des personnes infectées et peuvent être transmis soit par voie (par exemple, par la consommation de légumes contaminés), soit par la peau (OMS, 1989).

1-6-2 : Le risque environnemental :

Il réside dans la dégradation de la qualité des sols, des eaux souterraines et de surface, Les sols ayant une perméabilité interstitielle (gravier, sable) permettent une bonne épuration à l'inverse des sols fissurés (calcaire, dolomies, granit, etc.). Les nappes libres sont les plus exposées à la contamination, non seulement parce qu'elles ne bénéficient pas d'une protection naturelle vers la surface, mais encore parce qu'elles sont en général peu profondes. La réutilisation des eaux usées épurées peut donc être remise en cause dans des zones qui cumulent ces facteurs de risque (LAZAROVA et BRISSAUD, 2007).

A. Effets sur les eaux souterraines

Dans certaines conditions, les effets sur les eaux souterraines sont plus importants que les effets sur le sol. La pollution des eaux souterraines avec des constituants de l'eau usée est possible (FAO, 2003).

B. Effets sur les eaux de surface

La concentration élevée en N et P dans l'eau usée est d'un intérêt particulier lorsque l'eau usée épurée est mélangée dans un barrage, car ces éléments peuvent créer des conditions favorables à l'eutrophisation. Dans de telles conditions, l'apparition d'algues vertes est très fréquente et il est difficile de remédier aux problèmes y associés (FAO, 2003).

C. Effets sur les cultures

Au delà de l'effet global de certains constituants de l'eau usée épurée sur les cultures irriguées comme la salinité, l'eau usée épurée peut potentiellement créer une toxicité due à une concentration élevée de certains éléments comme le bore et quelques métaux lourds (FAO, 2003).

D. Effet sur le sol

- La salinisation du sol

La salinisation du sol par une eau d'irrigation est une caractéristique physico-chimique produit par l'irrigation à cause des effets combinés de plusieurs facteurs (climat, caractéristiques du sol, topographie du terrain, techniques culturales, conduite des irrigations). En effet, chaque facteur va contribuer, selon son état, à l'accentuation ou à l'atténuation de la salinisation du sol (BELAID, 2011)

- **Qualité d'eau d'irrigation**

La qualité de l'eau utilisée en irrigation est un facteur de premier ordre dans la salinisation du sol. Les effets d'une eau d'irrigation sur le sol sont jugés à travers la concentration totale de cette eau en sels solubles et par son rapport de sodium absorbable (SAR) (Leone et al, 2007).

- **Mode d'irrigation**

Lorsque l'eau est de mauvaise qualité, le mode, la dose et la fréquence d'irrigation ont une influence directe sur le processus de salinisation du sol. Dans ces conditions, une dose supérieure aux besoins du sol est favorable à une lixiviation (lessivage) des sels. Ce qui permet de maintenir la salinité du sol à un niveau raisonnable surtout si le drainage interne et externe est convenable (BELAID, 2011).

- **Nature de sol**

Les caractéristiques du sol qui jouent un rôle primordial dans l'accentuation ou l'atténuation du processus de salinisation sont la texture, la perméabilité et le taux en calcaire.

VILLGARA et CAVANIGNARO (2005) ont mené une expérience d'irrigation par des eaux salées sur deux sols de texture différentes, un premier sableux et un second plutôt argileux. Ils ont constaté que la salinité a atteint des niveaux élevés dans le sol argileux. A la fin de l'expérience, la salinité est entre 15,8 et 19,1 mS/cm dans le sol à texture argileuse, alors qu'elle est entre 1,2 et 6,6 mS/cm dans le sol sableux.

MIYAMOTO et CHACON (2006) ont mené une étude statistique sur l'influence de certains paramètres pédologiques sur la salinisation de sol lorsqu'il est irrigué par une eau de salinité élevée. Ils ont constaté que les sols à texture argileuse sont imperméables ou moyennement perméables.

- **Accumulation de métaux dans le sol**

Bien que la concentration en métaux dans les eaux usées surtout traitées soit faible, l'irrigation peut, à terme, entraîner l'accumulation de ces éléments dans le sol (Rattan et *al.*, 2005).

L'accumulation d'éléments métalliques (EM) suite à l'irrigation avec des eaux usées brutes est souvent constatée. Ainsi, Mapenda et *al.* (2005) ont constaté une augmentation des teneurs en EM dans les horizons de surface des sols irrigués par des eaux usées brutes durant des périodes de temps plus ou moins importantes. Les teneurs trouvées dans les horizons de surface sont largement supérieures à celles trouvées dans les horizons de subsurface (Mapenda et *al.*, 2005 in BALAID, 2011).

1-7 : Conclusion :

La récupération et la réutilisation de l'eau usée s'est avérée être une option réaliste pour couvrir le déficit en eau et les besoins croissants en cette dernière dans notre pays, mais aussi pour se conformer aux règlements relatifs au rejet des eaux usées, en vue de la protection de l'environnement, et de la santé publique. En outre, du point de vue environnemental, la récupération et la réutilisation de l'eau usée urbaine traitée pour l'irrigation constituent probablement l'approche d'élimination la plus et la plus réaliste.

Cette réutilisation n'est pas un nouveau concept. Avec l'augmentation de la demande en eau, liée à l'augmentation de la population et l'amélioration de niveau de vie, la réutilisation de l'eau usée acquiert un rôle croissant dans la planification et le développement des approvisionnements supplémentaires en eau. C'est particulièrement important pour notre pays puisqu'il est la plupart du temps arides ou semi arides. Il bénéficie de faibles précipitations, la plupart du temps saisonnières, et à distribution irrégulière. Par ailleurs, la qualité de l'eau se détériore fortement.

2: ENJEUX DE LA RÉUTILISATION DES EAUX USÉES :**2-1: Enjeux sociaux :**

Les eaux usées traitées sont utilisables en tout temps, et donc, toujours disponibles pour irriguer les cultures, même en cas de sécheresses (veolia, 2006). de plus, ce type de réutilisation donne des rendements plus élevés que l'irrigation conventionnelle avec de l'eau douce, même en utilisant des engrais artificiels. ainsi, la hausse des rendements des cultures destinées à la consommation humaine entraîne une plus grande disponibilité des biens alimentaires (oms, 2012). l'utilisation d'eaux usées traitées permet donc d'enrayer les limites de la production de denrées alimentaires liées au manque d'eau, contribuant ainsi à la sécurité alimentaire mondiale (trad raïs et xanthoulis, 2006).

De plus, la réutilisation d'une partie des eaux usées permet d'augmenter la quantité d'eau disponible pour les usages non domestiques. de ce fait, elle permet de préserver les ressources en eau de qualité supérieure pour les usages plus restrictifs (veolia, 2006). elle limite les pénuries en améliorant la disponibilité des ressources, notamment en cas de sécheresse (veolia, 2010). la réutilisation permet donc une disponibilité accrue de l'eau potable pour les populations, contribuant à leur santé et à leur bien-être.

Par ailleurs, trois principaux domaines se séparent l'utilisation des eaux douces de la terre : l'agriculture avec 70 %, l'industrie avec 20 % et les usages domestiques avec 10 % (anctil, 2008). lorsque les ressources en eau douce ne peuvent pas satisfaire toutes les demandes, la réutilisation des eaux usées permet de réduire les conflits associés au partage entre les divers utilisateurs, favorisant à la fois le développement industriel, agricole, urbain et touristique (veolia, 2006).

Comme l'usage de l'eau par une communauté en amont influence potentiellement la disponibilité de l'eau en quantité et en qualité pour les populations en aval, la réutilisation des eaux usées peut aussi limiter les conflits d'usage de la ressource entre les différentes régions (anctil, 2008).

Enfin, la réutilisation des eaux usées réduit la quantité et le volume des rejets d'eaux usées pouvant dégrader le milieu naturel. les milieux récepteurs sont donc en meilleur état et ne limitent plus les usages que l'on peut en faire. l'amélioration des milieux aquatiques, des zones de baignade, des parcs et des zones de culture conchylicoles se traduit par une amélioration du cadre de vie et de l'environnement où vivent les populations. (synteau, 2012).

2-2: Enjeux environnementaux :

Dans un premier temps, la réutilisation permet de mobiliser une ressource en eau additionnelle (medde, 2013). on devrait donc voir diminuer les prélèvements (toze, 2006). en effet, cette pratique permet de diminuer l'usage des ressources que sont les eaux de surface et les eaux souterraines, et ainsi éviter leur surexploitation (synteau, 2012). la baisse des prélèvements aura aussi pour effet de maintenir le débit écologique des rivières, des lacs et des zones humides (larazova et brissaud, 2007; us epa 2012).

Ensuite, comme mentionné précédemment, la réutilisation permet d'éviter, ou du moins, de diminuer la quantité de rejets directs d'eaux usées dans les milieux récepteurs (veolia, 2010). cette pratique s'accompagne généralement aussi d'une meilleure maîtrise de l'assainissement, et donc, de rejets moins polluants (veolia, 2006). cette baisse quantitative et qualitative des rejets se traduit alors par une diminution de la dégradation de l'environnement, notamment de l'eutrophisation des cours d'eau (toze, 2006). les habitats aquatiques et riverains près des points de rejets seront donc de meilleure qualité (medde, 2013). la pression exercée sur la ressource sera aussi moindre (veolia, 2006).

De plus, dans le cas du soutien à l'étiage et du maintien des débits écologiques à l'aide d'eaux usées traitées, on s'attend à ce que les impacts environnementaux n'excèdent pas ceux observés lors du rejet normal d'eaux usées par les stations d'épuration (us nrc, 2012). la présence de contaminants peut même être moindre si des traitements plus poussés sont utilisés. cette pratique permet, dans les cas où les ponctions sont très grandes, d'augmenter le débit en aval et de diminuer la détérioration de la qualité de l'eau, résultant ainsi en une amélioration des habitats et une plus grande valeur esthétique (us epa, 2012).

d'autre part, en milieu aride ou semi-aride, l'exploitation de volumes plus grands que les taux de recharge cause une diminution de la ressource se traduisant par une baisse du niveau de la nappe phréatique (anctil, 2008). la recharge artificielle des aquifères à l'aide d'eaux usées traitées permet à la fois de prévenir les dommages aux écosystèmes aquatiques, l'affaissement graduel du sol pouvant diminuer la capacité hydrique de la nappe et l'infiltration saline dans les villages côtiers (exall, 2004).

Finalement, la réutilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation permet de bénéficier de leur apport en nutriments organiques et inorganiques pour répondre aux besoins des cultures (toze, 2006). les effluents des stations d'épuration contiennent une grande quantité de

nutriments utilisables par les plantes, réduisant ainsi l'utilisation d'engrais chimiques et leur production (exall, 2004).

2-3: Enjeux économiques :

Un des grands avantages que la réutilisation des eaux usées traitées apporte est l'approvisionnement stable et fiable de la ressource en eau (Toze, 2006). En effet, le grand volume relativement constant d'eaux usées traitées est indépendant des variations climatiques (SYNTEAU, 2012). De plus, cette ressource est disponible à proximité des municipalités, zones où la demande est la plus grande (OMS, 1989). Aussi, le volume d'eaux usées produit tend à augmenter parallèlement à la croissance de la population (Veolia, 2006). Ainsi, les réalités spatiales et temporelles de cette ressource permettent d'ajuster l'approvisionnement en fonction de la demande des divers usagers, et non en fonction de sa disponibilité, puisque cette dernière est constante.

Par ailleurs, la réutilisation a des coûts limités par rapport aux autres techniques développées pour se procurer de l'eau douce. La production d'eaux usées traitées coûte moins cher que l'approvisionnement en eau souterraine profonde, que l'importation d'eau et que le dessalement (Veolia, 2006). Les besoins des divers usagers peuvent donc être satisfaits à moindre coût (SYNTEAU, 2012). L'aspect des coûts de la réutilisation sera traité plus en profondeur dans la section 2.5.

Durant la saison estivale, la réutilisation permet de répondre à la grande demande d'eau faite par le domaine agricole, même en cas de sécheresse et sans nuire aux autres usages (US EPA, 2012). L'irrigation à l'aide d'eaux usées traitées permet aussi de diminuer les besoins en eau potable, ainsi que les rejets directs dans le milieu naturel (Anctil, 2008). Il s'agit donc d'une économie de ressource en eau et d'une diminution de la pollution des cours d'eau en aval. Cela résulte en une baisse des coûts de pompage, de traitement et de transport de l'eau potable (BRGM, 2010). De plus, comme les effluents des stations d'épuration contiennent des nutriments pouvant être bénéfiques pour les besoins des cultures, il serait aussi normal d'observer une diminution ou même une élimination des coûts liés à l'utilisation d'engrais chimiques (Exall, 2004).

Enfin, comme mentionné dans les avantages sociaux, l'irrigation avec des eaux usées donne des rendements plus élevés que l'irrigation conventionnelle, ce qui se traduit par une

disponibilité plus grande des denrées alimentaires. Selon le principe de l'offre et de la demande, cette disponibilité accrue fera diminuer les prix de ces aliments, les rendant plus accessibles, particulièrement pour les familles pauvres (OMS, 2012).

3 : SITUATION DES EAUX USEES :

3-1 : Introduction :

Devant la rareté de la ressource en eau conventionnelle, l'Algérie ne peut plus se permettre de tourner le dos à la possibilité de réutiliser les énormes quantités d'eaux usées rejetées dans la nature ou à la mer. C'est donc à l'enracinement d'une nouvelle culture de l'eau, qu'il faut s'atteler pour espérer l'émergence d'une mentalité et d'un comportement nouveaux (MRE, 2003). Un projet de réutilisation des eaux usées reste un projet d'utilisation d'eau, le fait que cette eau soit usée n'importe en effet que des compléments ou correctifs techniques (Valiron, 1983). Les pluies, les eaux des barrages et des forages ne suffiront plus pour la satisfaction des besoins, ce qui explique aujourd'hui, l'ambition de l'Algérie de traiter un milliard de mètres cube d'eaux usées pour l'irrigation de 100000 hectares. Pour le moment, l'Algérie, qui dispose d'un volume d'eau traité de 560 000 mètres cubes, consacre 65% de ses ressources hydriques au secteur de l'agriculture (MRE, 2012).

3-2 : Problématique de l'eau en Algérie :

En Algérie, la qualité des eaux superficielles se dégrade dans des bassins d'importance vitale sous l'effet des rejets de déchets urbains et industriels, les barrages réservoirs s'ensavent et perdent de la capacité utile et le rejet de la vase dans les cours d'eau pose d'énormes problèmes écologiques et environnementales. Les eaux souterraines sont polluées à partir de la surface et sont irréversiblement endommagées par l'intrusion d'eau saline, la surexploitation des couches aquifères entame la capacité de celle-ci à retenir l'eau, ce qui provoque l'enfoncement des couches sous-jacentes. Nombre de villes se révèlent incapables de fournir en quantité suffisante de l'eau potable et des équipements d'hygiène.

L'engorgement et la salification des terres déterminent une baisse de la productivité des périmètres irrigués. Dans un tel contexte, il devient prioritaire d'établir une stratégie pour localiser, quantifier et protéger les ressources en eau de façon à pouvoir les exploiter d'une manière rationnelle et en bonne qualité.

3-2-1 : Les principaux problèmes hydrauliques en Algérie :

La rareté grandissante des ressources en eau qui résulte de la diminution des quantités disponibles par habitant, la dégradation de la quantité et les objectifs de développement économique et social imposent donc l'élaboration et la définition d'une stratégie de gestion de l'eau à moyen et à long terme. Le problème de l'eau est aggravé ces dernières années de

CHAPITRE III : SITUATION DES EAUX USEES EN ALGERIE

sécheresse qui ont touché l'ensemble du territoire, ont montré combien il était nécessaire d'accorder la plus grande attention à l'eau. Cette ressource vitale est menacée dans sa qualité et dans sa quantité. Malgré la construction de nouveaux barrages et le recours au dessalement, l'Algérie enregistrera un déficit en eau de 1 milliard de m³ d'ici l'an 2025.

- **Envasement des barrages en Algérie :**

En Algérie, les 52 grands barrages reçoivent 32 millions de m³ de matériau solide annuellement. La répartition des barrages sur les cinq bassins hydrographiques indiquent clairement que les barrages de la région de Chéllif – Zahrez sont les barrages les plus menacés par le phénomène de l'envasement puisque le taux de sédimentation annuel est de 0,75%. Ceci est dû à la forte érosion des bassins versants de la région, favorisé par la nature des sols et l'absence de boisement. Même pour les petits barrages, le taux de comblement évalué en 2002 dans le bassin hydrographique Chellif –Zahrez est de 16% de la capacité totale, il est beaucoup plus grand par rapport à celui des autres régions (*Remini et Hallouche, 2003*).

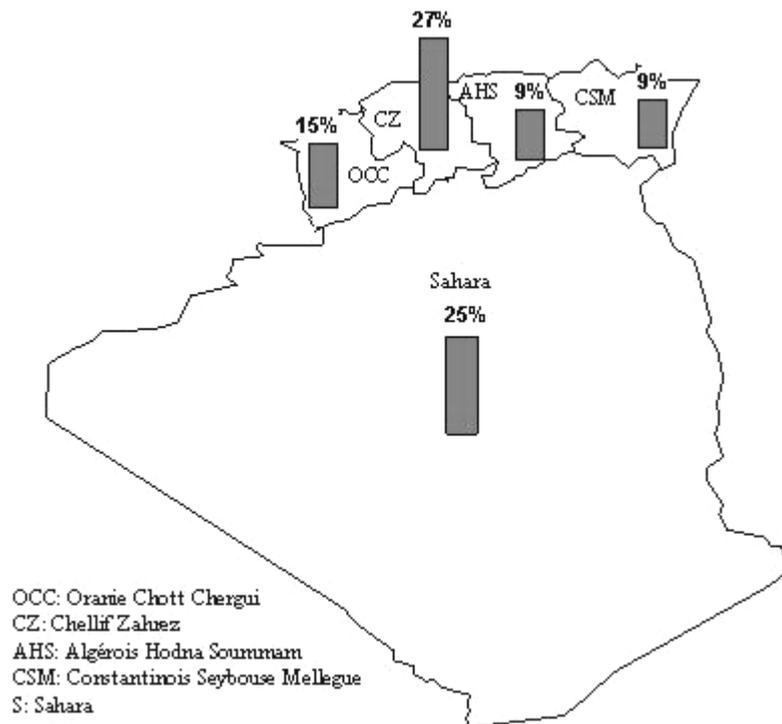


Figure 3-1: Répartition du taux de comblement annuel des grands barrages dans les bassins hydrographiques (*Remini et Hallouche, 2003*)

CHAPITRE III : SITUATION DES EAUX USEES EN ALGERIE

• Evaporation des lacs de barrages :

Un milliard de m³ d'eau sur les 13 milliards de m³ stockés dans les 90 barrages du Maroc s'évapore chaque année. Sur l'oued Ziz (Maroc), un barrage classique retient un grand volume d'eau dont une partie (20 à 25%) est perdu par évaporation. L'évaporation des eaux du barrage Monsour Ed-dahbi s'élève à 40 millions de m³/an (Lahlou A., 2000). Le phénomène de l'évaporation des lacs des barrages en Algérie est considérable ; une perte de volume très élevée est enregistrée annuellement dans les barrages. Les mesures de l'évaporation se font à l'aide d'un bac Colorado installé à proximité de la retenue.

Nous avons représenté sur la figure 2, l'évolution du volume évaporé dans les retenues de 39 barrages, d'une capacité de 3,8 milliards de m³ durant la période:1992-2002. Sur le même graphique, nous avons illustré l'évolution de la consommation en A.E.P., l'irrigation et l'industrie pour mieux montrer l'ampleur de l'évaporation.

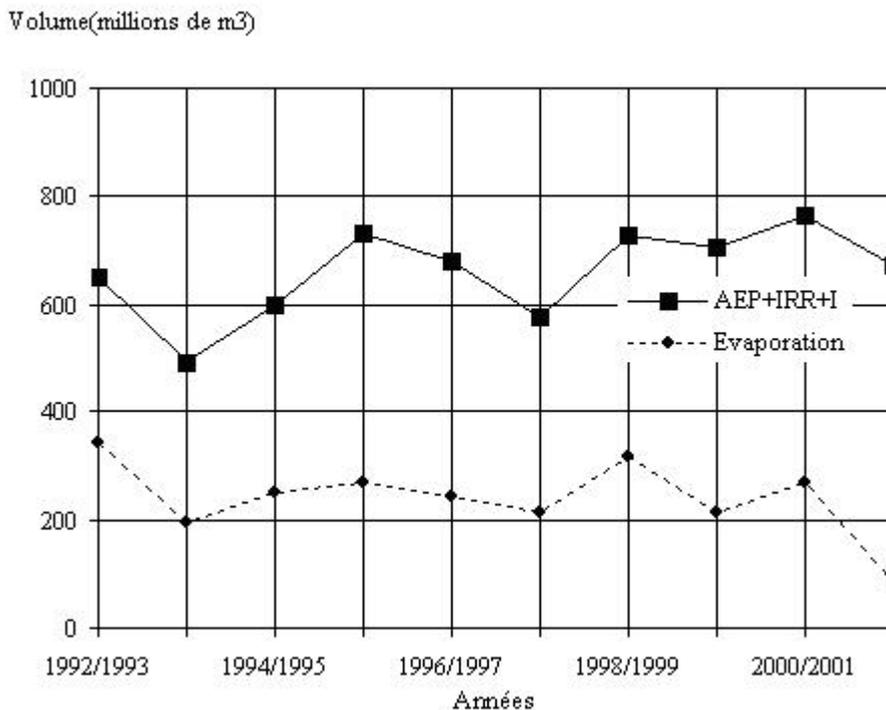


Figure 3-2 : Evolution de l'évaporation dans les barrages algériens (39 barrages).

Légende : A.E.P : Adduction en eau potable, Irr. : Irrigation, I : Industrie

Il est intéressant de constater que durant la période : 1992-2002, la quantité évaporée représente la moitié du volume consommé par l'irrigation, l'alimentation en eau potable et l'industrie, ce qui est considérable. La valeur maximale de l'évaporation enregistrée a été de 350 millions de m³ d'eau durant l'année 1992/1993, par contre la valeur minimale avoisine

CHAPITRE III : SITUATION DES EAUX USEES EN ALGERIE

les 100 millions de m³ en 2001/2002. La moyenne annuelle de l'évaporation est de 250 millions de m³ pour les 39 barrages, soit une perte moyenne annuelle de 6,5 % de la capacité totale. Le volume d'eau total perdu durant dix années d'exploitation (1992-2002) avoisine la valeur de 2.5 milliards de m³.

- **Fuites dans les barrages :**

Le problème est beaucoup plus grave qu'on imagine, il ne s'agit plus de perte de la capacité de l'eau, mais plutôt la déstabilisation de l'ouvrage. En réalité l'eau des fuites ne se perd pas, il peut être récupérée et réutilisée pour l'agriculture et à la limite le laisser s'infiltrer pour réalimenter la nappe. A titre d'exemple, un réseau de collecte des fuites d'eau installé à l'aval du barrage de Foum El Gherza permet de récupérer en moyenne 5 millions de m³/an et de les utiliser pour l'irrigation. Cette irrigation forcée pose des problèmes de salinité des sols, puisque l'eau coule en continue. Mais le grand problème réside dans la circulation des eaux dans les failles de la roche dont la section mouillée augmentera dans le temps suite au changement de températures et les variations de la vitesse de l'écoulement (variation du plan d'eau) qui engendreront l'érosion de la roche et avec le temps c'est le glissement au niveau des berges et l'ouvrage sera en danger.

Environ 22 barrages ont fait l'objet des mesures périodiques des fuites en Algérie durant les dix dernières années (1992-2002). Certains barrages enregistrent une perte annuelle par fuite avoisinant même la valeur de 10% de leur capacité comme ceux de Ouizert, Foum El Gueiss et Foum El Gherza. La figure 3 représentant l'évolution du volume de fuites de 22 barrages durant la période : 1992-2002. Il est intéressant de constater que le volume minimum perdu a été enregistré durant l'année 1994-1995, soit 20 millions de m³. Par contre durant l'année 1998-1999, plus de 75 millions de m³ d'eau de perte par les fuites ont été enregistrés.

Le volume total des fuites enregistré durant la période 1992-2002 avoisine les 350 millions de m³, alors que le volume moyen perdu annuellement est de 40 millions de m³ d'eau. Ces mesures des débits de fuite sont effectuées par la méthode volumétrique. Les eaux perdues sont collectées à l'aide des réseaux de canaux depuis les résurgences et les sources de fuites jusqu'aux périmètres à irriguer.

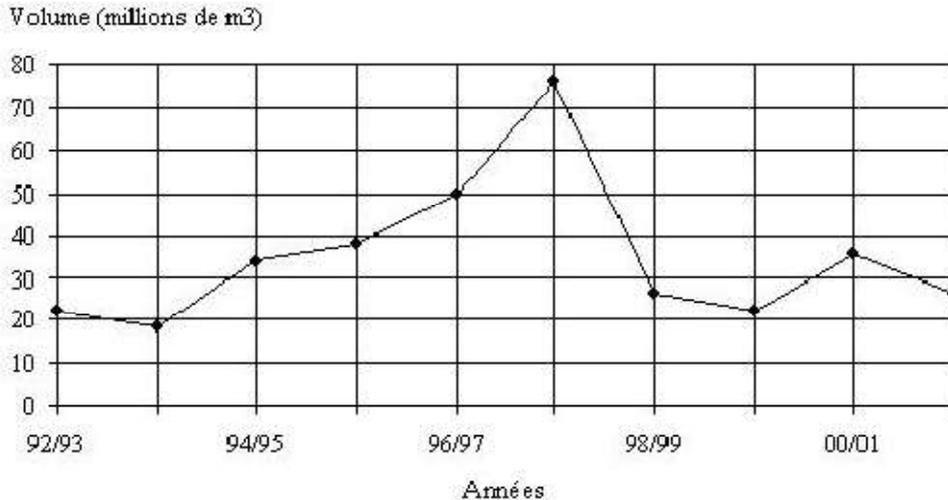


Figure 3-3 : Variation des débits de fuites dans les barrages algériens (22 barrages)

- **Eutrophisation des retenues de barrages :**

Ces dernières années les rejets des eaux usées d'origine urbaine et industrielle ont augmenté dans les oueds. Ceci constitue une menace pour la qualité des ressources en eau dans les barrages. Plusieurs tronçons d'oueds sont déjà pollués (Tafna, Mekerra, Chellif, Soummam et Seybouse). Si le phénomène persiste encore, des retenues de barrages comme Beni Bahdel, Bakhada Ouizert, Bouhanifia, Fergoug, Oued Lekhel Hammam Grouz et Oued Harbil seront pollués. En plus de ces rejets, le dépôt des sédiments dans les retenues de barrages génère l'eutrophisation des eaux de retenues. L'eutrophisation est l'enrichissement d'une eau en sels minéraux (nitrates et phosphates notamment) entraînant des déséquilibres écologiques comme la profilation de la végétation aquatique et l'appauvrissement en oxygène dissous. Le processus de vieillissement passera une retenue d'un état de faible niveau nutritif (oligotrophique) à un état intermédiaire (mésotrophique), puis à un état de haut niveau nutritif (eutrophique). Le phosphore et l'azote sont des substances nutritives limitant le cycle de croissance de la végétation dans la retenue. Le phosphore est transporté en solution dans les retenues et se fixe aux sédiments.

Une fois déposées dans la retenue, les sédiments libèrent le phosphore et contribuent au processus d'eutrophisation (*Bachman*, 1980 ; *Schreiber*, 1980 in *Stigter C. et al.*, 1989). Selon *Thornton et al.* (1980 in *Stigter C. et al.*, 1989), la turbidité et la formation d'algues sont inversement proportionnel.

CHAPITRE III : SITUATION DES EAUX USEES EN ALGERIE

L'accroissement de la turbidité a un impact sur le processus biologique du fait d'une modification de la température. Le blocage du passage de la lumière par les sédiments en suspension a un effet sur le phénomène de photosynthèse

- **Intrusion des eaux marines dans les aquifères côtiers :**

En Algérie, le phénomène a pris de l'ampleur ces vingt dernières années a cause de la sécheresse qui a frappé le nord algérien, associé aux pompages excessifs et anarchiques. Aujourd'hui, toutes les régions du littoral algérien (1200km) sont menacées par ce phénomène; plusieurs lieux de contaminations des nappes ont été signalés le long du littoral. La région du centre n'a pas échappé à ce phénomène, notamment les nappes des plaines de Oued Nador, Oued Mazafran et la région de Bord El Bahri.

3-3 : potentiel d'eau usée en Algérie :

Selon la banque mondiale, le déficit en eau augmente aujourd'hui de 50 Bm³ par an. Il atteindra 150 à 240 Bm³ d'ici 2050. Les pays les plus touchés par la rareté de l'eau, sont ceux situés dans la région MENA, (14 sur les 20 premiers dans le monde).

Le gouvernement Algérien a lancé plusieurs programmes de grande envergure pour éradiquer la problématique du déficit en eau potable et eau d'irrigation. Parmi eux, on peut citer la réalisation de nouveaux barrages, le transfert des eaux, la réalisation d'unités de dessalement et la mise en place de nouvelles stations de traitement et d'épuration des eaux usées.

3-4 : Situation De l'irrigation En Algérie :

Dans les conditions déficitaires en ressources en eau, le secteur de l'agriculture est le plus gros demandeur en eau, rapporte qu'en 2006, 900000 hectares soit 10,5% de la SAU sont irrigués, et 78% de cette superficie l'est avec des eaux souterraines et 13% avec des eaux superficielles (Tamrabet, 2011).

La gestion des périmètres irrigués s'améliore peu à peu avec leur prise en charge par l'ONID (Office Nationale de l'Irrigation et de Drainage).

L'extension des surfaces irriguées en PMH (petites et moyennes hydrauliques) bien qu'encourageante pour le développement de l'agriculture à provoquer un accroissement considérable des forages individuels et des surexploitations dangereuses de certaines nappes souterraines, la tarification sur l'eau agricole est faible (Benblidia, 2011).

CHAPITRE III : SITUATION DES EAUX USEES EN ALGERIE

Deux types d'exploitations agricoles irriguées : les grands périmètres irrigués (GPI) relevant de l'État et gérés par l'ONID. Ces périmètres sont irrigués par des barrages et des forages dans le nord du pays, dans le sud l'irrigation est assurée à partir des forages profonds dans les grandes nappes de l'albien (Benblidia, 2011). Leur superficie est de l'ordre de 200000 ha, les cultures pratiquées dans les GPI (en 2008) l'arboriculture (64,6 %), le maraîchage (28,5%), les cultures industrielles (6,1 %) et le reste en céréales et fourrages (Benblidia, 2011). Les petites et moyennes hydrauliques (PMH) constituées de petits périmètres et aires d'irrigation (productions privées) (Benblidia, 2011).

3-5 : Situation de la réutilisation des eaux usées en Algérie :

La réutilisation des eaux usées épurées est une action volontaire et planifiée qui vise la production de quantités complémentaires en eau pour différents usages.

Aujourd'hui la stratégie nationale du développement durable en Algérie se matérialise particulièrement à travers un plan stratégique qui réunit trois dimensions à savoir : Sociale, Economique et Environnementale (MRE, 2012).

Le réseau national d'assainissement totalise un linéaire de 27000 kilomètres. Le taux de recouvrement est, hors population éparsée, de 85%. Le volume global d'eaux usées rejetées annuellement est évalué à près de 600 millions de m³, dont 550 pour les seules agglomérations du nord. Ce chiffre passerait à près de 1150 millions de m³ à l'horizon 2020.

La réutilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation doit concerner en priorité les zones déficitaires en eau conventionnelle (MRE, 2012). Parmi les stations d'épuration exploitées par l'ONA (Office nationale d'assainissement) à travers les 43 wilayas (Départements), quelques-unes sont concernées par la réutilisation des eaux usées épurées en agriculture. A fin 2011, le volume réutilisé est estimé à 17 millions de m³/an, afin d'irriguer plus de 10 000 hectares de superficie agricoles (MRE, 2012).

Le potentiel de la réutilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles évoluera d'une manière significative d'environ 17 millions de m³ en 2011 à environ 200 millions de m³ en 2014, et le nombre de stations concernées sera de 25 stations d'épurations à l'horizon 2014 (MRE, 2012). Les stations d'épurations gérées par l'ONA concernées par les projets de réutilisation des eaux usées épurées en cours d'étude ou de réalisation, sont au nombre de 12, pour l'irrigation de plus de 8 000 hectares de terres agricoles (MRE, 2012).

Un plan d'action entre ONA et ONID (Office national d'irrigation et de drainage) est en cours d'étude, pour définir les possibilités réelles d'une éventuelle réutilisation des eaux usées épurées des stations d'épurations exploitées par l'ONA pour l'irrigation des grands périmètres

CHAPITRE III : SITUATION DES EAUX USEES EN ALGERIE

d'irrigation (GPI) gérés par l'ONID au niveau des cinq (05) bassins hydrographiques à l'échelle nationale (MRE, 2012).

3-6 : Traitement des eaux usées en Algérie :

L'Algérie est un pays où les structures d'épuration des eaux usées sont modestes car la quasi – totalité des stations destinées à résorber ce problème sont à l'arrêt. Au niveau des villes, sur 600 millions de m³/an, 540 millions de m³/an sont déversés dans la nature. Au niveau du monde rural, la situation est plus grave, faute d'équipement d'assainissement.

Entre 3000 et 4000 cas de maladies à transmission hydrique dues aux eaux usées sont enregistrées annuellement au niveau national. Selon un représentant du ministère de la santé, 80 % des cas de contamination de l'eau sont dus à la pollution fécale. Autre problème du rejet des eaux usées vers la mer, est dû à l'implantation des stations de dessalement le long du littoral (plus d'une vingtaine de stations de dessalement qui seront installées d'ici une dizaine d'années), qui seront confrontées à la pollution de l'eau de mer.

Si, dans les zones urbaines à forte densité, la technique de l'assainissement collectif comprenant un réseau de canalisations enterrées complété par une station d'épuration est la seule solution financièrement acceptable, il n'en est pas de même pour certaines zones rurales ou péri – urbaines. En effet, le coût de cet équipement rapporté à l'utilisateur s'élève rapidement lorsque la densité de l'habitat diminue et l'assainissement autonome, dont les aspects techniques sont parfaitement maîtrisés.

L'assainissement autonome est l'ensemble des filières de traitements qui permettent d'éliminer les eaux usées des habitations individuelles uni – familiales.

Dans les pays développés et plus particulièrement en France, l'assainissement autonome occupe une place importante dans la politique d'assainissement, surtout dans les zones rurales. En Algérie, depuis la première réalisation du système d'assainissement autonome de Ain – Loussig dans le sud Algérien (W. Ghardaïa) en 1994 par le C.N.E.R.I.B [Centre national d'études et recherches intégrées du bâtiment], jusqu'à nos jours aucune réalisation de grande importance n'est venue s'ajouter. Malgré son fonctionnement tant bien que mal, elle est restée la seule expérience en la matière.

4 : PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE :

4-1: Introduction :

La région d'El-Kantara se trouvant à la limite NW de la Wilaya de Biskra, est le siège d'un aquifère superficiel dont les eaux sont beaucoup plus utilisées pour l'irrigation de quelques 22 000 palmiers. En période de basses eaux, Oued El Hai et Oued Boubiad qui coulent au milieu de la plaine, drainent beaucoup plus les eaux usées de la ville d'El Kantara se trouvant à l'amont de celle-ci. Le faible débit des sources drainant les calcaires maestrichtiens, ne représente qu'un faible % du débit total des oueds. Ces oueds alimentent à leur tour la nappe alluviale ce qui contribue à la détérioration de la qualité des eaux souterraines en plus de la détérioration des eaux de surface suite aux rejets directs des eaux issues de l'agglomération et de sa zone industrielle

4-2 : Localisation :

La région étudiée se situe au Sud- Est algérien. Elle se trouve dans le territoire, de la Wilaya de Biskra. Elle occupe une partie de la limite nord de celle-ci et elle se trouve à mi-chemin (50 Km) entre Batna et Biskra. Cette région se trouve au piedmont sud des Aurès et entre les coordonnées géographiques suivantes :

Latitude $35^{\circ} 37' 53''$ N et $35^{\circ} 25' 37''$ N

Longitude $5^{\circ} 5' 60''$ E et $6^{\circ} 14' 53''$ E. Figure. 01.

La région étudiée comprend le sous bassin hydrographique de Oued EL-Hai, qui représente une partie du grand bassin du Chott Melrhir. Il est limité au Nord par le bassin versant des hauts plateaux constantinois, à l'Est par le bassin versant d'Oued Medjerada et à l'Ouest par le bassin versant de Chott Hodna au Sud par le bassin versant du Sahara. Figure. 02.(ANRH Batna)

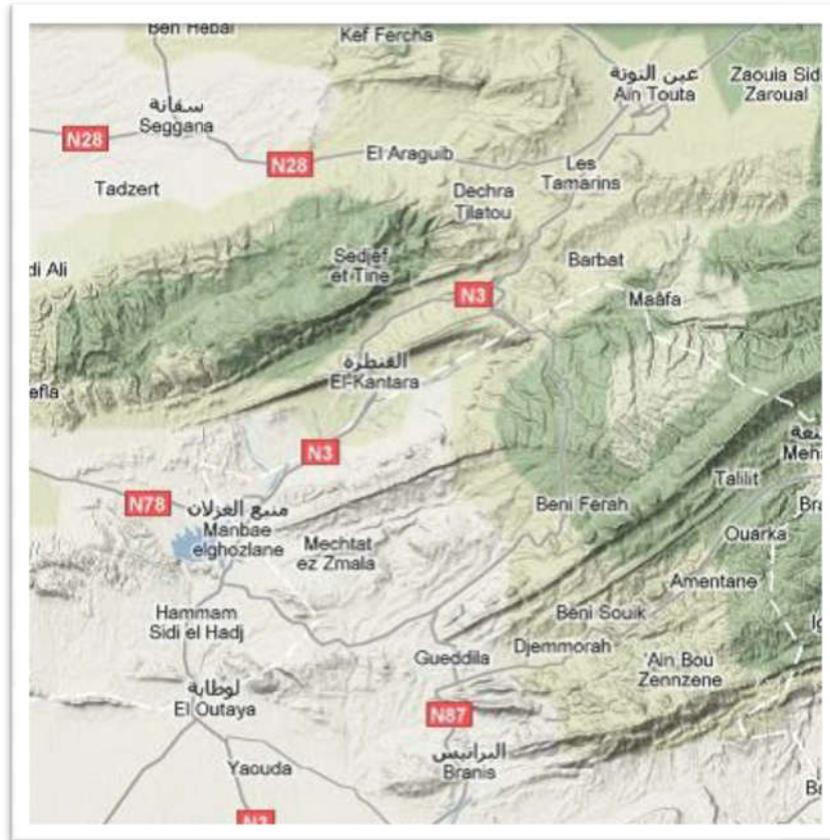
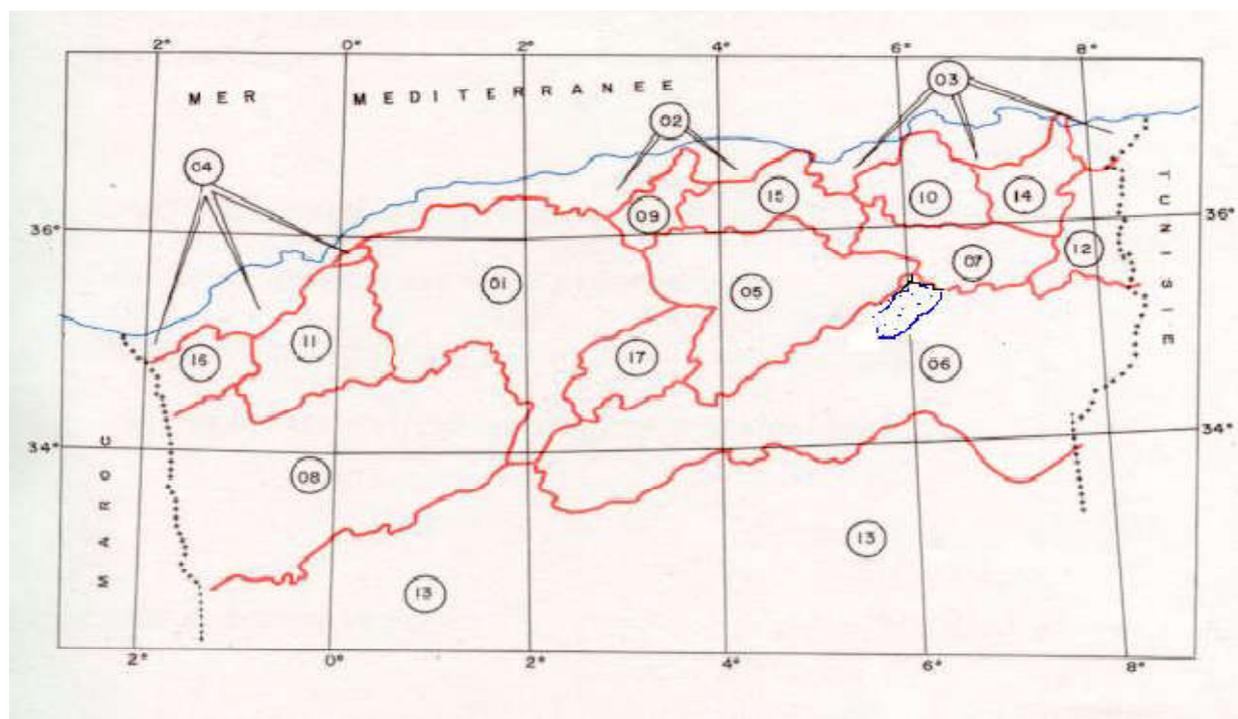


Figure 4-1 : Situation géographique de la région d'étude.

Ce sous bassin versant s'étale sur deux wilayas; celle de Batna avec une superficie de 1314 Km², et celle de Biskra avec une superficie de 346 Km² d'où une superficie totale est 1660 Km². Sur le plan administratif, ce sous bassin versant est limité au Nord par la daïra de Batna, daïra de Merouna, au Sud par la wilaya de Biskra, à l'ouest par la daïra de N'gaous, Tamarin et Barika, à l'Est par Tazoult, Arris et Menâa.



01 CHELIF	07 H, PLATEAUX COSTONTINOIS	13 SAHARA
02 COTIER ALGEROIS	08 H, PLATEAUX ORANOIS	14 SEYBOUSSE
03 COTIER CONSTONTINOIS	09 ISSER	15 SOUMMAM
04 COTIER ORANOIS	10 KEBIR RHUMEL	16 TAFNA
05 CHOTT HODHNA	11 MACTA	17 ZAHREZ
06 CHOTT MELRHIR	12 MEDJERDAH	

Figure 4-2 : Situation du sous bassin versant de Oued El-Hai par rapport aux grands bassins versants de l'Algérie.

4-3 : Ressources en eau :

La région d'étude est caractérisée par une précipitation moyenne qui influence avec le substratum la nature et l'allure du réseau hydrographique. On constate l'existence de trois oueds principaux Figure. 03 et Figure 04:

- Oued El Hai;
- Oued Fedhala et Oued Tilatou qui forment plus bas Oued El Hai



Figure 4-3 : Réseau hydrographique de la région d'El kantara

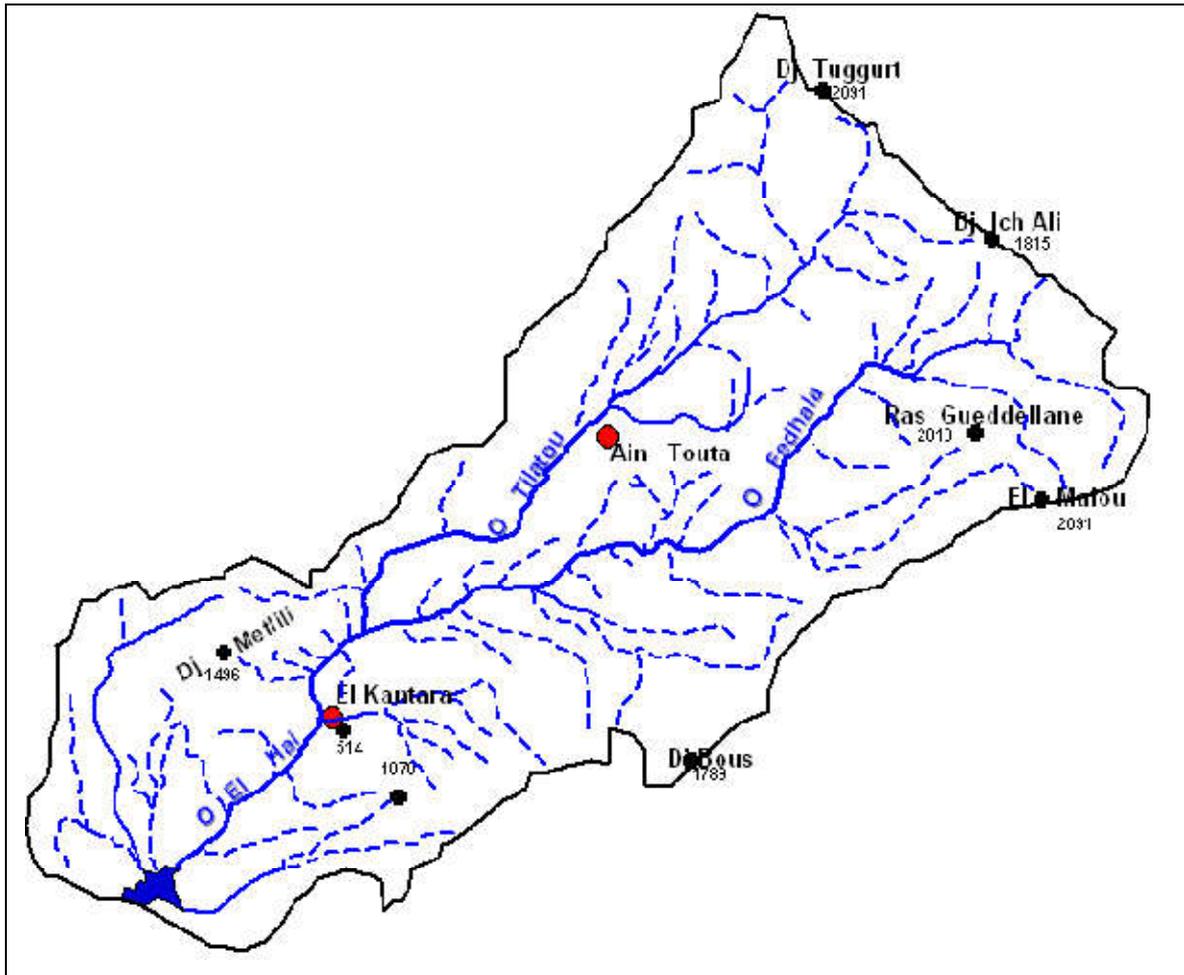


Figure 4-4 : Réseau hydrographique du bassin versant de Oued El-Hai

4-4 : La population :

Le dernier recensement officiel de 2008 a estimé la population d'El Kantara à 11583 habitants. Cette population augmente de l'ordre de 2.05%. Ce qui nous permet d'estimer la population actuelle à $P_n = P_o (1 + a)^n = 14189$ habitants.

P_o : la population de départ : $P_{2008} = 11583$

P_n : la population après n années : P_{2018}

n : le nombre d'années considérées = 10 ans

a : le taux d'accroissement naturel 2.05%.

4-5 : -Industrie :

Le secteur de l'industrie à El Kantara s'est développé considérablement durant les dernières années. Ce secteur est accusé fréquemment d'être la cause de dégradation de l'environnement. Cette industrie engendre des effluents liquides et des déchets solides, qui sont jetés directement dans les oueds sans aucune forme de traitement ce qui engendre la contamination de l'eau de surface et souterraine. La plupart de ces industries sont de petites entreprises spécialisées dans la fabrication des matériaux de construction (céramique), les aliments et les boissons (les moulins d'Ezibane), le recyclage des batteries, du plastique, le lavage des véhicules, ...

4-6 : Caractéristiques édaphiques :

A El-Kantara les sols observés sur les lits des oueds sont généralement d'une texture équilibrée, riches en matière organique et de bonnes propriétés physiques. Dans les palmeraies et les périmètres de mise en valeur, les sols ont une tendance limoneuse et de moindre richesse en éléments nutritifs (ANONYME, 1990).

4-7 : l'agriculture :

Le milieu naturel de la région d'étude est une steppe avec une composante végétale principale qui varie du nord au sud. Selon les endroits on observe une steppe à base d'Armoise blanche *Artemisia herba alba* Asso au nord-est d'El-kantara et de *Salsola sp* qui est dominante au sud. Les formations végétales ont subi un long processus de sélection en faveur des espèces de faible valeur nutritive résistantes au surpâturage et à la sécheresse. Certaines espèces menacées de disparition ne se trouvent que sous la forme de reliques soit sur les hauteurs, au fond des vallées et sur les roches. Suite à la dégradation due au surpâturage et à la sécheresse, on assiste à une disparition sélective des espèces végétales non résistante et à une prolifération de plantes épineuses comme *Atractylis sp* et de plantes toxiques comme *Peganum harmala*. Le milieu agricole est essentiellement composé de palmiers dattiers comme culture principale, associée à d'autres cultures d'arbres fruitiers notamment l'olivier, l'abricotier, le figuier et le grenadier. Au milieu des palmeraies et sous la forme de cultures intercalaires, les cultivateurs s'adonnent aux cultures maraîchères de plein champ et même sous abris serres. Les mauvaises

herbes trouvent des conditions favorables sur l'ensemble des endroits où les travaux d'entretien sont mal faits ou non effectués (ACHOURA, 1996).

4-8 : station de Phytoépuration du village rouge (EL-kantara):

4-8-1 : Introduction :

La faisabilité de stations de phytoépuration dans la région d'El Kantara doit tenir compte des spécificités des rejets de chaque cas, de la nature du sol, des contraintes climatiques, de la topographie et du débit à gérer. Les données géotechniques conditionnent les caractéristiques des ouvrages qui seront implantés et le mode de réalisation de ceux-la.

La conception des ouvrages tiendra compte de la présence d'une nappe phréatique, de l'inondabilité de la zone, de la possibilité d'infiltration dans le sol et de sa nature.

La capacité de l'installation sera définie en termes de débit polluants, de préférence sur la base d'analyse du rejet ou à travers le nombre d'habitants et les infrastructures raccordés au réseau d'assainissement.

Pour la surface nécessaire à l'installation, il faut distinguer la surface utile de traitement qui est la surface plantée, de l'emprise foncière totale de l'équipement qui comprend en plus, un relevé en limite de la surface utile et une zone nécessaire pour les canalisations, le fonctionnement et l'entretien (APAT, 2005).

Les systèmes de phytoépuration peuvent être uniques ou en batterie. Une série de lits de gravier végétée à écoulement horizontal à travers laquelle s'écoulent les rejets de manière continue, ou hybride (ex. un lit à écoulement horizontal suivi par un autre à écoulement vertical). (BORIN, 2007).

4-8-2 : Classification des systèmes d'écoulement :

Les systèmes les plus connus peuvent être classifiés comme suit:

- zones humides à écoulement superficiel (SFS, Surface Flow Systems), subdivisé en zones naturels humides (NW, Natural Wetlands), et artificiels (CW, Constructed Wetlands);
- lits de végétation à écoulement sous-superficiel, sont subdivisé à leurs tours en systèmes à écoulement horizontal (HSSFS, Horizontal Sub-Surface Flow Systems), et à écoulement vertical (VSSFS, Vertical Sub-Surface Flow Systems);
- systèmes flottants (FS, Floating system).

4-8-3 : Dimensionnement de la station de Phytoépuration du village rouge (El Kantara) :

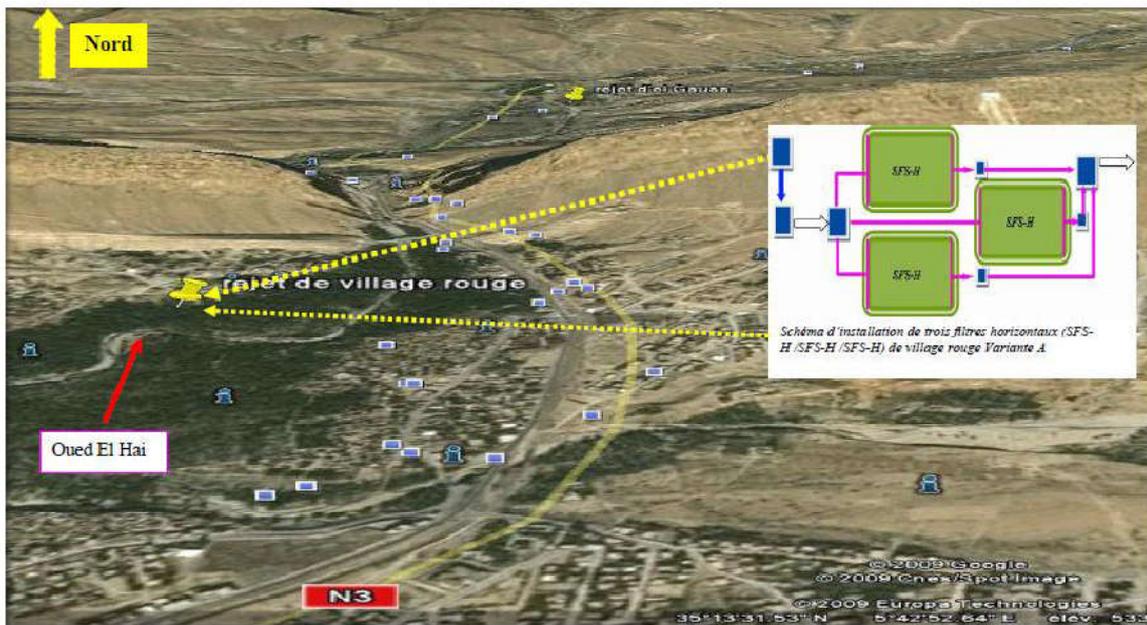


Figure 4-5 : Proposition et dimensionnement d'un système de phyto épuration du village Rouge commune El Kantara W.de Biskra

4-8-3-1 : Situation Actuelle du Village rouge :

- Au Nord : zones montagneux ;
- A l'ouest : zones montagneux ;
- Au sud : des forets
- A l'est : limité par des forets et oued el Hai.

4-8-3-2 : Caractéristiques physico-chimiques des eaux usées (rejet Village rouge) :

Nos prélèvements ont été faits manuellement au niveau du rejet du village rouge, situé à la rive de l'Oued Elhaï..



Figure 4-6 : Rejet du village rouge



Figure 4-7 : Origine des eaux usées analysées

Les paramètres physico-chimiques ont été analysés aux laboratoires de l'université de Biskra et de la société TIFIB, tout en tenant compte du mode de conservation de l'échantillon.

Les échantillons prélevés sont analysés le jour même

Paramètres	Résultat de l'analyse	Paramètres	Résultat de l'analyse
T°	20	phosphate (mg/l)	0,8
PH	8,4	DBO5 (mg/l)	170
Conductivité (µs/cm)	1360	DCO (mg/l)	240
Couleurs	Hors .Gamme	MES (mg/l)	0,58
Turbidité	284	MO	-
O2 (mg/l)	6,5	NH4 ⁺ (mg/l)	11,1
Nitrate (mg/l)	0,17	Fer (mg/l)	3,3
Sulfate (mg/l)	0,5		

Tableau 4-1: Résultats des analyses des eaux usées du rejet du village rouge

4-8-3-3 : Données numériques du Village Rouge :

La concentration moyenne journalière en DBO5 à l'entrée (mg/l) $DBO5 = 170 \text{ mg/l}$

Chapitre IV : PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

La concentration moyenne journalière en DBO5 souhaitée à la sortie (mg/l) $DBO = 30 \text{ mg/l}$ (norme algérienne)

La porosité du gravier $n = 0,35$

La profondeur du filtre $h = 0,6 \text{ m}$

Le débit maximal journalier $Q_{\max} = 1 \text{ l} / \text{s} = 86,4 \text{ m}^3 / \text{j}$

Le débit moyen journalier $Q_{\text{moy}} = 0,56 \text{ l} / \text{s} = 48,38 \text{ m}^3 / \text{j}$

La conductivité hydraulique du milieu saturé (m/j) $K_s = 500 \text{ m/j}$

Les paramètres : $K_{20} = 1,104$ et $\theta = 1,06$.

4-8-3-4 : Première variante (système horizontal) :

Mois	décembre	janvier	février	Tmoy
températures	12,95	10,77	12,85	12,19

Tableau 4-2 : la température hivernale de l'air

La température minimale de l'eau mesurée au niveau du rejet est de 10°C , enregistrée au mois de janvier D'après la formule de **Reed, Crites & Middlebrooks (1995)**

$$Sh = \frac{Q[\ln(CDBO_s) - \ln(CDBO_e)]}{h \times n \times kt} \quad (1)$$

Tels que :

Sh : Surface du bassin filtrant

Q : Débit hydraulique moyen journalier en m^3/jours

CDBO_{5e} : Concentration de la pollution de l'effluent fixée, selon l'objectif d'épuration voulu, en mg/l;

CDBO_{5s} : Concentration de la pollution de l'effluent fixée, selon l'objectif d'épuration voulu, en mg/l;

h : profondeur au milieu de la zone humide

n : porosité du milieu, en %

KT : Constante cinétique à la température

On obtient la surface du bassin suivantes : $Sh = 1158 \text{ m}^2$

Temps de rétention

$$t_r = \frac{sh \times h \times n}{Q_{\max}} = \frac{1158 \text{ m}^2 \times 0,6 \text{ m} \times 0,35}{86,4 \text{ m}^3/\text{j}} = 2,8 \text{ jours} \quad (2)$$

4-8-3-5 : Deuxième variante (Système hybride) :

On calcule la demande en oxygène sur la base de 1Kg d'O₂ par Kg de DBO₂ à éliminer, et de 4,3 kg d'O₂ par Kg de NH₃ à oxyder (Cooper, 1996).

On dimensionne le lit vertical en considérant un coefficient d'aération superficielle de $K_a=30$ grammes d'O₂ par m² de surface (Brix, 1998) et sa hauteur est prise égale à 0,9m. La superficie obtenue est augmentée de 25% ; la surface verticale se calcule alors comme suit :

$$S_V = 1,25 \frac{DO}{30} \quad (3)$$

DO : demande en oxygène en Kg/J

$DO(kg / j) \square CDBO5 \times Q_{max}$

$CDBO5 = 90 \text{ mg/l}$ (élimination de 90 mg/l de DBO₅).

On trouve pour la surface verticale $S_v = 324 \text{ m}^2$

Selon la relation 3 on trouve pour la surface horizontale $S_h = 654,6 \text{ m}^2$ soit $S_h = 655 \text{ m}^2$ avec un temps de rétention $T_r = 1,5$ jours

On divise la surface par deux : $S_h = 655 \text{ m}^2 / 2 = 327,5 \text{ m}^2$

4-9 : Conclusion :

En Algérie, la présence de normes de rejet spécifiques à la réutilisation des eaux usées en agriculture (Décret exécutif n° 93-160 du 10 juillet 1993 et décret exécutif n° 06-141 du 19 avril 2006) ainsi que la présence de textes réglementaires fixant la modalité de réutilisation des eaux usées et la liste des cultures et les conditions de leur irrigation par la eaux usées épurées (Décret exécutif n° 07-149 de 20 mai 2007 et l'arrêté interministériel du 2 janvier 2012) constituent un promotion de projets de réutilisation des eaux usées épurées.

Les dirigeants, publics et privés, ont des décisions à prendre en matière de réutilisation des eaux usées en agriculture. Ils sont confrontés à la nécessité d'exploiter des quantités en augmentation, afin de répondre à une demande toujours plus grande. La gestion intégrée des eaux usées épurées en Algérie, désormais institutionnellement reconnue comme un modèle de partenariat public- privé, est la meilleure approche pour une mise en valeur et une gestion efficace et durable des eaux usées épurées, face à des demandes en eau en augmentation.

5 : ÉVALUATION DE LA RÉUTILISATION DES EAUX USÉES :

5-1 : Introduction :

L'eau est un facteur limitant du développement de l'agriculture, la rareté est appréhendée en termes de stress hydrique et d'irrégularité de la ressource, deux facteurs susceptibles de s'accroître avec le changement climatique. Face au défi d'assurer la couverture des besoins en eau pour l'agriculture en Algérie, une politique active de mobilisation des ressources en eau a été mise en œuvre, ainsi que de nouveaux instruments de gestion, c'est la réutilisation des eaux usées en agriculture.

5-2: Normes de la réutilisation des eaux usées :

5-2-1 : Normes de l'OMS :

L'Organisation mondiale de la santé (OMS) reconnaît, depuis les années 1970, l'importance de la réutilisation des eaux usées en agriculture ainsi que ses avantages environnementaux et socio-économiques. Toutefois, en se basant sur des études épidémiologiques, les experts de l'OMS ont conclu que la consommation d'aliments provenant de cultures irriguées par ces eaux entraîne des effets négatifs sur la santé publique, en raison de l'existence d'organismes pathogènes d'origines fécales, comme : les virus, les protozoaires, les bactéries et les helminthes (OMS, 1989).

En effet, l'OMS a défini quatre mesures pour réduire le risque de la réutilisation des eaux usées sur la santé publique, dont : le traitement de l'eau, la limitation des cultures, le contrôle de l'utilisation des eaux usées et le contrôle de l'exposition avec amélioration (OMS, 1989). Par conséquent, l'OMS a élaboré une directive qui prend en considération ces quatre mesures en vue d'une réutilisation adéquate des eaux usées en agriculture. Elle a été nommée : la directive concernant la qualité microbiologique des eaux usées utilisées en agriculture.

Cette directive fixe le nombre de bactéries coliformes considérées comme indicateurs d'organismes pathogènes et le nombre d'œufs de nématodes acceptables dans un effluent final, dépendamment de la catégorie d'irrigation et du groupe exposé aux cultures irriguées. Plus le groupe exposé est à risque, plus les normes de qualité d'eau traitée sont restrictives. Or, on distingue trois catégories d'irrigation : la catégorie A dont le groupe exposé est composé de consommateurs publics et d'ouvriers agricoles. Cette catégorie représente l'irrigation des cultures destinées à être consommées crues et l'irrigation des terrains de sport et des jardins publics. Dans ce type d'irrigation, le taux de coliformes permis dans 100 ml d'eau ne doit pas dépasser 1000 coliformes, tandis que le nombre d'œufs de nématodes par

Chapitre V : ÉVALUATION DE LA RÉUTILISATION DES EAUX USÉES

litre d'eau ne doit pas dépasser un oeuf. Dans la catégorie B, le groupe exposé est composé principalement d'ouvriers agricoles, travaillant dans l'irrigation de cultures céréalières, fourragères, de pâturages et de plantations d'arbres. Dans cette catégorie, on recommande le même nombre d'oeufs de nématodes, cependant, rien n'est recommandé pour les coliformes fécaux. La dernière catégorie, appelée C, comprend la même irrigation que celle identifiée dans la catégorie B, mais sans que les ouvriers y soient exposés (tableau.1). En effet, aucune dose maximale n'est définie, ni pour les oeufs de nématodes ni pour les coliformes fécaux.

Catégorie	Condition de réutilisation	Groupe exposé	Nombre d'oeufs de nématodes dans un litre d'eau	Nombre de coliformes dans 100 ml d'eau
A	Irrigation de cultures destinées à être consommées crues, terrains de sport, jardins publics	Ouvriers agricoles, consommateurs publics	≤ 1	≤ 1000
B	Irrigation de cultures céréalières, fourragères, industrielles, de pâturages et des plantations	Ouvriers agricoles	≤ 1	Aucune norme n'est recommandée

C	Irrigation de cultures de la catégorie B, sans exposition des ouvriers agricoles	Néant	Sans objet	Sans objet
---	--	-------	------------	------------

Tableau5-1 :Directives concernant la qualité microbiologique des eaux usées utilisées en agriculture. Modifié d’OMS, 1989, p. 38.

En 2006, l’OMS a publié une nouvelle directive en lien avec la réutilisation des eaux usées en agriculture (Lazarova et Brissaud, 2007). Cette fois, la directive a conclu qu’il faut tenir compte des aspects environnemental, économique et socioculturel et des questions relatives à la santé publique de chaque région concernée par des projets de réutilisation des eaux usées, en raison que chaque région représente ses risques spécifiques liés à la santé publique. En fait, les risques de la réutilisation des eaux usées sur la santé en Afrique ne seront pas les mêmes risques que ceux observés en Argentine (OMS, 2010). De même, l’OMS a établi des concentrations limites de certains éléments chimiques en fonction des exigences de la plante et non en fonction de l’impact sur la santé (OMS, 2006). Ces concentrations sont affichées à l’annexe 3. Ainsi, le tableau.2 résume les différentes façons de transmission de risques à l’homme à partir de l’irrigation.

Schéma de contamination	Scénario
Recyclage d’eau en irrigation→sol→absorption par les plantes→production alimentaire→toxicité pour l’homme	Ingestion des plantes alimentaires irriguées par des eaux recyclées
Recyclage d’eau en irrigation→ sol→ absorption par les plantes et les animaux→ toxicité pour l’homme	Ingestion de la viande d'origine animale provenant d'animaux de pâturage sur des terres irriguées avec des eaux recyclées

Recyclage d'eau en irrigation→ sol→zone de saturation→eaux souterraines→ toxicité pour l'homme	Ingestion de l'eau potable produite à partir des eaux souterraines polluées par des eaux recyclées
Recyclage d'eau en irrigation→atmosphère→ toxicité pour l'homme	Inhalation des contaminants volatils durant le processus d'irrigation

Tableau5-2 :Exposition et risques de contamination par les composés chimiques qui se trouvent dans les eaux d'irrigation. Tiré de Weber and al., 2006, p. 57.

5-2-2 : Contexte réglementaire algérien : (Réglementation Algérienne de REUE) :

La réglementation algérienne de la réutilisation des eaux usées épurées en agriculture a été préparé par les structures algériennes responsables pour l'introduction des EUE comme alternatives efficaces contre la pénurie des eaux conventionnelles à l'échelle national ;Dans les zones sahariennes, les ressources en eaux souterraines sont vulnérables et non renouvelables, la réutilisation des eaux usées traitées on respectant les normes cité ci-dessous (voir tableaux) apparait comme une solution très conseillé (ONA SAIDA, 2010).

- **Loi 05-12 relative à l'eau** : fixe les principes et les règles applicables pour l'utilisation, la gestion et le développement durable des ressources en eau en tant que bien pour la collectivité nationale(ONA SAIDA., 2010).
- **Décret exécutif n° 07-149** du 3 Joumada El Oula 1428 correspondant au 20 mai 2007, susvisé, le présent arrêté a pour objet de fixer les spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation. Les principaux axes de ce décret sont les modalités de Concession d'utilisation des EUE, les risques liés à l'usage des EUE (interdictions, distance à respecter...), Les contrôles sanitaires, Le Cahier des charges-type relatif à la REUE (JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE, 2012).

Catégorie d'eau usée épurée	Culture à irriguer	Techniques d'irrigation	Critères de qualité microbiologiques	
			Nématodes ^d	Coliformes Fécaux ^e
			(œufs / L)	(CFU / 100 mL)
I	Irrigation des cultures maraîchères qui ne se mangent pas crues, fourrage vert et pâturage direct, irrigation des arbres fruitiers ^c	Toutes	≤ 1 $\leq 0.1^d$	$\leq 1\ 000^e$
II	Irrigation de céréales et oléagineuses, fibres, semences, fourrages secs, fourrage vert sans pâturage direct, cultures destinées à la conserverie, cultures industrielles, arbres fruitiers, pépinières, plantes ornementales.	Surface ou localisé	≤ 1	Non requis
III	Irrigation des cultures de Catégorie II.	Localisé	Non requis	Non requis

Tableau 5-3 : Recommandations au niveau microbiologique pour la réutilisation des eaux usées épurées en agriculture appliquées en l'Algérie (JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE, 2012)

Paramètre	long terme (a) (mg/L)	Court terme (b) (mg/L)
Aluminium	5.0	20.0
Arsenic	0.1	2.0
Béryllium	0.1	0.5
Bore	0.75	2.0
Cadmium	0.01	0.05
Chrome	0.1	1.0
Cobalt	0.05	5.0
Cuivre	0.2	5.0
Cyanures	0.05	0.5
Fluor	1.0	15.0
Fer	5.0	20.0
Phénols	0.005	0.002
Plomb	5.0	10.0
Lithium	2.5	2.5
Manganèse	0.2	10.0
Mercure	0.01	0.01
Molybdène	0.01	0.05
Nickel	0.2	2.0
Sélénium	0.02	0.02
Vanadium	0.1	1.0
Zinc	2.0	10.0

a : pour l'eau utilisée sans interruption sur tous les sols.

b : pour l'eau utilisé pendant une période de 20ans sur des sols de texture fine, neutres ou alcalins.

Tableau 5-4 : Limites recommandées en éléments traces dans les eaux usées épurées destinées à l'irrigation (JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE, 2012).

5-3 : Évaluation de l'impact de la réutilisation des eaux usées :

5-3-1 : Impact sur l'environnement :

D'après la grille d'évaluation d'impact, le critère de l'environnement présente un résultat de 1,2 sur 3 (tableau 5), ce qui est considéré comme un impact moyennement important. L'obtention de ce résultat s'explique comme suit : tout d'abord, l'impact de l'irrigation sur les ressources en eau ne sera pas très significatif parce que, selon les résultats d'analyse de l'effluent final, la qualité de l'eau rencontre les normes de l'OMS et la pollution est bien éliminée (Environmental Alternatives Unlimited and al., 2004). Toutefois, ce traitement pourrait bien être perturbé sur le plan des filtres et de la roselière parce que, dans les premiers, l'oxygénation se fait manuellement et, dans la deuxième, les roseaux n'ont jamais été coupés. L'oxygénation permet d'accroître l'efficacité du traitement biologique alors que le renouvellement de la plantation de roseaux permet d'optimiser le prélèvement des différents nutriments présents dans les eaux usées. En effet, en cas de dysfonctionnement de l'une des étapes de traitement, l'effluent final risque de causer une contamination des ressources en eau, notamment par la contamination des eaux souterraines par les nitrates par percolation de l'eau d'irrigation vers la nappe phréatique.

Concernant le sous-critère de l'air, la production de biogaz (méthane) reste le principal problème (gaz explosif) qui risque de nuire à la qualité de l'air. En plus du méthane, la dégradation dans le bassin non aéré se fait en l'absence d'oxygène, ce qui peut causer un dégagement d'odeurs nauséabondes dans l'entourage de la station. En plus des risques d'explosion, le méthane est un puissant gaz à effet de serre.

Quant à l'impact sur la qualité et les propriétés du sol, il est considéré comme faible tant que la qualité de l'effluent final rencontre les normes. Cependant, un dysfonctionnement de l'une des étapes de traitement constituerait un risque potentiel sur le sol, causant ainsi la contamination par la présence de métaux potentiellement toxiques ou l'augmentation de la concentration de certains minéraux dans le sol, ce qui peut nuire à la croissance des cultures (Azad, 1987). Toutefois, si le traitement fonctionne bien, tous ces éléments seront éliminés rapidement parce que toutes les eaux usées traitées proviennent essentiellement d'un secteur entièrement résidentiel, où la concentration des métaux lourds est souvent non-significative.

Chapitre V : ÉVALUATION DE LA RÉUTILISATION DES EAUX USÉES

Enfin, l'évaluation du sous-critère des matières résiduelles a montré un impact fort des déchets sur l'environnement. En raison des bassins de dénitrification et des bassins non aérés, la station génère des boues qui décantent au fond des bassins. Ensuite, elles sont envoyées vers des lits de séchage grâce à des pompes submersibles (Environmental Alternatives Unlimited et L.L.C., 2009). Une fois séchées, les boues sont acheminées vers la décharge municipale pour qu'elles soient éliminées avec les déchets ménagers. En conséquence, ces boues peuvent engendrer des conséquences sur l'environnement et sur les personnes qui habitent près de cette décharge parce qu'elles pourraient constituer une source de contamination pour les sources d'alimentation en eau potable, notamment les eaux de puits.

Chapitre V : ÉVALUATION DE LA RÉUTILISATION DES EAUX USÉES

Critères	Sous-critères	Questions	Pondération	Évaluation	
L'environnement	Eau	Le manque de OD peut-il perturber le traitement?	0,04	1	
		La méthode de diffusion de l'oxygène est-elle fiable?	0,04	1	
		La DBO5 est-elle suffisamment éliminée?	0,04	2	
		La DCO est-elle suffisamment éliminée?	0,04	0	
		Le traitement élimine-t-il les métaux lourds de l'eau?	0,04	3	
		L'azote généré par la station comporte-t-il un danger sur l'environnement?	0,04	0	
		Le traitement réduit-il la concentration de l'ammoniac dans l'effluent final?	0,04	2	
		Le traitement élimine-t-il les substances toxiques de l'eau?	0,04	3	
		Le traitement élimine-t-il les coliformes fécaux de l'eau?	0,035	0	
		L'irrigation a-t-elle un impact sur les eaux de surface?	0,035	0	
		L'irrigation a-t-elle un impact sur les eaux souterraines?	0,04	1	
		L'irrigation a-t-elle un impact sur le bilan hydrique de la région?	0,04	1	
		Air	Le traitement engendre-t-il des émissions de monoxyde de carbone?	0,035	0
			Le traitement engendre-t-il des émissions de dioxyde de carbone?	0,04	1
			Le traitement engendre-t-il des émissions du méthane?	0,045	3
	Le traitement engendre-t-il des émissions particulières?		0,04	0	
	Le traitement dégage-t-il des odeurs?		0,04	2	
	Le traitement engendre-t-il du bruit?		0,04	0	
	Sol		L'irrigation cause-t-elle une contamination du sol?	0,045	1
		L'irrigation cause-t-elle une amélioration de la qualité du sol?	0,045	0	
		L'irrigation change-t-elle les propriétés du sol?	0,04	1	
	Écosystème	L'irrigation a-t-elle un impact sur l'écosystème?	0,045	1	
	Matière résiduelle	Les déchets produits constituent-ils un danger sur l'environnement?	0,045	3	
		La station produit-elle des déchets dangereux?	0,04	3	
		Existe-t-il un plan de gestion des matières résiduelles?	0,03	1	
	Moyenne pondérée	1,2	Total de la pondération	1	

Tableau 5-5 : Grille d'évaluation de l'impact sur l'environnement

5-3-2 : Impact sur l'économie :

Quant à l'impact sur l'économie locale, l'évaluation a montré un impact positif au cas où l'irrigation par les eaux usées traitées serait appliquée. L'irrigation permettrait d'augmenter le rendement agricole parce l'eau essentielle pour satisfaire les besoins des cultures serait disponible. À cela s'ajoutent les épargnes importantes que les agriculteurs réaliseraient, du fait que la valeur agronomique des eaux usées qui remplacerait l'achat d'engrais minéraux (tableau 6). Tout cela permettrait d'améliorer la production agricole et la rentabilité des agriculteurs, qui constituent la majeure partie de la population, et la sécurité alimentaire dans la commune de ElKantara Ainsi, l'analyse a démontré que le développement du secteur agricole encouragerait certaines filières industrielles et d'autres activités de commerce à s'installer dans la commune, comme l'industrie agroalimentaire et le commerce de produits et d'équipements agricoles essentiels à l'irrigation.

Culture	Blé	Tomates	Maïs	Luzerne	Courgette
Engrais économisés en \$/ha	196,30	466,02	475,49	202,48	203,27

Tableau 5-6 : L'épargne économique due à la réutilisation des eaux traitées en \$/ha. Modifié de Environmental Alternatives Unlimited and al., 2004, p. 17.

Calcul du gain économique en eau :

Selon le Tableau 5.6, un agriculteur qui utilisera les eaux épurées dans l'irrigation des cultures de blé et de tomates à la place d'engrais réalisera un gain qui atteint 662,32 \$/ha. De même, cette réutilisation permettra aussi de réaliser des économies en eau très importantes.

En fait, pour les cultures de tomates, elles ont besoin de 500 litres d'eau par 100 m² de sol par jour pendant les 40 premiers jours suivant la transplantation et un autre 500 l/100 m²/jour pendant les 40 jours de floraison et de maturation (Symbiose, 2006). Or, pour un hectare de tomates, on aura besoin de 2000 m³ par 40 jours (sachant que l'équivalent de 1 ha est 10 000 m², ce qui est l'équivalent de 4000 m³/ha pour couvrir toute la période de croissance de la tomate. Selon le prix de vente des eaux usées traitées, qui est de 0,063 \$/m³ (ONEP, 2009), l'agriculteur paierait 252 \$/ha au lieu de 508 \$/ha s'il utilisait de l'eau propre qui coûte 0,127 \$/m³ (ONEP, 2009).

En ce qui concerne le blé, cette culture a besoin de 600 mm jusqu'à 1500 mm de précipitations bien réparties par an (Ministère de l'agriculture de la République de Madagascar, s. d.). Si 1 mm de pluie est l'équivalent d'un litre d'eau par m² de sol, donc, pour irriguer un hectare, on aura besoin d'au moins 6000 m³ d'eau. c'est pourquoi, en achetant des eaux usées traitées, l'agriculteur paierait 378 \$/ha au lieu de 762 \$/ha.

En calculant la différence de prix pour les deux cultures, on note que l'agriculteur pourrait économiser 256 \$/ha pour les tomates (508 \$ - 252 \$ = 256 \$/ha) et pour la culture du blé 384 \$/ha (762 \$ - 378 \$ = 384 \$/ha).

5 -3-3 : Impact sur le social :

Le critère social a obtenu un résultat de 2,10 sur 3, ce qui est considéré comme un impact fort (tableau 7) ; En ce qui concerne le sous-critère de l'acceptabilité, ce dernier risque d'être l'enjeu le plus important dans l'équation. D'une part, si les agriculteurs ne veulent pas utiliser ces eaux, ils vont continuer à épuiser la nappe et à acheter des engrais minéraux pour augmenter leurs rendements agricoles, causant ainsi des dommages inhérents à l'environnement, en raison de l'épuisement des ressources hydriques qui sont déjà en déficit, en plus de la contamination des nappes par les nitrates qui se trouvent dans les engrais. D'autre part, l'acceptabilité des produits agricoles irrigués par ces eaux épurées par les citoyens joue un rôle déterminant. Dans ce cas, le contexte socioculturel, les valeurs, les croyances et les coutumes peuvent amener des changements sur l'acceptabilité (Al Khateeb, 2001). Prenons l'exemple d'un projet de réutilisation des eaux usées en Palestine : un sondage réalisé auprès du grand public et des agriculteurs pour évaluer leur acceptabilité a conclu certains éléments (Al Khateeb, 2001). Premièrement, les Palestiniens croient que l'islam accepte l'utilisation des eaux usées traitées en irrigation, tant que la qualité de l'effluent final ne comporte aucun danger sur la santé publique. Deuxièmement, les citoyens voient que le pays souffre d'une pénurie d'eau, donc il serait pertinent de réutiliser les eaux usées traitées dans l'irrigation à la place de l'eau fraîche. Troisièmement, les répondants pensent que l'utilisation des eaux usées brutes dans l'irrigation est dangereuse contrairement à la réutilisation des eaux traitées. Finalement, les participants au sondage acceptent la consommation des produits irrigués par les eaux traitées.

Chapitre V : ÉVALUATION DE LA RÉUTILISATION DES EAUX USÉES

Quant au sous-critère de santé-sécurité, l'analyse a soulevé certains points négatifs, comme le ratissage manuel des lits de sable, ce qui constitue un risque sur la sécurité et la santé des employés qui seront en contact direct avec ces eaux gorgées de polluants et de micro-organismes pathogènes. Il y a également des contraintes de nature microbiologique qui peuvent nuire à la santé des agriculteurs, lorsque ces derniers entrent en contact direct avec ces eaux sans prendre en considération les mesures de précaution qui assurent la protection de la santé humaine, surtout lorsque la qualité de l'effluent final ne rencontre pas les normes de réutilisation préétablies.

Par contre, si les agriculteurs acceptent de réutiliser les eaux épurées, cela pourrait bien générer des emplois dans le domaine agricole, parce qu'il faudra contrôler la qualité de l'effluent, le transport et l'utilisation de l'eau auprès des agriculteurs.

Critères	Sous-critères	Questions	Pondération	Évaluation
Social	Emploi	La station offre-t-elle des emplois à temps complet?	0,065	0
		Est-ce que les emplois sont accessibles à la population?	0,065	1
		Existe-il des formations sur les techniques d'assainissement?	0,06	3
		L'irrigation offre-t-elle des emplois à temps complet?	0,074	2
		Est-ce qu'il y a eu recours aux expériences nationales dans la construction de la station?	0,065	3
		La maintenance de la station sera-t-elle assurée par des Marocains?	0,08	3
	Santé et sécurité	La station assure-t-elle la protection des employés?	0,066	2
		Existe-t-il un plan d'évacuation des eaux usées au niveau de la station?	0,075	2
		Existe-il un risque d'inondation de la station?	0,07	3
		L'irrigation engendre-t-elle un risque sur les agriculteurs?	0,075	1
		La sécurité de la station est-elle assurée?	0,065	3
		Existe-t-il un risque sur la santé des consommateurs?	0,08	1
	Acceptabilité	L'irrigation est-elle acceptée par les agriculteurs?	0,08	3
		La population achètera-t-elle des produits provenant des terres irriguées par les eaux traitées?	0,08	1
Moyenne pondérée	2,102	Total de la pondération	1	

Tableau 5-7 : Grille d'évaluation de l'impact sur la société.

6 : CRITIQUE ET RECOMMANDATIONS :

6-1 : Avantages de la réutilisation et recommandations socio-économiques :

l'évaluation de l'impact de la réutilisation des eaux épurées dans l'agriculture a fait ressortir plusieurs impacts positifs sur l'environnement, l'économie et la société

6-1-1 : Avantages environnementaux :

En ce qui concerne le critère de l'environnement, la réutilisation des eaux usées traitées assurera la protection des ressources en eau par la réduction des prélèvements d'eau à partir de la nappe, en rendant l'eau plus disponible pour des fins agricoles au niveau local. En conséquence, cela pourrait améliorer le bilan négatif causé principalement par des prélèvements d'eau excessifs lors de l'irrigation, alors que les apports en eau demeurent insuffisants. De plus, les analyses de l'eau épurée ont indiqué une valeur nutritive pour les terres agricoles et les plantes à cause de la présence de l'azote et de phosphore en quantité importante dans l'effluent final . En effet, cela pourrait réduire le risque potentiel de la contamination des nappes d'eau vulnérables à l'utilisation des engrais minéraux en agriculture et même améliorer et préserver la qualité du sol agricole.

6-1- 2 : Avantages économiques :

Du point de vue économique, la réutilisation des eaux traitées en irrigation contribuerait à l'amélioration de la situation économique auprès des agriculteurs. En fait, la disponibilité des eaux permettrait aux agriculteurs d'oublier le risque de la sécheresse qui affecte souvent la récolte, pour ce qui est de l'agriculture dite « classique » basée principalement sur les précipitations. L'augmentation des récoltes est l'autre facette positive de cette réutilisation, en raison de la disponibilité des eaux pendant toutes les périodes de l'année à cause de la production quotidienne des eaux usées, ce qui encouragerait les agriculteurs à augmenter le niveau d'irrigation et les variétés de cultures. Un autre avantage est, cette fois, en lien avec les coûts liés à l'utilisation des engrais. En fait, l'analyse environnementale et économique a démontré que cette réutilisation permettrait aux agriculteurs de réaliser des économies importantes en remplaçant l'achat d'engrais par la réutilisation des eaux, puisque ces dernières représentent la même valeur agronomique que celle des amendements agricoles. De même, la réutilisation et le développement du domaine agricole encourageraient le commerce des équipements et des installations d'irrigation agricole dans la commune. En outre, la vente d'eaux traitées permettrait à la station de couvrir ses dépenses et aux agriculteurs de sauver de

l'argent, étant donné que le prix de vente de l'eau traitée équivaut à la moitié de celui de l'eau propre .

6-1-3 :Avantages sociaux :

Du côté des avantages sociaux, l'irrigation serait avantageuse pour la commune, parce qu'elle créerait de l'emploi, limiterait la migration rurale vers les grandes villes et améliorerait la qualité de vie de la région . En fait, le développement de l'irrigation et l'augmentation des rendements agricoles influenceraient d'une manière positive le niveau de vie dans la commune dont la majorité de la population est composée d'agriculteurs.

Toutefois, les avantages socio-économiques et environnementaux décrits ci-dessus ne peuvent avoir lieu tant que l'acceptation des agriculteurs au fait de réutiliser les eaux traitées dans l'irrigation n'est pas concrétisée sur le terrain. Aussi, il faut améliorer l'efficacité économique de la station de manière à ce que ces activités deviennent plus rentables et couvrent les dépenses financières de la station d'épuration.

6-2 :Recommandations environnementales :

6-2-1 :Oxygénation :

Dans les filtres à sable, l'oxygène est un élément essentiel pour le fonctionnement des micro-organismes et pour les processus d'élimination de l'ammoniac. En revanche, cette biodégradation diminue la concentration de l'oxygène dans l'eau. Donc, pour assurer l'oxygénation des bassins, on a proposé le ratissage manuel à l'aide d'un râteau. Toutefois, ce type de ratissage présente deux points négatifs. Le premier concerne l'existence d'un risque sur la santé et la sécurité du ratisseur, car il va être en contact direct avec les eaux usées; le deuxième a trait à l'oxygénation qui doit couvrir toute la surface des bassins afin de limiter la formation des zones non aérées où des processus de dénitrification peuvent avoir lieu, ce qui n'est pas souhaité pendant cette étape de traitement. Par ailleurs, une oxygénation mécanique des bassins pourra être plus sécuritaire pour l'employé et va même mieux remplir son rôle en assurant l'apport d'oxygène à toute la surface. Pour ce faire, la station devra se doter d'une machine qui remplira convenablement ce rôle, comme un râteau qui peut fonctionner avec un bras mécanisé. De plus, la mise en place d'un système de lavage à contre-courant, comme une pompe qui utilise l'eau usée traitée pour le lavage peut à la fois nettoyer les filtres et en même temps assurer leur oxygénation.

6-2-2 : Récupération du méthane :

Selon le rapport technique de la station d'épuration, le biogaz du méthane est utile pour produire l'électricité à partir d'un groupe électrogène déjà mis en place dans la station pour alimenter le laboratoire et d'autres équipements (Environmental Alternatives Unlimited et L.L.C., 2009), alors que le reste de la station est alimenté par la régie d'électricité. Malgré sa mise en place, ce groupe électrogène n'a jamais servi à produire de l'électricité. En effet, le démarrage du groupe électrogène réduirait la facture d'électricité de la station et limiterait la contribution de la station dans l'émission d'un gaz à effet de serre qui représente un effet sur l'atmosphère de 24 fois plus grand que l'effet du CO₂ (Olivier, 2007b).

6-2-3 : Valorisation des boues :

En effet, pour mieux profiter des eaux ésses epuré dans le domaine agricole, il faudrait :

- effectuer des analyses périodiques des eaux ésses epuré de la station d'épuration;
- -analyser les paramètres chimiques de type agroenvironnemental, comme l'azote et le phosphate, de type agronomique, comme le potassium, et de type environnemental, tel que le cadmium (MDDEP, 2008);
- analyser les parcelles du sol où l'épandage serait appliqué afin de déterminer le besoin du sol en nutriments (MDDEP, 2008);
- -valider la qualité des fertilisants auprès du ministère de l'Agriculture et du Secrétariat de l'État chargé de l'eau et de l'environnement;
- -éviter l'épandage pendant les périodes de l'année où les précipitations sont dominantes (entre décembre et février) à cause des risques liés à des fuites d'azote vers les nappes souterraines (MDDEP, 2002);
- -procéder au compostage des eaux ésses epuré : cela permettrait une bonne valorisation de la matière et des résidus du traitement des eaux usées (Chambre d'agriculture Maine et Loire, 2007);
- -assurer un suivi auprès des agriculteurs dans un but de sensibilisation et de formation;
- -aviser les agriculteurs de limiter le stockage des boues près des cours d'eau (MDDEP, 2002) et des sources d'approvisionnement en eau souterraine.

6-3 :Recommandations relatives à la sécurité :

6-3-1 :Informations relatives à la sécurité structurelle :

L'installation est conçue et construite de manière à résister aux mouvements de terrain mineurs. Toutefois, la distance minimale entre l'installation et certaines structures ou des points spécifiques doit être respectée par mesure de précaution . En aucun cas, les filtres plantés ne doivent être piétinés pour ne pas détruire les plantes.

Ouvrage fondé / habitation (Distance minimale 10m)

Charges roulantes (Distance minimale 2m)

Végétaux développant un système racinaire important (Distance minimale 2m)

Captage déclaré d'eau potable (Distance minimale 35m)

6-3-2 : Informations relatives à la sécurité des personnes :

La distance minimale d'implantation, entre l'habitation et la Phytostation est de 10 m.

Les protections sanitaires détaillées suivantes doivent être mises en place :

- Le filtre vertical est équipé d'une grille permanente de maille 5 x 5 cm pour éviter tout contact accidentel avec les eaux usées brutes.
- Le tuyau d'arrivée des effluents dans le filtre horizontal est enfoui dans la couche de gravier 16/22 mm.
- La mise en place d'une clôture tout autour des filtres (vertical et horizontaux) d'une hauteur de 80 cm minimum afin de limiter l'accès

La Phytostation n'est pas une aire de jeux, son accès est donc interdit aux enfants et aux animaux domestiques. Par mesure de précaution, un dispositif de protection est obligatoire. Pour cela, une clôture / barrière rigide d'une hauteur minimale de 0,8 m doit être installée autour le l'ensemble des ouvrages, avec portillon d'accès fermé à clef ou par cadenas. En termes de résistance, on peut se référer aux règles des clôtures de piscine. Cela permettra ainsi de bien délimiter visuellement la zone de traitement des eaux-usées.

Les eaux usées arrivent en surface du filtre vertical par intermittence en fonction de l'utilisation de la maison. En général, les eaux percolent dans le substrat en 1 à 5 minutes en maximum. Cette présence ponctuelle des eaux usées brutes consisterait en un risque sanitaire lors du contact accidentel des personnes (enfants notamment) ou d'animaux domestiques ou d'élevages. Pour prévenir cet éventuel risque, le filtre vertical est équipé d'une grille permanente de mailles 5x5 cm maximum. Cette grille est fixée horizontalement sur le pourtour du filtre vertical par des ancrages fixes, 10 cm au-dessus du substrat, empêchant le contact avec le substrat du filtre vertical. À noter une telle grille ne peut pas supporter une charge piétonnière.

L'arrivée des eaux au filtre horizontal est assurée par un tuyau PVC en tête du filtre recouvert de 10 cm de gravier 16/22 mm. Un dispositif d'agrafes plantées dans le sol tous les 30 cm entre les deux filtres est mis en place pour assurer la bonne fixation du tuyau d'alimentation. De plus ce dispositif sera recouvert d'un minimum de 20cm de terre végétale, ce qui empêchera ainsi toute remontée. Le niveau d'eau est réglé initialement d'environ 10 cm sous la surface du substrat. Par conséquent, il n'y a aucun effluent présent en surface de ce filtre et donc aucun dispositif supplémentaire n'est nécessaire en termes de prévention sanitaire.

Les regards sont protégés par des couvercles en béton, sur lesquels est acceptée une charge piétonnière. Il n'y a pas de dispositif spécifique de fermeture autre que par le poids du couvercle (épaisseur ≥ 4 cm, poids ≥ 19 kg). Toutefois, un dispositif supplémentaire (ex. cadenas) peut être installé selon un devis spécifique en option à la demande du client.

Le poste de relevage, lorsque sa mise en place est nécessaire, ne peut supporter une charge piétonnière (une indication est portée sur le couvercle). Le couvercle est vissé au poste de relevage afin d'en assurer la fermeture et d'en limiter l'accès.

Une bonne croissance des plantes dans les filtres permet d'éviter le risque d'odeur et de stagnation d'eau en surface, évitant ainsi les risques de prolifération de moustiques.

6-4 : Sensibilisation des agriculteurs :

Pour amener les agriculteurs à accepter de réutiliser ces eaux usées, les responsables du secteur agricole doivent mener une campagne de sensibilisation élargie auprès des agriculteurs en faisant ressortir les avantages qui découlent de cette pratique.

Si les agriculteurs de la région de el-kantara ne veulent pas utiliser les eaux usées épurées, c'est parce qu'ils demandent que les eaux traitées soient fournies gratuitement, car il s'agit d'une eau qui sera rejetée de toute manière dans la nature une fois qu'elle sortira de la station.

CHAPITRE VI : CRITIQUE ET RECOMMANDATIONS

Donc, avant d'effectuer une sensibilisation auprès des agriculteurs, il faudrait analyser et comprendre leurs arguments. Premièrement, les agriculteurs veulent des eaux gratuites, ce qui signifie qu'ils n'ont aucune idée des besoins financiers d'une station d'épuration, ni combien coûte le traitement des eaux usées. Deuxièmement, ils pensent que le milieu récepteur peut pendant longtemps, recevoir les eaux traitées sans qu'il y ait de conséquences négatives à long terme sur leurs terres agricoles et leur qualité de vie. Par ailleurs, la réalité est bien loin de ce qui est constaté par ces agriculteurs. En fait, les stations d'épuration ne peuvent fonctionner à long terme si elles ne reçoivent pas les revenus nécessaires. Déjà, le problème de financement a causé l'arrêt de plusieurs stations de traitement en Algérie. Il serait avantageux de réacheminer les eaux traitées vers l'irrigation au lieu de les rejeter dans le milieu naturel. Même si ces eaux ne semblent pas représenter des risques pour l'environnement, à long terme, elles peuvent causer l'eutrophisation des cours d'eau ou la salinisation de la nappe.

En effet, une sensibilisation des agriculteurs sur les avantages socio-économiques de la réutilisation des eaux usées traitées serait une étape importante pour concrétiser l'acceptation de cette réutilisation. Pour ce faire, il faudra :

- présenter la situation hydrique actuelle dans la région aux agriculteurs;
- expliquer les conséquences liées à l'utilisation continue des ressources d'eau;
- présenter les impacts négatifs du rejet des eaux usées sur les eaux souterraines et les cours d'eau;
- montrer aux agriculteurs que l'on ne peut pas utiliser d'eau usée brute ou traitée de façon rudimentaire pour l'irrigation, pour leur sécurité et celle de leurs récoltes;
- expliquer le rôle important d'une station de traitement des eaux usées dans la protection de leur environnement;
- expliquer aux agriculteurs que la disponibilité des fonds financiers est importante pour le maintien du fonctionnement de la station, ainsi qu'un traitement plus complexe exige des coûts plus importants;
- présenter les impacts négatifs de l'utilisation d'engrais minéraux sur la qualité des terres agricoles et les ressources en eau.
- exposer les avantages environnementaux de la réutilisation des eaux traitées pour l'irrigation, notamment les avantages agronomiques dont les cultures pourraient pleinement profiter;

CHAPITRE VI : CRITIQUE ET RECOMMANDATIONS

- montrer les bénéfices économiques de la réutilisation des eaux traitées et l'impact positif sur l'amélioration de la rentabilité des utilisateurs;
- expliquer aux agriculteurs que la réutilisation des eaux usées permettrait de remplacer partiellement l'usage des engrais sur les terres agricoles;
- présenter les expériences antérieures des pays ayant eu recours à la réutilisation des eaux usées traitées; présenter aux agriculteurs les risques à long terme d'utiliser une eau fraîche pour l'agriculture de façon aussi intensive par rapport aux réserves disponibles;
- montrer aux agriculteurs que la qualité de l'effluent final est conforme aux normes internationales et algérienne ;
- présenter l'avantage économique du prix symbolique de vente de l'eau traitée qui vis-à-vis le prix de l'eau propre ;
- présenter les avantages sociaux du développement agricole aux agriculteurs, surtout celui de la création de l'emploi dans la commune.
- Et enfin, assurer une formation aux agriculteurs sur les modes de combinaison entre les eaux usées traitées et l'utilisation engrais, parce qu'un suramendement des terres agricoles n'est pas toujours mieux.

Conclusion générale :

Ce travail trouve son origine dans le constat des grandes difficultés qui touchent l'Algérie en matière de disponibilité des eaux à usage domestique, agricole et industriel, apparemment dans l'ensemble des régions du pays. Un constat qui se montre alarmiste sur l'état des ressources en eau ainsi que sur la non conformité quantitative et qualitative de l'eau disponible.

Un bref regard sur la situation hydrique en Algérie nous a conduit à l'hypothèse que les multiples facettes du problème, au delà des spécificités nationales, peuvent être ramenées à la défaillance d'un modèle de gestion lié à une situation particulière.

Les risques d'appauvrissement des ressources en eau imputables à d'éventuels changements climatiques dans le sens d'une " aridification ", sont à prendre sérieusement en compte, d'autant que la pression exercée sur ces ressources ne cessera de s'amplifier sous les effets conjugués de la croissance démographique et des politiques appliquées vis-à-vis des activités consommatrices d'eau, notamment l'agriculture, l'industrie et le tourisme.

Cette situation liée à la faiblesse de la ressource, aggravée par la sécheresse, impliquera ipso facto entre les différents utilisateurs des conflits sérieux qui nécessiteront immanquablement des arbitrages malaisés pour les pouvoirs publics, et ce d'autant que les besoins en agriculture seront multipliés par 3 environ et qu'ils représenteront pratiquement 70 % des ressources mobilisables vers l'an 2025.

Il faut souligner que dans sa dynamique de développement l'Algérie n'a pas accordé à l'épuration et à l'utilisation des eaux épurées toute l'attention qu'elle mérite. Il en résulte, dès lors, un retard fort préjudiciable qui affecte aujourd'hui le développement général du pays et qui empoisonne l'environnement et la vie quotidienne du citoyen.

Les démarches à suivre et les nouvelles techniques dans le domaine de l'épuration des eaux usées ainsi que l'importance des volumes qui peuvent être restitués et utilisés notamment en agriculture deviennent de plus en plus une véritable motivation pour les gestionnaires des ressources en eau. Ces nouvelles tendances relatives à la généralisation de l'utilisation des eaux usées épurées auront pour conséquences, un impact direct sur la préservation de la ressource par la réduction des volumes mobilisés et par conséquent la reprogrammation des aménagements hydrauliques et des investissements futurs. Ces constatations ont conduit à entreprendre un travail de réflexion qui portait sur la présentation des différents aspects techniques, sociaux et économiques dont la finalité est de légitimer la faisabilité de l'action " Réutilisation des eaux usées épurées en irrigation " tout en respectant la réglementation en vigueur.

Références bibliographiques

- **ACHOURA A. (1996)** :Influence des différents facteurs écologiques sur la dynamique des populations de la cochenille blanche *Parlatoria blanchardi*, (Coccidae, Diaspidinae) à El- Kantara et El-Outaya.Thèse magister agro. Batna, 134p.
- **Anctil, F. (2008)**. *L'eau et ses enjeux*. Québec, Les Presses de l'Université Laval, 228 p.
- **ANONYME, (1990)** : Nouvelle situation de la zone d'El Kantara et El-Outaya, Analyse et données statistiques. DAD d'El Outaya, 30p.
- **ANRH(Biskra)** : Données pluviométriques .
- **Bahri, A. 2002**. *Réutilisation agricole des eaux usées*, Agridoc -Revue thématique, Octobre 2002, No. 4, pp. 22-23.
- **BELAID, 2010**. Evaluation des impacts de l'irrigation par les eaux usées traitées sur les plantes et les sols du périmètre irrigué d'El Hajeb-Sfax: salinisation, accumulation et phytoabsorption des éléments métalliques, 5-26.
- **BENBLIDIA M. (2011)**. L'efficience d'utilisation de l'eau et approche économique. Plan Bleu, Centre d'Activités Régionales PNUE/PAM, Etude nationale, Algérie, 2011, 9-12.
- **BRGM (2010)**. La réutilisation des eaux usées : un enjeu majeur de développement durable. *Les enjeux des géosciences*, Fiche de synthèse scientifique n° 24, avril 2010, d'état, E.N.P, Mars, 342 pages
- **ECOSSE D. 2001** -*Techniques alternatives en vue de subvenir à la pénurie d'eau dans le monde: Qualité et Gestion de l'Eau*. Amiens: Faculté des sciences, 62 p.
El Qualam, Rabat (Maroc), 265 p.
En ligne. ftp://ftp.fao.org/AGL/IPTRID/conf_france_04.pdf (Page consultée le 25 septembre 2009).
- **Exall, K. (2004)**. A review a water reuse and recycling, with reference to Canadian practice and potential : 2. Applications – Review article. *Water Quality Research Journal*, vol. 39, n° 1, p.13-28.
- **FAO (2003)**, L'irrigation avec des eaux usées traitées : Manuel d'utilisation, p 73.
- **Fernandez, S. Verdier, J. et IPTRID (2004)**. Problématique de l'eau agricole en méditerranée. In Fernandez, S. Verdier, J. et IPTRID. Problématique de l'eau agricole en méditerranée,

Références bibliographiques

- **JOURNAL OFFICIEL ALGERIEN, 2012.** Journal officiel de la république Algérienne démocratique et populaire conventions et accords internationaux - lois et décrets arrêtes, décisions, avis, communications et annonces (traduction française). Dimanche 25 Chaàbane 1433 N° 41me Correspondant au 15 juillet 2012, p 27.
- **LAHLOU A., 2000,** Quel environnement pour l’Afrique du nord. Edition Dar
- **LAZAROVA V. ET BRISSAUD F. (2007).** Intérêt, bénéfices et contraintes de la réutilisation des eaux usées en France, L'eau, l'industrie, les nuisances N° 299.
- **Mara, D., et S. Cairncross.** 1991. *Guide pour l'utilisation sans risques des eaux résiduaires et des excréta en agriculture et aquaculture.* Genève: Organisation mondiale de la santé,

Mécanisme et moyen de lutte par la technique du Soutirage. Doctorat

- **Ministère de l’énergie et des mines Alger** 1-Carte géologique d’ El Kantara
- **MIYAMOTO S.ET CHACON A. (2006),** Soil salinity of urban turf areas irrigated with saline waterII. Soil factors. Landscape and Urban Planning 77, 28–38.
- **MR Kerboub Djawhar 2012 :** impact des rejets urbains et industriels sur la qualite des eaux souterrains cas de la region d’el-kantara ;4-9 p.
- **MRE (2012).** Ministère des Ressources en Eau, Algérie, 2012.
- **Office National d’assainissement de Saida., 2012.** Document de synthèse préparé par l’ONA de Saida concernant la réutilisation des eaux usées épurées, 21.
- **OMS (1989).** L’utilisation des eaux usées en agriculture et en aquiculture : recommandations à visée sanitaires. Genève, OMS, 82 p.
- **OMS (2006),** WHO guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater, volume II, Wastewater use in agriculture, p 222
- **OMS (2012).** *Directives de l’OMS pour l’utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères.* Genève, OMS, 225 p.
- **OMS, 1989.** L’utilisation des eaux usées en agriculture et aquiculture : recommandation a visées sanitaires. Organisation Mondiale de la Santé, Genève.

p 478

Références bibliographiques

- **Programme des Nations Unies pour le développement (PNUD) (2006).** Au delà de la pénurie : pouvoir, pauvreté, et crise mondiale de l'eau. In PNUD. Rapport mondial sur le développement humain 2006, En ligne. <http://hdr.undp.org/en/reports/global/hdr2006/chapters/french/> (Page consultée le 28 septembre 2009).
- **REMINI B., 1997,** Envasement des Retenues de barrages en Algérie.
- **REMINI B., HALLOUCHE W., 2003,** Les barrages du Maghreb face au phénomène de l'envasement, Revue VECTEUR Environnement (Canada). Novembre, Vol 36 no 6, pp. 27-30.
- **REMINI B., HALLOUCHE W., 2004,** Sédimentation des barrages en Algérie.

Revue Internationale La Houille Blanche. N°1, janvier. pp.1-5.

- **SYNTEAU (2012).** *Réutilisation des eaux usées traitées : REUSE.* Fiches SYNTEAU, n° 5, 6 p.
- **TAMRABET L. (2011).** Contribution à l'étude de la valorisation des eaux usées en maraîchage. Thèse de Doctorat en sciences : Université Hadj Lakhdar, Batna Algérie.
- **Toze, S. (2006).** Reuse of effluent water—benefits and risks. *Agricultural Water Management*, n°80, p. 147-159.
- **Trad Raïs, M. et Xanthoulis, D. (2006).** Rôle de la micro-irrigation dans l'atténuation des risques sanitaires liés à la réutilisation des eaux usées à des fins agricoles. *Vecteur-Environnement*, mars 2006, p.75-81.
- **U.S. Environmental Protection Agency "USEPA" (2004),** Guidelines for Water Reuse.
- **US EPA (2012).** *Guidelines for water reuse.* Washington, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Wastewater Management, pagination multiple.
- **US NRC (2012).** *Water Reuse: Potential for Expanding the Nation's Water Supply Through Reuse of Municipal Wastewater,* Washington, National Academies Press, 262 p.

Références bibliographiques

- **Valiron, F., 1. J.** Colin et France Bureau de recherches géologiques et minières. 1983. *La Réutilisation des eaux usées*. Paris: Editions du B.R.G.M., viii, 207 p.
- **Veolia (2006)**. *Le recyclage de l'eau, une solution locale quand l'eau se fait rare*. Veolia Environnement. 8 p.
- **Veolia (2010)**. Le recyclage des eaux usées *In Veolia eau. Solutions*. <http://www.veoliaeau.com/solutions/recyclage-eaux-usees/> (Page consultée le 8 janvier 2014).
- **VILLAGRA P.E. ET CAVAGNARO J. B. (2005)**, Effects of salinity on the establishment and early growth of *Prosopis argentina* and *Prosopis alpataco* seedlings in two contrasting soils: Implications for their ecological success. *Austral Ecology* 30, 325–335