



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Abou-Bakr Blekaid Tlemcen
Faculté de Technologie
Département d'Hydraulique



MEMOIRE

Pour obtenir

LE DIPLOME DE MASTER EN HYDRAULIQUE

Option : Eau, Sol et Aménagement

Présenté par

BETAOUAF Nafissa

THEME

**RÉUTILISATION DES EAUX USÉES DANS L'AGRICULTURE
URBAINE ET PÉRIURBAINE AU MAGHREB ARABE.
AVANTAGES ET INCONVENIENTS**

Soutenue le

Devant la commission d'examen

Président	Mme. C. BOUKLI HACENE	M.A.A	Université de Tlemcen
Examineurs	{ Mr. M. BOUMEDIENE	M.A.A	Université de Tlemcen
	{ Melle. W. FANDI	M.A.B	Université de Tlemcen
Encadreur	Mr. A. BENMANSOUR	M.C.A	Université de Tlemcen

Année Universitaire 2011 – 2012

Remerciements

Avant tout, je remercie ALLAH, le Miséricordieux l'Unique, le Puissant,... pour son guide et sa protection.

Je tiens à remercier mon encadreur Dr. BENMANSOUR Abdelhalim pour ses conseils, ses orientations qu'il m'a apportés durant toute la durée de la réalisation de mon mémoire. Ses remarques et conseils m'ont permis de clarifier plusieurs points importants de ce modeste travail. Je le remercie encore une fois pour sa disponibilité tout au long de l'élaboration de ce mémoire.

Que madame la présidente de jury BOUKLI HACENE Chérifa, Monsieur BOUMEDIENE Maamar et Mademoiselle FANDI Wassila, trouvent toute ma gratitude et mes remerciements d'avoir fait l'honneur d'examiner ce travail.

Que notre chef de département d'hydraulique M^r BOUCHELKIA Hamid et l'ensemble de mes enseignants qui nous ont procuré tant de connaissances, trouvent mes remerciements les plus sincères.

Je remercie toute personne ayant participé de près ou loin à l'élaboration de ce mémoire.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

Mes chers parents pour leur amour, soutien et encouragement durant toute mes années d'étude, que dieu les protège.

Mes très chers sœurs

mon frère

A toute ma famille et mes ami(e)s.

A la famille Benledghem particulièrement à Mohamed Hadi

Mes camarades de la promo d'hydraulique urbaine de 2009/2012.

Nafissa

TABLE DES MATIERES

Remerciements

Dédicaces

Résumé

Table des matières

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

INTRODUCTION GENERALE 1

Chapitre I : Les eaux usées et leurs procédés d'épuration

I. INTRODUCTION	4
II. ORIGINE DES EAUX USEES ET DOMAINE D'ACTIVITE	4
II. 1. Les eaux de ruissèlement	4
II. 2. Les eaux usées d'origine domestique	5
II. 2.1. Les eaux domestiques ménagères	5
II. 2.2. Les eaux domestiques de vanes	5
II. 3. Les eaux industrielles	5
II. 4. Eau agricole	5
III. COMPOSITIONS DES EAUX USEES	6
III. 1. Microorganismes	6
III. 1.1 Les bactéries	6
III. 1.2 Les Virus	6
III. 1.3 Les protozoaires	6
III. 1.4 Les helminthes	7
III. 2. Matières en suspensions et matières organiques	7
III. 3. Substances nutritives	7
III. 3.1. l'azote	8
III. 3.2. le phosphore	8
III. 3.3 le potassium	8
III. 4 éléments traces	8
III. 5. salinité	10
IV. PROCEDES D'EPURATION ET D'AFFINAGE DES EAUX USEES	10
IV. 1. Définition de la pollution des eaux usées	10
IV. 2. Définition de quelques paramètres, caractérisant la pollution	11
IV. 2.1. Les paramètres physiques	11
IV. 2.2. Les paramètres chimiques et biologiques	12
IV. 3 Traitement des eaux usées	13

IV. 3.1. les prétraitements	13
IV. 3.1.1. dégrillage	14
IV. 3.1.2. le dessablage	14
IV. 3.1.3. le déshuilage dégraissage	14
IV. 3.2. Traitement conventionnels ou intensifs	15
IV. 3.2.1. Décantation primaire	15
IV. 3.2.2. Traitement physico-chimiques	15
IV. 3.2.3. Traitements biologiques secondaires	15
IV. 3.3. Traitements extensifs	16
IV. 3.3.1. Lagunage naturel	16
IV. 3.3.2. Infiltration-percolation	17
IV.3.3.3. La désinfection	18
V. CONCLUSION	19

Chapitre II : Stockage et l'utilisation des eaux usées en irrigation

I. STOCKAGE	20
I. 1 Recharge de nappes aquifères	20
I. 2. Réservoirs de stabilisation	20
II. LES PRINCIPALES VOIES DE LA REUTILISATION DES EAUX USEES EPUREES	22
II. 1. La réutilisation industrielle	23
II. 2. La réutilisation municipale ou en zone urbaine	23
II. 3. La réutilisation agricole	23
III. LES NORMES DE QUALITE DES EAUX USEES DESTINEES A L'IRRIGATION DES CULTURES	23
III. 1. Une eau conforme à l'irrigation	25
III. 1.1. L'échantillonnage	25
III. 1.2. L'analyse	25
III. 1.3. L'évaluation de la conformité	25
III. 2. Les catégories des eaux usées	25
IV. IRRIGATION AVEC LES EAUX USEES TRAITEES	27
IV. 1. Méthodes d'irrigation	27
IV. 1.1. Méthodes (traditionnelles) de surface	27
IV. 1.2. Méthodes d'irrigation sous pression	27
IV. 2. Choix du système d'irrigation	28
IV. 3. Directives liées aux pratiques d'irrigation	29

Chapitre III : La réutilisation des eaux usées dans l'agriculture au Maghreb Arabe

I. INTRODUCTION	
II. LA REUTILISATION DES EAUX USEES EN AGRICULTURE EN ALGERIE	30
II. 1. Objectifs de la réutilisation des eaux usées en Algérie	32
II. 2. Valorisation Agricole des EUT	32
II. 3. Situation de la réutilisation des eaux usées brutes en irrigation en Algérie	33
II. 4. L'ONA et l'ONID, deux offices nationaux qui gèrent et exploitent les eaux usées	34
II.4.1. L'Office National de l'Assainissement (ONA)	34
II.4.1.1. Missions de l'office	35
II. 4.1.2. Organisation	35
II. 4.1.3. Exploitation et maintenance	36
II. 4.1.4. Contrôle	36
II. 4.1.5. La réutilisation des eaux usées REUE	36
II. 4.2. L'Office National d'Irrigation et de Drainage (ONID)	37
II. 4.2.1. Présentation de l'ONID	38
II. 4.2.2. Principales missions de l'ONID	38
II. 5. Situation actuelle de la réutilisation des eaux usées traitées en agriculture et leurs perspectives pour l'irrigation	39
II.6. Les réglementations des eaux usées traitées réutilisées en irrigation	42
II.6.1. Dispositions préliminaires	42
II.6.2. Prévention des risques liés à l'usage des eaux usées épurées en irrigation	44
III. LA REUTILISATION DES EAUX USEES DANS L'AGRICULTURE EN TUNISIE	45
III.1. Production, traitement et utilisation agricole des eaux usées en Tunisie	45
III. 1.1. Production et traitement des eaux usées	45
III. 1.2. Description sommaire de quelques stations de traitement des eaux usées	46
III. 1.3. Utilisation agricole des eaux usées traitées	48
III. 2. Cadre réglementaire et législatif de l'utilisation saine des eaux usées en agriculture	52
IV. LA REUTILISATION DES EAUX USEES BRUTES DANS L'AGRICULTURE AU MAROC	54
IV.1. Situation de la REU à Oujda	56
IV. 2. Situation de la REU à Marrakech	56
V. LA REUTILISATION DES EAUX USEES TRAITEES EN IRRIGATION EN MAROC	56
V.1. Traitement des eaux usées	57
V.2. Contexte réglementaire marocain	58
V.3. L'agriculture et l'utilisation des eaux usées traitées en irrigation	58
V.3.1. Expériences régionales de la réutilisation des eaux usées traitées en agriculture	59
VI. LA REUTILISATION DES EAUX USEES EPUREES EN IRRIGATION DANS CERTAINS PAYS EUROPEENS COMPARABLE AUX PAYS DU MAGHREB ARABE	63

VII. CONCLUSION	64
------------------------	----

Chapitre IV : Avantages et inconvénients associé à l'utilisation des eaux usées en agriculture

I. INTRODUCTION	66
II. LES BONNES PRATIQUES AGRICOLES	66
II. 1. Sélection des cultures	66
II. 2. principe de la sélection d'une méthode d'irrigation	67
II. 2.1. Diminuer le contact avec les eaux usées	67
II. 2.2. Fonctionnement et entretien	68
II. 2.3. Eviter le maximum le problème de l'excès d'azote	68
II. 2.4. Eviter le problème de colmatage	69
III. LES ENJEUX DE LA REUTILISATION DES EAUX USEES TRAITÉES EN AGRICULTURE ET LES AVANTAGES ENVIRONNEMENTAUX	69
III. 1. Enjeux environnementaux	69
III. 2. Enjeux économiques	70
III. 3. Enjeux sociaux	70
IV. LES EFFETS NEGATIFS POTENTIELS ASSOCIÉ A L'UTILISATION DES EAUX USEES EN IRRIGATION	71
IV. 1. Le risque environnement	71
IV.1.1. Effets sur le sol	71
IV.1.2. Effets sur les eaux souterraines	71
IV. 2. Les risques microbiologiques	72
IV. 2.1. Risques sur les cultures irriguées	72
IV. 2.2. Risques sur les voisinages et les agriculteurs	72
IV. 3. Le risque chimique	72
IV. 3.1. Les métaux lourds	73
IV. 3.2. Toxicité spécifique des ions	73
IV. 4. Risques sanitaires lié à la réutilisation des eaux usées en agriculture	74
V. CONCLUSION	75
CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS	76

Références bibliographiques

INTRODUCTION GENERALE

L'eau est d'une importance capitale pour la plante, il faut en moyenne six cents gramme d'eau pour produire un gramme de matière sèche végétale. Les eaux usées contiennent divers éléments nutritifs pour la terre, notamment les composés à base de nitrates, de phosphore, et de potassium.

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. 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, l'industrialisation et les changements climatiques qui exercent également une grande pression sur les ressources en eau.

L'utilisation des eaux usées domestiques pour irriguer certaines terres agricoles est connue depuis la fin du 14^{ème} siècle, en Italie (Milan), en France (Paris). Il est démontré dans plusieurs pays, en INDE, en AUSTRALIE et aux USA, qu'une bonne gestion des systèmes d'irrigation par les eaux usées partiellement traitées permet d'augmenter la production alimentaire et par-là même, d'améliorer la santé, la qualité de vie et les conditions sociales.

Au niveau mondial, et en particulier dans les milieux urbains et périurbains des zones arides et semi arides, les eaux usées domestiques constituent l'essentiel des eaux usées urbaines. La réutilisation de ces eaux usées, après leur traitement, est une technique en pleine expansion et la pratique la plus répandue. Principalement dans le domaine agricole, les usages de prédilection sont l'irrigation des cultures et la recharge des nappes. Dans les autres secteurs économiques, l'irrigation des terrains de Golf et des jardins d'hôtels.

La réutilisation des eaux usées en agriculture est considérée à la fois comme une source d'irrigation et comme une source d'éléments nutritifs pour les cultures (azote, phosphore, potassium). Cette pratique permet aux agriculteurs de réduire de l'achat d'engrais chimiques et de matières organiques utilisés pour amender les sols et régénérer l'humus.

La réutilisation agricole des eaux usées traitées est une pratique largement répandue dans le monde et essentiellement dans les régions affectées par des pénuries des ressources en eaux. Afin de combler les déficits hydriques, cette réutilisation est une action volontaire et planifiée qui vise

la production de quantités complémentaires en eau de bonnes qualités pour l'agriculture. Elle peut aussi constituer une stratégie prometteuse qui peut avoir de nombreux avantages sur le plan économique ainsi que pour la santé de la population. Elle peut contribuer à atténuer les problèmes de pénuries d'eau et à réduire la pollution de l'eau. Par conséquent, cette réutilisation est illustrée par les motivations principales suivantes :

- Réaliser des économies d'eau, par conséquent, générer l'augmentation des ressources en eau ;
- Protéger les cours d'eau, les plans d'eau, qui auraient pu être pollués par les rejets des stations d'épurations ;
- Assurer l'équilibre du cycle d'eau et la protection du milieu environnant.

La réutilisation des eaux usées d'une collectivité à des fins agricoles consiste à récupérer les eaux d'égout, après qu'elles aient été épurées dans une station d'épuration (STEP), à les stocker et à les utiliser dans l'agriculture.

Le déversement des eaux usées brute dans le milieu naturel sans traitement préalable est à l'origine de graves problèmes de pollution de l'environnement et sur la santé humaine; car les eaux usées peuvent véhiculer un nombre important de micro-organismes pathogènes avec de fortes teneurs en toxines. Ce problème peut être néfaste si ces eaux sont utilisées dans l'agriculture sans aucune restriction. Alors, le traitement de ces eaux est nécessaire avant leur réutilisation en irrigation.

L'objectif du traitement des eaux usées au préalable est précisément de réduire considérablement, sinon d'éliminer en totalité, les risques sanitaires. Par conséquent, le traitement des eaux usées constitue la meilleure solution pour se conformer aux directives de l'OMS pour assurer une utilisation agricole appropriée. Cette directive fixe des valeurs limites de tous les paramètres des eaux usées destinées à l'irrigation et des recommandations strictes qui doivent être prises en compte dans tous les projets pour d'atténuer les risques.

Si les recommandations et les précautions particulières ne sont pas prises, l'utilisation agricole des eaux usées peut contribuer à la transmission des maladies d'origine hydrique.

La rareté de l'eau en Maghreb Arabe, qu'elle soit structurelle (principalement pour les ressources souterraines), conjoncturelle (années de sécheresse), la croissance démographique et l'urbanisation rapide et intense qui induisent un fort accroissement de la demande en eau, sont les principaux mobiles qui nous poussent à rechercher des ressources alternatives pour palier à la pénurie en eau conventionnelle. La réutilisation des effluents urbains surtout en agriculture est

largement pratiquée et systématisée, dans les pays du Maghreb arabe (Tunisie, Maroc et l'Algérie).

L'objectif principal du présent travail intitulé « Réutilisation des eaux usées dans l'agriculture urbaine et périurbaine au Maghreb Arabe. Avantages et les inconvénients », est permet faire un état des lieux et un diagnostic de l'utilisation des eaux usées en agriculture notamment dans les pays de Maghreb Arabe. D'autres objectifs sont aussi visés dans ce travail :

- La présentation des problématiques de l'irrigation des pays sus-cités,
- L'identification des enjeux,
- Les avantages et les inconvénients engendrés par la réutilisation des eaux usées,

Notre travail se compose de trois chapitres essentiellement bibliographiques.

Dans le premier chapitre, nous avons présenté les eaux usées, leurs origines, leurs compositions, les méfaits de leur utilisation de façon brute et les différents procédés d'épuration et traitement.

Dans le deuxième chapitre, nous avons dressé un diagnostic général de la réutilisation des eaux usées dans l'agriculture urbaine et périurbaine au Maghreb Arabe.

Dans le troisième et dernier chapitre, nous avons identifié et cité les avantages et les inconvénients qui peuvent être engendré par la réutilisation des eaux usées dans l'agriculture.

I. INTRODUCTION

Les eaux usées sont chargées avec des matières nocives pour le sol et les plantes. Elles contiennent généralement de fortes concentrations en agents pathogènes qui peuvent être transmis à l'homme, soit par voie orale (consommation de légumes souillés) soit par une pénétration à travers la peau (Bensaid, 2002), ces eaux véhiculent des pollutions qui posent des problèmes sur la santé publique. Si beaucoup de composants des eaux usées (microorganismes pathogènes, métaux lourds, micropolluants organiques,...) sont sources d'inconvénients, d'autres constituants (matières organiques, azote, phosphore, potassium) aident à la fertilisation des sols (Faby, 2003). Dans tous les cas, les eaux usées doivent être épurées avant leur réutilisation.

II. ORIGINE DES EAUX USÉES ET DOMAINES D'ACTIVITÉS

L'assainissement vise à assurer l'évacuation et la collecte des eaux usées pour un éventuel traitement, afin de minimiser les risques pour la santé et l'environnement.

Généralement, les eaux usées incluent les eaux de pluie, de drainage, de lavage, les eaux usées de toilettes, les excréments, et les déchets solides....

Les eaux usées portent essentiellement des quantités des rejets liquides après consommation provenant des habitations et lieux d'activité (fr.wikipedia.org, 2012 a).

Ces rejets liquides peuvent être de quatre natures :

- Les eaux de ruissellement.
- Les rejets d'origine domestique.
- Les rejets ou eaux industrielles.
- Les eaux d'irrigation (agricole) (Lebboukh, 2003).

II. 1. Les eaux de ruissellement

Les eaux pluviales qui s'écoulent là où le sol est rendu imperméable par la construction de routes et de bâtiments, ruissellent, charrient à leur tour tout ce qu'il y a sur les sols et se polluent. Les eaux de ruissellement contiennent la plus part du temps, des sables, les déchets des trottoirs, des routes, etc.

L'assainissement vise donc à évacuer ces eaux vers le milieu naturel, tels que des cours d'eau ou les conduites d'assainissement, pour ensuite les acheminer vers les stations d'épuration quand cela est possible.

Il est installé des bassins de rétention d'eaux, des ouvrages de régulation du débit et des stations de pompage anti-crues visant à assurer la protection du milieu naturel, contre les inondations, la détérioration des routes et des bâtiments.

Effectivement, lors de très fortes et/ou de très longues précipitations, les volumes d'eau à traiter dans les stations d'épuration (STEP) peuvent dépasser les capacités de stockage et de traitement, à ce moment, les excédents d'eaux pluviales sont rejetées dans les rivières afin de garantir le bon fonctionnement des réseaux d'assainissement et de protéger les constructions avoisinantes (habitations, commerces, administrations, etc.) (Bouchelkia, 2011).

II. 2. Les eaux usées d'origine domestique

Les eaux usées d'origine domestique comprennent :

- Les matières minérales : constituées de résidus simples.
- Les matières organiques : se présentant sous trois formes :
 - ✓ matières en suspension décantables en deux heures
 - ✓ matières en suspension non décantables en deux heures
 - ✓ matières dissoutes : tous les germes de matières fécales, les germes pathogènes et les bactéries en suspension.

II. 2.1. Les eaux domestiques ménagères

Qui ont comme origine les salles de bains de toilette et les cuisines. Elles sont généralement chargées de déchets organiques émulsionnées par des détergents.

II. 2.2. Les eaux domestiques de vannes

Composées principalement, des urines et des matières fécales, riches en azote, phosphate, potassium et représentées essentiellement par des coliformes fécaux.

II. 3. Les eaux industrielles

Composées de déchets liquides obtenus lors de la transformation des matières premières en produits industriels, généralement chargées de produits chimiques et des métaux lourds. Ces eaux sont extrêmement variées selon le genre d'industrie.

Elles contiennent des substances, pouvant être acides ou alcalines, corrosives à température élevée et souvent colorées et turbides (Lebboukh, 2003).

II. 4. Eaux agricoles

Les eaux d'origine agricole sont dues à l'utilisation intensive d'engrais permettant une augmentation des rendements mais qui engendre une importante pollution dans les eaux des terres cultivées par des substances minérales et organiques parfois toxiques.

Le lessivage résiduel des engrais chimiques par les eaux de pluie ou d'irrigation les entraînent vers le milieu hydraulique (lacs, cours d'eau) par le drainage. Ce qui se traduit par la formation d'algues et une concentration des matières en suspension très élevée (Lebboukh, 2003).

III. COMPOSITIONS DES EAUX USEES

Les eaux usées contiennent des matières solides, des substances dissoutes et des microorganismes. Ces derniers sont la cause des principales restrictions imposées à la réutilisation des eaux usées (Faby, 2003).

La composition des eaux usées brutes dépend :

- Essentiellement de l'activité humaine (eaux ménagères et eaux vannes).
- De la composition des eaux d'alimentation en eau potable, de la nature des matériaux entrant dans la constitution des canalisations d'eau, pour les composés chimiques.
- De la nature et de la qualité des effluents, industriels éventuellement rejetés dans le réseau urbain (Faby, 2003).

III. 1. Microorganismes

Les eaux usées contiennent tous les microorganismes excrétés avec les matières fécales et les microorganismes pathogènes. Ces microorganismes peuvent être classés en quatre grands groupes :

- Les bactéries ;
- Les Virus ;
- Les protozoaires ;
- Les helminthes (Faby, 2003).

III. 1.1 Les bactéries

Les eaux usées brutes contiennent environ 10^6 à 10^7 bactéries/100 ml dont 10^5 sont des entérobactéries, 10^3 à 10^4 streptocoques et 10^2 à 10^3 clostridiums. La concentration en bactérie pathogènes est de l'ordre 10^4 /l. Les plus fréquemment rencontrées, les salmonelles qui sont responsables de la typhoïde et des troubles intestinaux.

III. 1.2 Les Virus

Leur concentration dans les eaux usées est comprise entre 10^3 et 10^4 particule/l. Parmi les virus entériques humains les plus importants nous avons les entérovirus, les rotavirus et les rétrovirus.

III. 1.3 Les protozoaires

Parmi les protozoaires les plus importants du point de vue sanitaire, il y a ceux qui sont responsables de la dysenterie (maladie intestinale); les protozoaires passent par une forme de résistances forment des kystes qui peuvent être véhiculés par les eaux usées.

III. 1.4 Les helminthes

Les helminthes sont fréquemment rencontrés dans les eaux usées urbaines. Le nombre d'œufs d'helminthes peut être évalué entre 10 et 10^3 d'œufs /l. Parmi ces œufs on trouve notamment les *Ascaris* et les *tænia*s (Faby, 2003).

Tableau I-1: Caractéristiques de quelques agents pathogènes des eaux usées (Faby, 2003).

Agents	Quantité excrétée part/l	Survie
Virus		
Enterovirus	10^7	3 mois
Hépatite A	10^6	-
Rotavirus	10^6	-
Bactéries		
Colibacilles	10^8	3mois
Salmonella tphi.	10^8	2 mois
Autres Salmonelles	10^8	2-3 mois
Shigella	10^7	1 mois
Parasites		
Amibe dysent.	10^7	25 jours
Giardia Imablia	10^5	25 jours
Taenia	10^4	> 1 an
Ascaris	10^4	9 mois

III. 2. Matières en suspensions et matières organiques

Les matières en suspension sont en majeure partie de nature biodégradable. La plus grande part des microorganismes pathogènes contenus dans les eaux usées est transportée par les MES. Les particules en suspension, plus lourdes que l'eau, sont éliminées par décantation. C'est une étape simple dans la réduction de la charge organique des eaux usées et de la teneur en germes pathogènes. Toutefois, un traitement beaucoup plus poussé généralement pourrait être requis pour faire face aux risques sanitaires. Une présence excessive de matières en suspension peut entraîner des difficultés de transport et de distribution des effluents ainsi que le bouchage des systèmes d'irrigation.

Les concentrations significatives des matières organiques peuvent entraîner des odeurs désagréables, notamment s'il arrive que les eaux stagnent au surface du sol (Faby, 2003).

III. 3. Substances nutritives

L'azote, le phosphore, le potassium, les oligo-éléments, le zinc, le bore et le soufre, se trouvent dans les eaux usées en quantités appréciables, mais en proportion très variable par rapport aux besoins des cultures.

Ces éléments peuvent être en excès par rapport aux besoins de la plante et provoquent des effets négatifs, aussi bien au niveau de la culture que des sols.

Un contrôle périodique de la quantité de nutriments présents dans l'effluent est nécessaire (Faby, 2003).

III. 3.1. L'azote

Dans certains cas, un apport d'azote excédentaire par rapport aux besoins des cultures peut provoquer dans un sol très perméable la contamination facile des eaux souterraines.

Si l'azote est en quantité excessive pendant l'irrigation des cultures avec les EU, il peut perturber certaines productions, retarder la maturation de certaines cultures, tels que les abricots, les agrumes, les avocats, la vigne et altérer leur qualité, par exemple réduire la teneur en sucre des fruits ou des betteraves (Faby, 2003).

III. 3.2. Le phosphore

La concentration en phosphore dans les effluent varie de 6 à 15 mg/l, si l'élimination du phosphore n'est pas assurée durant l'épuration. La teneur en phosphore dans les eaux usées est généralement trop faible. Mais s'il y a un excès, le phosphore est retenu dans le sol par des réactions d'absorption et de précipitation. Cette rétention est d'autant plus effective que le sol contient des oxydes de fer, d'aluminium ou du calcium en quantités importantes (Faby, 2003).

III. 3.3 Le potassium

La concentration en potassium dans les effluents secondaires varie de 10 à 30 mg /l et permet donc de répondre partiellement aux besoins des cultures (Faby, 2003).

III. 4. Eléments traces

Certains éléments traces sont nécessaires en très faibles quantités pour le développement des végétaux tels que le bore, le fer, le manganèse, le zinc, le cuivre.

L'irrigation à partir des eaux usées va apporter ces éléments, mais aussi d'autres éléments non indispensables à la plante et très nocifs pour les êtres humains, tels que le plomb, le mercure, le cadmium, le brome, le fluor, l'aluminium, le nickel, le chrome et le sélénium (Faby, 2003).

Tableau I-2: Concentration en éléments traces recommandées pour les eaux d'irrigation (Faby, 2003).

Elément (symbole)	Eaux utilisées en permanence sur tous types de sols (mg/l)	Utilisation allant jusqu'à 20 ans sur des sols a texture fine ayant un ph de 6 à 8,5 (mg/l)
Aluminium (Al)	5,0	20,0
Arsenic (As)	0,1	2,0
Béryllium (Be)	0,1	0,5
Bore (B)	1	2,0
Cadmium (cd)	0,01	0,05
Chrome (Cr)	0,1	1,0
Cobalt (Co)	0,05	5,0
Cuivre (Cu)	0,2	5,0
Fluore (F)	1,0	15,0
Fer (Fe)	5,0	20,0
Plomb (Pb)	5,0	10,0
Lithium (Li)	2,5	2,5
Manganèse (Mn)	0,2	10,0
Molybdène (Mo)	0,01	0,05
Nickel (Ni)	0,2	2,0
Sélénium (Se)	0,02	0,02
Vanadium (V)	0,2	1,0
Zinc (Zn)	2,0	10,0

Ces éléments ne doivent normalement pas endommager ni les plantes ni le sol.

Les éléments traces sont en général fixés dans les couches supérieures du sol. Cette accumulation peut avoir des risques pour le développement des plantes. Les métaux lourds qui présentent les risques les plus notables sont le cadmium, le cuivre, le molybdène, le nickel, et le zinc.

Les concentrations en métaux lourds dans les eaux usées traitées sont faibles et ne constituent pas un facteur limitant la réutilisation des eaux usées en irrigation. L'essentiel de ces métaux est retenu dans les boues des stations d'épuration.

- **les éléments toxiques organiques**

Une grande variété de composées organiques peut se trouver dans les effluents surtout en provenance des rejets industriels. Certains se forment aussi lors des traitements de désinfection des effluents par le chlore.

Les principales familles de la chimie organique de synthèse sont les hydrocarbures polycycliques aromatiques, les chloraux-phénols, les ph-talâtes, etc. avec une concentration de l'ordre de 1 à 10 µg/l dans les effluents (Faby, 2003).

III.5. Salinité

Le principal critère d'évaluation de la qualité des eaux usées dans la perspective d'un projet d'irrigation est sa concentration totale en sels solubles.

La concentration en sel des eaux usées dépasse celle de l'eau potable de quelque 200 mg/l (Faby, 2003).

Il ya deux conséquences néfastes d'une salinité excessive dans les eaux usées d'irrigation :

- les dommages sur le sol et sur les rendements culturaux.
- Les dommages causés à la culture.

✓ Salinisation

Le phénomène de l'évaporation des plantes peut conduire à l'augmentation de la salinité de l'eau du sol. La pression osmotique de l'eau du sol augmentant avec sa concentration en sels dissous, la plante consacre alors l'essentiel de son énergie non pas à se développer, mais à ajuster la concentration en sel de son tissu végétale de manière à pouvoir extraire du sol l'eau qui est nécessaire (Faby, 2003).

Tableau I-3: classes de qualité de salure de l'eau d'irrigation (Faby, 2003).

Qualité de l'eau	Sels solubles correspondants estimés en NaCl (mg/l)
Excellente	< 160
Faibles salinité	160-500
Forte salinité	500 -1500
Très forte salinité	1500 - 3600

IV. PROCÉDES D'ÉPURATION DES EAUX USÉES

IV. 1. Définition de la pollution des eaux usées

La pollution est une modification défavorable des matières naturelles qui apparait en totalité ou en partie comme le sous-produit de l'action humaine. Ces modifications peuvent affecter l'homme directement ou à travers des ressources en produits agricoles, en eau et autre produits biologiques.

Elles peuvent l'affecter en altérant les objets physiques qu'il dispose, les possibilités récréatives du milieu ou encore en polluant la nature. Il est distingué trois types de pollution, domestique, industrielle et agricole.

Le potentiel de pollution de l'effluent sera apprécié par une série de mesures. Les nuisances susceptibles d'être induites dans le milieu récepteur par le rejet de l'effluent sont les matières organiques, substances minérales, métaux lourds et substances toxiques, etc (Lebboukh, 2003).

L'épuration des eaux usées a pour but :

- De lutter contre les différentes maladies à transmission hydrique.
- D'éliminer la charge organique et microbienne responsables de différentes odeurs nocives.
- De protéger l'environnement contre toute pollution et dégradation.
- De créer une nouvelle source d'eau à réutiliser.

IV. 2. Définition de quelques paramètres, caractérisant la pollution

IV. 2.1. Les paramètres physiques

a. La température

Elle modifie essentiellement la concentration de l'oxygène dissous. Elle joue un rôle important dans la solubilité des sels et surtout des gaz (en particulier O₂) dans l'eau ainsi que, dans la détermination de la valeur du PH et de la vitesse des réactions chimiques. Elle influe sur la multiplication des micro-organismes (croissance des microorganismes vivants dans l'eau).

b. La couleur

Elle est liée principalement aux éléments dissous et surtout aux rejets des produits industriels.

c. La turbidité

Elle caractérise le degré de non transparence de l'eau, elle est liée à la présence des matières en suspension dans les eaux usées. Elle donne une première indication sur la matière colloïdale d'origine organique ou minérale.

d. Les matières en suspension (MES)

Ce sont des matières maintenues en suspension grâce aux écoulements turbulents et leur densité est voisine de celle de l'eau. Elles comportent des matières organiques et minérales. Ce paramètre est exprimé en mg/l, mesuré par pesée après filtration ou centrifugation et séchage à 105°C.

e. Les matières volatiles en suspension (MVS)

Elles représentent la fraction organique de la matière en suspension. Elles sont mesurées par calcination à 650°C d'un échantillon. Elles sont appelées « les partes au feu ».

f. Le résidu sec

Il présente la fraction minérale des matières en suspension. C'est la différence entre MES et MVS. Il correspond à la présence de sels minéraux de silices et poussières.

g. Les matières décantables

C'est la fraction des matières en suspension qui sédimente en un temps donné, généralement égal à deux heures.

IV. 2.2. Les paramètres chimiques et biologiques**a. La demande biochimique en oxygène (DBO)**

C'est la quantité d'oxygène renfermé dans les effluents utilisés en 5 jours par les micro-organismes (les bactéries) pour décomposer les matières organiques à une température donnée. Dans les ouvrages, cette consommation d'oxygène est dite DBO₅. L'épuration biologique aérobie exige un temps de 21 jours (DBO₂₁ dit ultime) nécessaire pour l'oxydation des composés azotés biodégradables, ou de 28 jours sinon 35 jours, qui représentent les temps de dégradation de certaines familles d'hydrocarbures.

b. La demande chimique en oxygène (DCO)

C'est la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder toutes les matières organiques et les matières minérales contenues dans les eaux usées par les microorganismes. Mesurée par la consommation d'oxygène à 20°C.

c. Carbone total organique COT

Détermine les propriétés variables du carbone organique dissous et particulaire. Sa mesure est réalisée par un analyseur de CO₂ à infrarouge après combustion catalytique à haute température de l'échantillon.

d. Azote total NT

Exprimé en mg/l, ce paramètre devient de plus en plus important. C'est la somme d'azote des formes réduites (organiques et ammoniacal). Il est appelé azote de KJELDAL et l'azote des formes oxydées (NO₂⁻, NO₃⁻). La présence de l'azote ammoniacal NH₄⁺ dans l'eau usée est un signe de pollution organique. L'azote nitrate NO₃⁻ provient essentiellement des engrais chimique et des rejets industriels.

e. Les formes de phosphore

Le phosphore se trouve dans les eaux usées sous formes:

- Orthophosphate, la forme la plus courante est PO₄⁻³.

- Phosphore totale : somme de P contenue dans les orthophosphates, les polyphosphates et les phosphore organique.

La somme de ces diverses formes constitue le phosphore total, dont chaque forme peut être mesurée indépendamment des autres par spectrométrie.

f. Le PH

Ce facteur conditionne le traitement chimique de l'eau usée et participe dans la corrosion de l'équipement. Il exprime le potentiel en hydrogène, indique la concentration en ion H^+ . Il joue un rôle important dans :

- Les propriétés physique-chimiques de l'eau (l'acidité et l'alcalinité),
- L'efficacité de certains procédés (coagulation-floculation),
- Le processus biologiques.

g. La conductivité électrique

Elle est proportionnelle à la quantité des sels ionisables dissouts. Elle constitue une bonne indication du degré de minéralisation des eaux usées.

IV. 3 Traitement des eaux usées

Les eaux usées brutes ne doivent pas être directement réutilisées. Un traitement est toujours nécessaire, différent selon le type de culture et le mode d'irrigation choisis. Les objectifs principaux sont :

- Permettre l'irrigation par les eaux usées, en réduisant les risques de colmatage,
- Eviter les mauvaises odeurs,
- Eliminer les microorganismes pathogènes chaque fois que la réglementation l'exige,
- Réduire la teneur en azote.

Le choix des filières de traitement des eaux usées réutilisées à des fins agricoles est une procédure délicate qui doit prendre en compte des aspects techniques (choix des procédés, des infrastructures et des équipements existants), réglementaires locaux (normes), sociaux (spécificités culturelles, acceptabilité) et économiques (sources de financement des équipements et de l'exploitation). Aussi, le type de système d'irrigation, les caractéristiques du sol et le type de culture à irriguer, en vue de garantir une ressource alternative, à un coût économiquement acceptable et sans risques pour la santé publique et l'environnement (www.snaasco.com, 2012. www.inbo news.org, 2012).

IV. 3.1. le prétraitement

Les effluents brutes contiennent des matières grossière, floculant ou bien en suspension telle que les morceaux des papiers, les huile, les graisses, les plastiques, qui sont non dégradables et gênent énormément les processus d'épuration. Ils peuvent être à l'origine de panne et des arrêts fréquents de la station d'épuration (STEP) (Boumedienne, 2011). Par

conséquent, le but du prétraitement de l'effluent est de débarrasser l'effluent de ces matières. Parmi ces opérations on trouve :

- Le dégrillage.
- Le dessablage.
- Le déshuilage, dégraissage.

IV. 3.1.1. Dégrillage

Son principe consiste à faire passer l'eau brute d'entrer à travers des grilles pour éliminer les matières les plus volumineuses. Ces grilles composées de barreaux sont placées verticalement ou inclinés de 60° à 80° sur l'horizontal. Le choix d'espacement des barreaux varie suivant la nature de l'effluent. Un espacement de 10 mm (dégrillage fin) maximum est utilisé pour protéger les filières d'épuration des eaux ou des boues spécifiques. Plus souvent, l'espacement des barreaux est de 2,0 à 2,50 cm pour un dégrilleur mécanique et de 3 à 4 cm pour un dégrilleur manuel. La vitesse moyenne de passage de l'effluent entre les barreaux est admise entre 0,6 et 1 m/s (Mekhalif, 2009. Boumedienne, 2011).

IV. 3.1.2. Le dessablage

Les effluents bruts véhiculent souvent des matières minérales grossières en suspension tels que les sables et les graviers, dont la vitesse de chute est inférieure à 0,3 m/s, par conséquent, le dessablage a pour but de protéger les conduites et les pompes contre le colmatage.

Le dessableur est un bassin à section élargie et rectangulaire, à font plat dont lequel la vitesse de circulation d'eau est d'environ 0,3 m/s. Se qui permet de sédimenter la majeure partie des sables. Pendant le dessablage :

- l'eau brute est admise sur toute la largeur de bassin et sort du la coté opposé.
- les sables déposés seront évacué par un raclage.
- le temps de séjour de l'eau brute dans le dessableur est d'environ 3 à 5 minutes ;
- le volume de sable récuré dans le dessableur varie de 5 à 12 l/hab/an. Il dépend de la nature de l'effluent, du type de réseau et l'état de la voirie (Mekhalif, 2009. Boumedienne, 2011).

IV. 3.1.3. Le déshuilage dégraissage

Est une opération destiner à éliminer les huiles et les graisses par flottation. Le déshuilage est une extraction liquide-liquide tandis que le dégraissage est une extraction solide-liquide. Le déshuilage dégraissage se rapporte à l'extraction de toutes matières flottantes d'une densité inférieure à celle de l'eau. Ces matières sont de nature très diverses (huiles, hydrocarbures, graisses...). Elles peuvent former une émulsion stable entretenue par le brassage de l'eau (Mekhalif, 2009. Boumedienne, 2011).

IV. 3.2. Traitement conventionnels ou intensifs

IV. 3.2.1. Décantation primaire

Elle est chargée d'éliminer la fraction la plus grossière des matières décantables des eaux usées. 40 à 60% des matières en suspension sont éliminées et aussi de 25 à 40% des matières organiques. La décantation primaire peut éliminer les Verus et les bactéries. Dans un bassin de décantation classique, ayant un temps de séjour de 2 à 3 heures, et une vitesse montante de 1,2 m/h, le rendement d'élimination global des œufs d'helminthes est de 50 à 90%. Les kystes de protozoaires les plus petits, de sédimentation trop faible sont moins éliminés (moins de 50%) (Faby, 2003. Boumedienne, 2011).

IV. 3.2.2. Traitement physico-chimiques

Les traitements de coagulation et de floculation permettent, grâce à l'addition de réactifs chimiques, de séparer les particules fines en suspension et une partie de la fraction colloïdale. Après la coagulation et la floculation, la séparation de la phase aqueuse et la phase solide est réalisée par un traitement physique (décantation ou flottation) qui permet aussi d'éliminer des matières en suspension ou colloïdales décantant ou flottant difficilement (Faby, 2003. www.snaasco.com, 2012).

La charge polluante organique est réduite dans des proportions bien supérieures à ce qu'assure une simple décantation primaire. L'élimination des coliformes fécaux et des Verus est en fonction de la valeur du PH qui résulte de l'ajout de flocculant (Faby, 2003).

IV.3.2.3. Traitements biologiques secondaires

a. lits bactériens

Les eaux usées prétraités sont distribués régulièrement par un dispositif d'arrosage sur un bassin circulaire rempli par des pierres brisées tels que les Pouzzolanes, mâchefers, ou de garnitures plastiques. Pendant son ruissellement, elles sont oxydées par les bactéries hétérogènes du bio-film qui se développent à la surface des matériaux. Ce procédé permet, après décantation secondaire, d'obtenir des eaux épurées contenant de 30 mg/l de DCO, et de 30-40 mg/l de DBO₅ (Boumedienne, 2011. Faby, 2003).

L'élimination des kystes de protozoaires, des œufs d'helminthes, des virus et des bactéries n'est pas plus efficace. Les valeurs de 83 à 99% et de 20 à 90% sont citées pour l'élimination, respectivement, d'Entameoba hystolytica et pour les œufs d'helminthes (Faby, 2003).

b. Boues activées

L'oxygène nécessaire à l'oxydation des eaux usées est apporté au moyen d'aérateurs de surface ou de diffuseurs immergés, répartis sur le long du bassin. Les boues formées sont séparées dans un décanteur secondaire et une partie d'entre elles est recyclée vers le bassin d'aération. Les installations de boues activées sont conçues pour fournir des effluents

contenant moins de 30 mg/l de matières en suspension, moins de 25 mg/l de DBO et moins de 100 mg/l de DCO.

L'élimination des kystes de protozoaires et les œufs d'helminthes par ce procédé est plus efficace. Aussi, une partie des œufs est éliminée dans le décanteur secondaire. En conséquence, de 80 à 100% des œufs d'helminthes peuvent être éliminés par une station à boues activées.

Ce procédé a plus d'effet sur l'élimination des virus que les lits bactériens, puisque leurs taux d'élimination est de 90%. Et aussi de 99% des bactéries peuvent disparaître (Faby, 2003).

c. Biofiltration

Les procédés biologiques modernes à biomasse fixée conduisent à une excellente élimination des MES, des matières organiques et de l'élimination des microorganismes pathogènes.

IV. 3.3. Traitements extensifs

Les traitements extensifs sont souvent préférés aux traitements conventionnels pour assurer l'épuration des eaux usées des petites et moyennes collectivités. Ceci pour leur fiabilité, la simplicité de leur gestion et la modestie des coûts de fonctionnement.

Les traitements extensifs constituent d'excellents dispositifs tertiaires aptes à réduire les risques liés aux micro-organismes pathogènes.

Deux grandes catégories de systèmes extensifs sont distinguées, Le lagunage et l'épuration par infiltration (Faby, 2003).

IV. 3.3.1. Lagunage naturel

L'épuration par lagunage résulte de processus aérobies et anaérobies qui se développent dans plusieurs bassins peu profonds et disposés en série. On distingue trois types de bassins ; selon le processus dominant :

- les bassins facultatifs,
- les bassins aérobie
- les bassins de maturation.

Les principaux processus sont :

- Décantation des MES, digestion anaérobie des matières décantées,
- Oxydation des matières organiques biodégradables par les bactéries hétérogènes.

Quand le lagunage est bien dimensionné, une large fraction de l'azote et une part importante de phosphore sont éliminées.

Les études ont démontré que les systèmes de bassins de lagunage peuvent produire des effluents conformes aux normes d'irrigation de l'OMS (moins de 1 000/100 ml coliformes fécaux, moins de 1/l œuf d'helminthes) pour un temps de séjour de 20 à 90 jours suivant les conditions climatiques.

Les protozoaires et les helminthes sont éliminés essentiellement par décantation. Il semble que 100% de ces éléments peuvent être éliminés par tous les lagunages bien conçus, comportant plusieurs bassins et avec un temps de rétention supérieur à 20 jours.

la teneur en coliformes fécaux de l'effluent d'un lagunage qui comporte au moins trois bassins profonds de 0,7 à 1,2m, ayant un temps de séjour supérieur à 60 jours pour un lagunage tertiaire sous des températures de l'ordre de 20°C, n'excède pas 10³/100 ml (Faby, 2003).

IV. 3.3.2. Infiltration-percolation

L'infiltration-percolation consiste à infiltrer les eaux usées issues de traitements primaires ou secondaires dans des bassins de faible profondeur creusés dans le sol en place ou remplis de massifs sableux rapportés. Les matières en suspension sont arrêtées à la surface du massif filtrant, leur accumulation entraînant un colmatage qui doit être géré en alternant phases d'infiltration et phases de séchage. L'épuration nécessite une infiltration en milieu poreux non saturé et le renouvellement de la phase gazeuse par l'air atmosphérique qui apporte l'oxygène indispensable à l'oxydation des matières organiques et de l'azote.

Les microorganismes contenus dans les eaux usées sont éliminés par filtration mécanique. En raison de leur taille, les protozoaires et les helminthes sont retenus par filtration mécanique dans les premiers centimètres du sol. L'élimination des virus et des bactéries est en fonction du milieu poreux, de la vitesse de percolation, de l'épaisseur de massif filtrant traversée et du niveau d'oxydation de l'eau filtrée.

Pour l'azote nitrique, la teneur en sortie de traitement secondaire est d'environ 40 mg/l. Elle est réduite de 15 à 20 % par l'infiltration - percolation.

Il faut toutefois vérifier le bilan en nitrates. En cas de problème, il est possible de mettre en place un étage de dénitrification en fin de traitement secondaire. L'investissement est un peu plus cher, mais plus économique en fonctionnement.

L'infiltration – percolation permet :

- d'éliminer la pollution organique et les MES,
- de décontaminer un effluent secondaire (traitement tertiaire), avec une procédure de gestion spécifique pour éliminer l'azote au delà de 20 à 30%,

Les deux cas sont spécialement adaptés à la protection des milieux récepteurs sensibles et à la réutilisation des eaux usées (Faby, 2003. Boumediene, 2012).

IV. 3.3.3. La désinfection

Les techniques conventionnelles sont capables d'éliminer, dans des proportions variables, les matières en suspension et les matières organiques. A cet égard, la réglementation relative à la réutilisation des eaux usées distingue plusieurs niveaux de qualité d'eau, en fonction de l'élimination des œufs de parasites et des coliformes fécaux.

Les procédés conventionnels d'épuration primaire et secondaire ne garantissent pas l'élimination complète des œufs de parasite. Précisément les effluents qui sont issus des stations à boues activées, sont du type C.

Pour obtenir une eau de type B, il faut éliminer pour une grande part les œufs d'helminthes. Ce qui peut être fait en complétant la chaîne de traitement par un procédé extensif tel que, une lagune de maturation ou un stockage ou une infiltration-percolation.

Une eau de type A exige en plus l'élimination des coliformes fécaux par une méthode de désinfection. L'élimination des coliformes fécaux exige soit un traitement extensif soit un traitement conventionnel. Ces traitement sont soit chimiques (utilisation du chlore et de ses dérivés, ozonation), soit physiques (rayonnements ultraviolets, ultrafiltration) (Faby, 2003. Boumediene, 2012). Ces techniques de la désinfection sont rarement utilisées dans les pays maghrébins car leur coût est plus élevé.

Tableau I-4: niveaux de qualité d'eaux usées traitées en fonction de la teneur en œufs d'helminthes et des coliformes thermotolérans (fécaux) (Faby, 2003).

Type d'eau	Teneur en œufs d'helminthes intestinaux	Concentration en coliformes thermotolérants
A	≤1 par litre	≤ 10 ³ /100 ml
B	≤1 par litre	Pas de contrainte
C	Pas de contrainte	Pas de contrainte

- **Rayonnement UV**

Les rayons UV-C 254nm détruisent l'ADN vital pour les microorganismes. Il est nécessaire de l'utilisation des lampes pour éviter la formation de composés chimiques indésirables. Cette technique dispose d'un système automatique de mesure de l'intensité des UV dans l'eau, qui émet un signal d'alerte en cas de désinfection incomplète. La désinfection par UV ne forme pas de produits de réaction avec les matières organiques de l'eau.

Les UV sont déconseillés pour les eaux chargées en matière organique, Fe, Mn ou trop carbonatées (dépôts importants sur les lampes empêchant le rayonnement). Un nettoyage périodique des lampes est indispensable et il faut aussi contrôler leur vieillissement. Une injection complémentaire de désinfectant (Cl, Cl O₂) est nécessaire.

Pour tester l'efficacité des UV. Il faut attendre un certain temps avant de dénombrer les bactéries pour être sûr qu'elles sont bien tuées (www.snaasco.com, 2012).

- **Chloration**

Pour la production d'eau potable, dans ce procédé la double filtration est nécessaire.

Effluents secondaires → Filtration sur sable et textile → Désinfection au chlore

L'eau de Javel contient des résidus de métaux. Pour ne pas nuire au goût et n'entraîner qu'une formation limitée de sous-produits, le résiduel de Cl en réseau doit être le plus faible possible (de 0,1 à 0,2 mg/l). À des doses trop élevées, le chlore est un élément nuisible pour les plantes en cas d'aspersion.

La chloration des eaux usées est déconseillée, si ces eaux sont réutilisées en irrigation.

La chloration des eaux usées se fait sur des eaux ayant subi trois traitements : prétraitement, traitement biologique (traitement physico-chimique) et le traitement extensif. Il faut éliminer les chloramines qui peuvent se former lors de la chloration (www.snaasco.com, 2012).

- **Ozonation**

C'est le procédé le plus efficace pour éliminer les bactéries et les virus sans effets de reviviscence après plusieurs jours. Il est recommandé pour détruire les bactéries pathogènes et pour éliminer complètement les kystes.

L'ozonation permet d'inactiver les cellules algales (de couleurs, saveurs, MO, éléments toxiques...) et d'oxyder des minéraux comme Fe et Mn. Il est aussi utilisé pour la réduction de la DCO non biodégradable en cas d'un effluent industriel (www.snaasco.com, 2012).

V. CONCLUSION

A travers leur composition chimique et biologique, les eaux usées constituent un mélange très complexe. Sa composition dépend de la population à l'origine de la production des eaux usées. Elle peut être réduite par un traitement adéquat qui est donc impératif dans le cas d'une réutilisation des eaux usées épurées surtout en cas de l'irrigation des cultures.

I. STOCKAGE

Toute l'installation de la réutilisation des eaux usées nécessite un stockage plus ou moins important.

Pour régulariser les variations journalières du débit de sortie de la station d'épuration, le volume du stock sera l'équivalent de 24 à 72 heures de consommation. D'ailleurs, elle doit faire face aux risques d'interruption de l'approvisionnement en eaux épurées ou aux pannes des systèmes de traitement.

Dans les régions véritablement déficitaires en ressources en eau, le stockage est inter-saisonnier : il stocke l'eau inutilisée en période hivernale, qui sera utilisée durant l'été. Le volume stocké doit être alors l'équivalent de plusieurs mois de consommation. On distingue deux types de stockage inter-saisonnier :

- la recharge de nappe,
- les réservoirs de stabilisation.

Le choix entre ces deux procédés dépend naturellement du contexte hydrogéologique. La recharge de nappe exige une nappe phréatique suffisamment perméable, qui ne soit pas déjà exploitée pour la production d'eau potable dans la zone intéressée par la recharge, et des sites propices à l'infiltration.

Au contraire, l'installation d'un réservoir de stabilisation est moins difficile, elle demande essentiellement qu'un terrain soit disponible (Faby, 2003. Boumedienne, 2012).

I.1 Recharge de nappes aquifères

Il y a deux manières pour recharger les nappes aquifères : l'injection directe et les techniques de surface.

L'injection directe consiste à introduire les eaux usées bien traitées, directement dans l'aquifère par le moyen d'un forage. Ce procédé est très coûteux, particulièrement quand il s'agit d'eaux usées.

Les techniques de surface, l'infiltration-percolation, sont par contre beaucoup plus accessibles.

Ces techniques utilisent les capacités épuratrices des sols en place en combinant épuration complémentaire et recharge de nappe. Elles rendent possible l'utilisation d'eaux de qualité variée mais leur succès dépend beaucoup de la qualité des études hydrogéologiques et pédologiques préalables (Faby, 2003. Boumedienne, 2012).

I.2. Réservoirs de stabilisation

Le stockage de longue durée dans des bassins constitue un véritable traitement complémentaire.

Le stockage permet une diminution de la demande en oxygène, des teneurs en MES, en métaux lourds, en azote et en micro-organismes. Ces diminutions sont très variables selon la

qualité de l'eau traitée, la profondeur du réservoir, les conditions climatiques et le temps de séjour moyen de l'eau dans le réservoir.

La profondeur des réservoirs de stabilisation est de 5,5 à 15 m pour limiter les pertes par évaporation.

La partie supérieure de la masse d'eau est en aérobie; la partie inférieure est en anaérobie. Une partie de l'azote ammoniacal est éliminée, soit par désorption d'ammoniac gazeux dans l'atmosphère, soit par assimilation par les algues, soit par nitrification biologique en conditions aérobies. Cette élimination de l'ammoniac permet de réduire le dosage de chlore en cas de désinfection par le chlore après stockage. Une fraction du phosphore entré dans le réservoir se trouve accumulée dans les sédiments.

Les bactéries sont éliminées dans la tranche d'eau supérieure sous l'effet de la lumière et des pH élevés.

Le stockage est alimenté continûment ou il est rempli dans un délai de quelques jours à quelques semaines. Dans ce deuxième cas, l'efficacité de l'épuration est considérablement accrue (Faby, 2003).

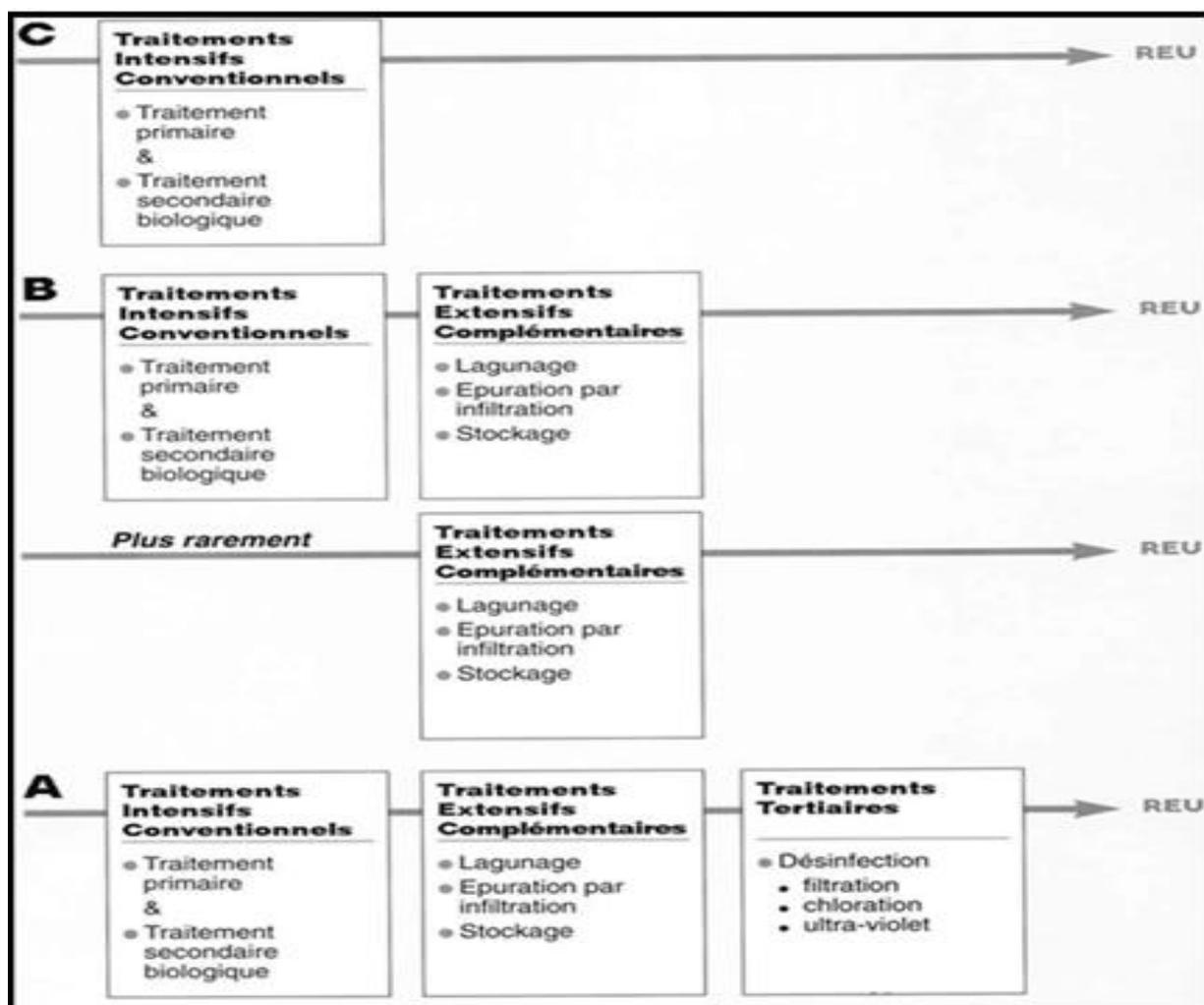


Figure II-1: Schéma générale des filières de traitement préconisé pour différentes classes de qualité des eaux usées A, B, C, en vue de la réutilisation (Faby, 2003).

II. LES PRINCIPALES VOIES DE LA RÉUTILISATION DES EAUX USÉES EPURÉES

L'objectif principal de la réutilisation des eaux usées épurées est non seulement de fournir des quantités supplémentaires d'eau de bonne qualité, mais également d'assurer l'équilibre dans le cycle de ressource en eau et la protection d'environnement.

La REUE est considérée comme une stratégie planifiée qui vise la production des quantités complémentaires en eau pour différents usages afin de combler des déficits hydriques.

Actuellement, les possibilités de la réutilisation des eaux usées sont très larges, quand la qualité est en affinité avec l'usage (Djeddi, 2007).

II. 1. La réutilisation industrielle

Les eaux usées épurées peuvent être utilisées dans les activités industrielles telles que la production d'énergie qui utilise beaucoup d'eau pour le refroidissement des machines, ou dans les stations de lavage de voiture, l'industrie du papier, la production d'acier, de textiles, etc.

II. 2. La réutilisation municipale ou en zone urbaine

Les utilisations des eaux épurées en zone urbaine sont très nombreuses :

- l'arrosage de parcs, de terrains de sport, de terrains de golf, d'aires de jeux ;
- les bassins pour la pêche;
- le lavage de voirie, réservoirs anti-incendie, etc.

II. 3. La réutilisation agricole

L'irrigation de cultures ou d'espaces verts c'est le mode le plus répandu de réutilisation des eaux usées épurées. Les EUE contiennent des éléments fertilisants (azote, phosphore et potassium) ainsi que des oligoéléments (fer, cuivre, manganèse, zinc, etc.) qui sont avantageux pour les cultures, et qui peuvent augmenter significativement le rendement. Les MES aident également à la fertilisation des sols car elles sont riches en matière organique. L'utilisation d'eaux usées à la place d'engrais de synthèse coûteux est une solution intéressante et économique pour les agriculteurs.

Les avantages de la REUE sont multiples :

- Une protection quantitative de la ressource en eau.
- Une économie d'engrais pour les agriculteurs.
- La diminution des rejets d'eaux usées dans le milieu naturel ce qui implique une diminution de la pollution agricole.

III. LES NORMES DE QUALITE DES EAUX USEES DESTINEES A L'IRRIGATION DES CULTURES

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. 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 ou autres.

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 des eaux usées, la limitation des cultures, le contrôle de l'utilisation des eaux usées et le contrôle de l'exposition. 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 qui peut être destinée à l'irrigation, ces nombres sont considérés comme des normes. Donc la pollution microbiologique dans les eaux usées traitées selon l'OMS doit être moins de 1000 coliformes fécaux/100ml et moins de 1 œuf d'helminthe /l. Ces normes ont pour objectif principal l'élimination des risques sanitaires pour pouvoir procéder à une irrigation sans restriction (El mehdi, 2010. www.eurojournals.com, 2012).

Les recommandations de l'OMS pour les rejets des eaux usées sont :

$DBO_5 \leq 25 \text{ mg/L}$

$DCO \leq 125 \text{ mg/L}$

$MES \leq 35 \text{ mg/L}$ (Boukli, 2011).

Ces normes définissent la qualité des eaux usées destinées à l'irrigation. Elles ont été établies afin de :

- protéger les usagés et les ouvriers agricoles ;
- protéger les consommateurs des produits agricoles ;
- protéger les ressources en eau superficielles et souterraines et les sols ;
- protéger le matériel d'irrigation ;
- maintenir des rendements acceptables (www.eau-tensift.net, 2012).

Nous citons dans le tableau II-1 les valeurs limites de tous les paramètres des eaux usées destinées à l'irrigation :

Tableau II-1: les valeurs limites des paramètres bactériologiques (www.eau-tensift.net, 2012).

Paramètres	Valeurs limites
Coliforme fécaux	1000/100 ml
salmonelle	Absence dans 5 l
Vibron cholérique	Absence dans 450 ml

Tableau II-2: les valeurs limites des paramètres parasitologiques (www.eau-tensift.net, 2012).

Paramètres	Valeurs limites
Parasites pathogènes	Absence
Œufs, kystes de parasites	Absence
Larves d'ankylostomides	Absence
Fluococercaires de Schistosomes hoematobium	Absence

Tableau II-3 : les valeurs limites des paramètres toxiques (www.eau-tensift.net, 2012).

Paramètres	Valeurs limites
Mercure (Hg) en mg/l	0 ,001
Cadmium(Cd) en mg/l	0,01
Arsenic (As) en mg/l	0,1
Chrome total (Cr) en mg/l	1
Plomb (Pb) en mg/l	5
Cuivre (Cu) en mg/l	2
Zinc (Zn) en mg/l	2
Sélénium (Se) en mg/l	0,02
Fluor (F) en mg/l	1
Cyanures (CN) en mg/l	1
Phénols en mg/l	3
Aluminium (Al) en mg/l	5
Beryllium (Be) en mg/l	0,1
Cobalt (Co) en mg/l	0,5
Fer (Fe) en mg/l	5
Lithium (Li) en mg/l	2,5
Manganèse (Mn) en mg/l	0,2
Molybdène (Mo) en mg/l	0,01
Nickel ((Ni) en mg/l	2
Vanadium(V) en mg/l	0 ,1

III. 1. Une eau conforme à l'irrigation

III. 1.1. L'échantillonnage

Pour les eaux usées épurées, le cycle de mesures ou le nombre minimal d'échantillons sur la base duquel une eau destinée à l'irrigation est dite conforme aux normes est fixé comme suit :

- 4 par an à raison de 1 par trimestre pour analyser les métaux lourds ;
- 24 par an à raison de 1 tous les 15 jours pour analyser les paramètres bactériologiques, parasitologiques et physico-chimiques.

Les prélèvements des échantillons d'eaux usées épurées doit s'effectuer à la sortie des stations d'épuration.

III. 1.2. L'analyse

Les paramètres indicateurs de la qualité de l'eau destinée à l'irrigation sont mesurés selon les méthodes normalisées et universellement connues.

III. 1.3. L'évaluation de la conformité

Toute eau dont les caractéristiques respectent les valeurs limites inscrites dans les tableaux des normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation est une eau valable pour l'irrigation (www.eau-tensift.net, 2012).

III. 2. Les catégories des eaux usées

Pour chaque catégorie d'eau usée, il est recommandé d'employer un procédé de traitement susceptible d'assurer la qualité microbiologique exigée.

Il est distingué trois catégories des eaux 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, l'arrosage des terrains de sport, des jardins, d'espaces verts ouverts au public. Ce niveau de contraintes A consiste à assurer, la protection des personnels des exploitations et du bétail. Dans ce type d'irrigation, le taux de coliformes dans 100 ml d'eau ne doit pas dépasser 1000 coliformes, tandis que le nombre d'œufs de nématodes par litre d'eau ne doit pas dépasser un œuf.
- la catégorie B, dont le groupe exposé est composé principalement d'ouvriers agricoles, travaillant dans l'irrigation de cultures céréalières, fourragères, des pépinières et des cultures de produits végétaux consommables après cuisson (pommes de terre, choux, carottes, tomate ...). Ce niveau est requis pour l'irrigation des cultures par le système gravitaire. Dans cette catégorie, il est recommandé que le nombre d'œufs de nématodes par litre d'eau ne doit pas dépasser un œuf, cependant, rien n'est recommandé pour les coliformes fécaux, ceci permettra d'assurer une protection de la population vis à vis du risque parasitologique.
- La catégorie C, comprend la même irrigation que celle identifiée dans la catégorie B, mais aucun ouvrier n'y est exposé. Il s'agit principalement des techniques d'irrigation souterraine ou localisées, pour des cultures céréalières, industrielles et fourragères, des vergers et des zones forestières mais aussi pour les espaces verts non ouverts au public. En effet, aucune dose maximale n'est définie, ni pour les œufs de nématodes ni pour les coliformes fécaux (www.vulgarisation.net, 2012).

IV. IRRIGATION AVEC LES EAUX USEES TRAITÉES

L'irrigation est une opération consistant à apporter artificiellement de l'eau à des végétaux cultivés pour augmenter la production, et permettre leur développement normal en cas de déficit d'eau induit par un déficit pluviométrique (www.wikipedia.org, 2012).

La REUT en irrigation dans le Maghreb Arabe peut surmonter le déficit et la pénurie d'eau dans la région. Les EUT peuvent être considérées comme une source d'éléments fertilisants pour le sol irrigué ; Elles peuvent donner une grande possibilité de conservation des sols et de leur amélioration par un apport d'humus sur les terres agricoles. Elles peuvent avoir des résultats agronomiques et un impact environnemental et sanitaire positifs, en comparaison aux rendements agricoles accrus (Allali, 2005).

Généralement, nous utilisons le terme d'« arrosage » pour les petites surfaces et le terme d'« irrigation » pour les surfaces plus importantes.

IV. 1. Méthodes d'irrigation

IV. 1.1. Méthodes (traditionnelles) de surface

Ces méthodes sont peu coûteuses, simples à comprendre et à mettre en œuvre tel que :

- L'irrigation par submersion (à la planche ou par bassin), humecte presque toute la surface du terrain
- L'irrigation par tuyaux.
- L'irrigation à la raie (ou par sillon), une partie de la surface du terrain est humectée (FAO, 2003).

IV. 1.2. Méthodes d'irrigation sous pression

- **Asperseurs** (asperseurs de capacité élevée, mini asperseurs ordinaires et asperseurs).

Les cultures et le sol sont mouillés de la même manière qu'avec la pluie. Cette technique consiste à reproduire la pluie.

- **Goutte à goutte** (système d'irrigation ponctuel ou localisé)

Technique économe en eau et qui permet d'éviter le ruissellement. Les caractéristiques principales de cette technique sont:

- ✓ efficacité élevée d'application. Si elle est employée correctement, c'est probablement la meilleure technique d'irrigation dans les endroits où la pénurie de l'eau est accrue.
- ✓ cette méthode pourrait être la plus prometteuse pour l'irrigation avec les eaux usées, en particulier si le traitement de ces eaux est suffisant pour empêcher l'obstruction des orifices.

- ✓ le contact de l'eau usée avec les agriculteurs et les cultures irriguées est réduit au minimum.
- ✓ aucune pollution de l'atmosphère et de la zone proche des champs irrigués ne se produit (FAO, 2003).

IV. 2. Choix du système d'irrigation

Le choix du système d'irrigation approprié dépend de la qualité des eaux usées traitées, des cultures à irriguer, de l'investissement possible et du type de sol, des coutumes, de l'expérience, de la compétence, de la capacité des agriculteurs à gérer les différentes méthodes et du risque potentiel sur l'environnement et sur la santé des agriculteurs et du public (FAO, 2003).

Pour assurer un bon fonctionnement d'un système d'irrigation qui utilise les eaux usées traitées, il faut intégrer dans le système certains composants tels que : filtres à tamis, filtre à sable, vanne de purge, etc.

Il est important d'effectuer régulièrement dans le système d'irrigation un contrôle sur la vérification de la performance et aussi sur le fonctionnement de tout le système. Des rapports réguliers sur le fonctionnement et l'entretien du réseau sont nécessaires pour parer au plus vite à une défaillance (pdf.usaid.gov, 2012).

Selon l'OMS :

- L'irrigation par aspersion (mini asperseurs, asperseurs, cracheurs, etc.) est limitée aux fourrages, fibre, et production de graines.
- si l'eau usée traitée n'a pas la qualité sanitaire acceptable, il faut mélanger l'eau usée traitée avec l'eau d'irrigation conventionnelle, si elle est disponible, pour permettre d'atteindre les prescriptions pour l'irrigation de certaine culture.
- l'irrigation par aspersion n'est pas recommandée en conditions ventées. Les microbes pathogènes peuvent être emportés par le bouillard formé par la dérive du vent ce qui peut engendrer un risque sanitaire pour les ouvriers, les habitants de la ferme et des zones résidentielles voisines (FAO, 2003).

Sous climat tempéré, les rendements des cultures sont plus réguliers sous irrigation par les eaux usées traitées. Si l'irrigation est bien contrôlée, l'irrigation n'a pas d'influence sur la migration de l'azote.

D'ailleurs, sous climat aride et semi-aride, les rendements d'irrigations par les eaux usées traitées sur les agrumes, des piments, les aubergines, les carottes, les melons, les fleurs et de concombres sont supérieurs à l'irrigation par l'eau de la nappe.

L'irrigation par les eaux usées épurées sur des plants forestiers a conduit à des croissances et des développements plus rapides. Cette technique s'avère intéressante pour la production de forêts et de biomasse.

Les eaux traitées par infiltration-percolation sur filtres à sable après décantation anaérobie peuvent être utilisées pour l'irrigation de plantes maraîchères et ornementales si les précautions d'usage sont adoptées pour préserver l'utilisateur de toute contamination (Projet de l'Union Européenne, 1998).

IV. 3. Directives liées aux pratiques d'irrigation

L'irrigation gravitaire nécessite des mesures majeures de protection:

- les ouvriers irrigants doivent être protégés et sensibilisés.
- éviter la stagnation d'eau sur le sol

Tous les produits doivent être soumis à un contrôle de qualité microbiologique à la récolte.

L'irrigation au « goutte à goutte », à part son coût relativement plus élevé mais compensé par l'efficacité élevée, n'engendre aucun risque sanitaire étant donné le très faible contact possible entre les parties des plantes cultivées et l'eau d'irrigation. Toutefois, les précautions suivantes doivent être prises:

- Choisir des types de goûteurs moins sensibles à l'obstruction;
- Manipuler avec soins les fruits et particulièrement pour le cas de la tomate qui peut être consommée à l'état frais;
- Bien entretenir les canalisations et vannes;
- Bien laver les produits, notamment maraîchers, avant livraison à domicile ou sur le marché (www.vulgarisation.net, 2012).

I. INTRODUCTION

L'eau est devenue ces dernières années un sujet de préoccupation majeure à l'échelle planétaire. Cette ressource indispensable et irremplaçable est particulièrement mal répartie. Sur la carte des disponibilités mondiales l'Afrique du Nord apparaît comme l'une des zones les plus menacées par les pénuries de ressources en eau et particulièrement dans le Maghreb arabe (Mutin, 2000).

Par ailleurs, En ce fin siècle, l'urbanisation et l'accroissement démographique que connaît le Maghreb arabe actuel engendrent une utilisation importante de l'eau qui se trouve par la suite polluée et rejetée dans la nature (Khalaayoune, 2010).

La question de l'eau dans les trois pays de Maghreb arabe (le Maroc, l'Algérie et la Tunisie) se pose dans des termes spécifiques par rapport au reste du monde arabe. Le problème de l'eau et de sa répartition se place dans un cadre strictement national qui exclut les interférences d'ordre géopolitique. Par ailleurs, dans cette situation de rareté de la ressource en eau, les états maghrébins à l'exclusion de l'Algérie ne disposent pas de ressources financières suffisantes pour remédier à ce problème. C'est sans doute dans les pays du Maghreb arabe que les concurrences entre les usages urbains et agricoles sont les plus vives (Mutin, 2000).

Au Maghreb arabe, l'agriculture représente la plus importante consommation des eaux usées. Ces ressources, suivant les régions dont elles proviennent, et leur contact éventuel avec des sources de pollution ont des caractéristiques très diversifiées (Faby, 2003).

Les pays de Maghreb Arabe sont des pays en voie de développement, l'irrigation avec des eaux usées traitées est très utile dans ces régions où la pluviométrie est inférieure à 500 mm. Par conséquent, elle permet en plus de réduire considérablement l'utilisation d'engrais importés (pdf.usaid.gov, 2012).

Les pays maghrébins sont très en retard dans le domaine de traitement des eaux usées, cette situation est indéniable avec la croissance des consommations urbaines, le traitement des eaux usées peut constituer une source supplémentaire permanente pour satisfaire la demande en eau dans l'irrigation. Il est estimé que le volume des eaux usées susceptibles d'être traitées étaient dans les années 1990 de l'ordre de 600 millions de m³/an en Algérie et 700 millions de m³/an au Maroc. Pour l'instant seule la Tunisie s'est lancée dans cette voie et retraite environ 180 millions de m³/an des eaux usées (pdf.usaid.gov, 2012).

La réutilisation des eaux usées traitée pour l'irrigation pose deux problèmes antagonistes : c'est une source potentielle en éléments nutritifs et source de pollution. La teneur des eaux usées en matières organiques, azote, phosphore et potassium peut améliorer la fertilité du sol et favoriser le développement des cultures. Mais leur teneur en substances minérales, organiques et en agents pathogènes peut engendrer des risques sur la santé humaine et l'environnement.

Ces éléments polluants peuvent être transférés à l'homme ou à l'animal par différentes voies et créer des effets plus ou moins néfastes sur la santé publique en fonction de leur concentration. Donc, les eaux usées doivent être traitées selon des normes strictes puis réutilisées pour assurer la protection sur les utilisateurs, travailleurs, consommateurs (humains et/ou animaux) que pour l'environnement (PNUE, 2005).

II. LA REUTILISATION DES EAUX USEES EN AGRICULTURE EN ALGERIE

L'intérêt porté par l'Algérie à la réutilisation des eaux usées en agriculture a pour origine des besoins en eau en forte augmentation puisque la population algérienne est en forte croissance démographique dans les dernières années (FAO, 2003).

L'Algérie à l'instar d'un grand nombre de pays du bassin méditerranéen accuse un déficit hydrique très important. La situation du pays se caractérise par une demande en eau croissante, alors que les ressources hydriques se raréfient d'une manière permanente pour l'irrigation. En revanche, la production des eaux usées s'accroît et leur réutilisation se présente comme une première réponse à cette situation de pénurie d'eau pour l'irrigation.

La stratégie du ministère des ressources en eau dans le domaine de l'épuration est basée sur la protection de la ressource hydrique, la réutilisation des eaux usées épurées, notamment à des fins agricoles. En outre, la capacité de production en eau usées épurées par les stations d'épurations fonctionnelles (STEP et lagunes) en Algérie représente environ 130000 m³/an, en suivant les trois traitements primaires et secondaires et tertiaires.

La réutilisation des eaux usées épurées notamment à des fins agricoles est devenue l'un des axes principaux de la stratégie du secteur des ressources en eau en Algérie (www.univ-blida.dz, 2012. Rouha, 2012).

Presque toutes les ressources accessibles d'eau douce dans le pays sont déjà mobilisées et il est donc logique de se canaliser vers des ressources d'eau non conventionnelles pour satisfaire l'accroissement de la demande telle que l'utilisation des eaux usées traitées.

Le projet de la réutilisation des eaux usées traitées en Algérie, a été lancé au début des années 2000. En 2001, l'ONA a été créée pour assurer sur tout le territoire national, la protection de l'environnement (www.univ-blida.dz, 2012) et ne plus procéder aux rejets d'eaux usées sauvages.

Le traitement des eaux usées en Algérie connaît actuellement un grand essor avec la création de nouvelles stations d'épuration (STEP) et le renouvellement et la mise à niveau des anciennes stations d'épuration. Une centaine de STEP existantes ou en voie de réhabilitation permettront de produire un grand volume d'eau qui sera réutilisée au profit de l'irrigation ou de l'industrie. Par conséquent, le développement de l'agriculture irriguée peut être réalisé par la réutilisation des eaux usées traitées.

II. 1. Objectifs de la réutilisation des eaux usées en Algérie

Le but principal de la réutilisation des eaux usées traitées est d'économiser d'importantes quantités d'eau potable qui seraient ainsi destinées pour les besoins de la population en AEP et ainsi permettre de diminuer la pression de mobilisation qui s'exerce sur les nappes, sans pour cela défavoriser les agriculteurs.

Par ailleurs, le traitement des eaux usées génère des boues biologiques, très riches en azote et en phosphore. Leur réutilisation peut constituer un apport d'amendement non négligeable des sols.

Ainsi, pour satisfaire l'ensemble des besoins en eau du pays et aussi de préserver les eaux de bonne qualité et les attribuer à l'alimentation en eau potable, l'utilisation des eaux usées traitées est une nécessité. Elle doit être une partie intégrante de la stratégie des décideurs dans le cadre de la mobilisation de toutes les ressources disponibles.

Cette orientation est indispensable pour le pays qui ne cesse d'accroître ses efforts dans le domaine de l'assainissement et du traitement des eaux usées à travers la création et l'amélioration des stations d'épuration. Il serait dommage que cette eau ne soit pas valorisée chaque fois qu'il en est possible.

Les eaux usées représentent plus de 600 millions de m³/an. A l'horizon 2020, elles représenteront un volume très appréciable : près de 2 milliards de m³ si la demande en eau est totalement satisfaite à cet horizon. Ce volume, une fois épuré, pour des considérations écologiques ou de protection des ressources en eau, sera très appréciable pour son utilisation par l'agriculture ou l'industrie.

Cependant, le développement de la réutilisation des eaux usées traitées doit se faire en suivant une démarche avisée assurant le meilleur équilibre possible des résultats sur les plans sanitaires, environnementaux et économiques (www.eurojournals.com, 2012).

En Algérie, l'utilisation des eaux usées épurées en irrigation permettrait :

- L'exploitation d'une ressource durable qui réduira la demande des eaux conventionnelles.
- La valorisation des sols par les nutriments des eaux usées.
- De développer à court et à moyen terme et long terme l'agriculture (www.eurojournals.com, 2012).

II. 2. Valorisation Agricole des EUT

Face à la rareté et la mauvaise répartition de l'eau, la réutilisation des eaux usées apparaît comme la solution la plus adaptée. Elle permet d'une part, de fournir des quantités d'eau supplémentaires, d'autre part d'assurer l'équilibre du cycle naturel de l'eau et la protection de l'environnement. Les eaux usées traitées présentent l'avantage de la stabilité par rapport à celles liées à la pluviométrie.

La valorisation des eaux usées est à placer dans le cadre de la gestion intégrée des ressources en eau, donc du développement durable.

Dans les nombreuses régions à climat aride et semi aride comme l'Algérie, la réutilisation des eaux usées traitées, notamment dans l'agriculture, constitue une alternative intéressante pour la préservation des ressources conventionnelles destinées en priorité à l'Alimentation en Eau Potable (AEP).

La réutilisation des eaux usées en agriculture permet d'augmenter le rendement des cultures et d'améliorer l'efficacité des systèmes d'irrigation (www.eurojournals.com, 2012).

En effet, une lame d'eau épurée de 100 mm (1000 m³/ha) peut apporter aux cultures à l'hectare :

- de 16 à 62 kg d'azote,
- de 2 à 69 kg de potassium,
- de 4 à 24 kg de phosphore,
- de 18 à 208 kg de calcium,
- de 9 à 100 kg de magnésium,
- de 27 à 182 kg de sodium (www.eurojournals.com, 2012).

II. 3. Situation de la réutilisation des eaux usées brutes en irrigation en Algérie

Actuellement, en Algérie, il y a des agriculteurs qui utilisent les eaux usées sans traitement au préalable et sans aucune autorisation des services concernés, pour irriguer particulièrement la pomme de terre, la salade, la tomate, etc.... à partir des bassins de décantation qui se trouvent juste à côté de leurs champs. Ces bassins sont remplis par les eaux des réseaux d'assainissement !

À l'est du pays, dans la wilaya de Batna, une vaste opération de l'irrigation de 35 hectares de récoltes avec les eaux usées appartenant à 65 agriculteurs a été effectuée dans la commune de Fesdis. Les cultures les plus pratiquées dans cette région agricole sont particulièrement connue pour la production de salade, de coriandre, de persil et d'épinard, malheureusement les champs ont été irrigués par les eaux usées rejetées directement par la ville de Batna, sans aucun traitement préalable (www.presse-dz.com, 2012).

Les agriculteurs utilisent des gros moyens techniques pour puiser ces eaux usées en s'équipant de pompes électriques ou motos pompes sophistiquées, avec des centaines de mètre linéaire de tuyaux d'irrigation de diamètres différents et en construisant également des seguias. Ils utilisent aussi des bassins de stockage de ces eaux polluées et hautement nocives pour la santé des agriculteurs.

Les eaux usées véhiculent des éléments polluants qui posent des problèmes sur la santé publique et des risques de contaminer les sols, les plantes, les ouvriers agricoles et les consommateurs. Pour cela, les eaux usées brutes ne doivent pas être directement réutilisées, un traitement est toujours nécessaire (Boulahbal, 2001).

Cependant, il existe depuis quelques années déjà, des stations d'épuration des eaux usées qui ont été réalisées pour permettre à de nombreux fellahs et producteurs d'en utiliser ces eaux pour l'irrigation de leurs périmètres (www.presse-dz.com, 2012). Mais ces eaux doivent être payées par l'agriculteur pour pouvoir les utiliser !

II. 4. L'ONA et l'ONID, deux offices nationaux qui gèrent et exploitent les eaux usées

II. 4.1. L'Office National de l'Assainissement (ONA)

L'Office National de l'Assainissement (ONA) est un établissement public national, à caractère industriel et commercial. Il a été créé par le décret exécutif n° 01-102 du 27 Moharem 1422 correspondant au 21 Avril 2001. L'Office est placé sous la tutelle du ministre des ressources en eau (www.semide.dz, 2012).

L'ONA assure la réalisation d'ouvrages de projets d'infrastructures d'assainissement et d'épuration des eaux usées ainsi que l'exploitation de ces ouvrages.

L'Office National de l'Assainissement (ONA), service public, a la charge de l'assainissement, particulièrement :

- L'Agence Nationale de l'Eau Potable et de l'Assainissement (AGEP)
- Les établissements publics nationaux à compétence régionale de gestion de l'assainissement.
- Les EPEDEMIAs de wilaya ; les régies et services communaux de gestion des systèmes d'assainissement (www.onid.com, 2012).

II. 4.1.1. Missions de l'office

L'Office National de l'Assainissement est chargé dans le cadre de la politique nationale de l'assainissement : de l'exploitation, de la maintenance, du renouvellement, de l'extension et de la construction de tout ouvrage destiné à l'assainissement des agglomérations (des infrastructures d'assainissement) et surtout, les réseaux de collecte des eaux usées, les stations de relevage, les stations d'épuration, dans les périmètres urbains et communaux.

Il assure aussi :

- La protection de l'environnement hydrique et la sauvegarde des ressources en eau.
- La lutte contre toutes les sources de pollution hydrique.
- La préservation de la santé publique.
- L'élaboration et de la réalisation des projets en relation avec le traitement des eaux usées (www.onid.com, 2012).

II. 4.1.2. Organisation

Les directions centrales de l'ONA sont chargées de l'administration et des finances, des ressources humaines et de la formation, de l'exploitation et de la maintenance, des études et travaux.

Il y a douze (12) zones, deux (02) directions assainissement, (42) unités d'assainissement sur (42) wilaya et deux (02) unités de travaux et des réhabilitations.

Voici quelques chiffres essentiels en L' ONA au niveau national :

- Nombre de communes administrées par l'ONA : **638**
- Longueur du réseau géré par l'ONA plus de : **30 000 km**
- Nombre de STEP en exploitation par l'ONA : **77**
- Capacités installées des **77 STEP : 861 217 m³/j**
- Volume mensuel des eaux épurées (juin 2012) : **10,9 millions de m³.**
- Débit moyen journalier des eaux usées épurées : **365 310 m³/j**
- Taux d'utilisation des capacités des installations : **42 %**
- Volume des eaux usées collectées durant le mois de juin 2012 : **52,9 millions de m³**
- Nombre de branchements réalisés durant le mois de juin 2012 : **55 branchements**
- Nombre de regards réalisés durant le mois de juin 2012 : **72 regards.**
- Volume de déchets solides évacués durant le mois de juin : **6 913 m³**
- Volume d'eau relevé durant le mois de juin 2012 : **14 052 885 m³**
- Nombre de Station de relevages gérés par l'ONA : **316** (www.onid.com, 2012).

II. 4.1.3. Exploitation et maintenance

Les programmes de réalisation de stations d'épuration ont été conçus pour protéger la ressource en eau, pour l'équilibre hydrique et écologique dans un axe stratégique constitué par l'état. Actuellement, L'ONA exploite 77 stations d'épuration distribuées sur l'ensemble du territoire national, dont 39 stations de lagunage et les autres stations à boues activées. Toutes les STEP disposent de laboratoire de contrôle.

Le transport des eaux usées dans les collecteurs se fait en général par gravité, sous l'effet de leur charge. Lorsque, la forme du terrain ne permet pas un écoulement satisfaisant des eaux collectées, il est possible de réaliser un refoulement (sous pression ou sous dépression) par différents procédés (pompage et stations de relevage). Actuellement l'ONA gère 316 stations de relevage/pompage d'un volume moyen relevé de plus de 14052885m³/mois en juin 2012.

Une exploitation efficace de réseau suppose un travail d'entretien rigoureux et permanent, donc du personnel qualifié (www.onid.com, 2012).

II. 4.1.4. Contrôle

L'épuration des eaux usées nécessite toujours un contrôle. Ces derniers consistent en une série de mesures pratiquées par l'exploitant de la station d'épuration. Ils permettent de mesurer l'efficacité de l'épuration, de s'assurer du respect des normes de rejets, de la bonne élimination ou évacuation des sous-produits de l'épuration (boues, graisses, etc.) et de remarquer les éventuelles anomalies de fonctionnement de l'installation.

Pour cela, l'ONA dispose d'un laboratoire central et de plusieurs laboratoires de contrôle répartis sur toutes les stations d'épuration, pour assurer un meilleur suivi et contrôle de la qualité des eaux épurées.

Les principales analyses proposées par le laboratoire central sont : la détermination des indicateurs d'une pollution chimique ou biochimique (la DCO, la DBO₅, les MES, les détergents,...) et des paramètres indicateurs (azote, phosphore...) (www.onid.com, 2012).

II. 4.1.5. La réutilisation des eaux usées REUE

Les eaux usées épurées sont utilisées dans différents usages. Elles sont considérées comme des quantités complémentaires aux eaux conventionnelles.

Les principales utilisations des eaux usées épurées sont :

- **Utilisations agricoles :** La réutilisation des eaux usées en irrigation, en plus de sa première mission, elle permet d'exploiter la matière fertilisante contenue dans les eaux épurées. On peut réaliser ainsi une grande économie d'engrais.
- **Utilisations Municipales :** arrosage des espaces verts, lavage des rues, lutte contre les incendies, l'arrosage des terrains de golf, arrosage pour compactage des couches de base des routes et autoroutes.
- **Utilisations industrielles :** refroidissement des dispositifs industriels ;

A la fin de 2011, le potentiel de la réutilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles est estimé d'environ 17 Millions de m³/an.

Actuellement, il y a plus de 10.000 ha de superficie agricole irriguée par les eaux usées épurées, il s'agit de :

- Kouinine (El Oued) et Ouargla,
- Guelma,
- Tlemcen, mascara et les lagunes de : Ghriss, Bouhanifia, Hacine, Oued Taria, Hachem, Sehaouria, Tizi et Mohamadia,

- Boumerdes.

À ce jour, l'ONA est gérées 12 STEP concernées par les projets de la REUE en cours d'étude ou de réalisation, pour l'irrigation de plus de 8000 hectares de terres agricoles, parmi ces projets : Sedrata, Chelghoum Laid, Tipaza, Ouargla, Saida et Chlef.

Un plan d'action ONA/ONID est en cours d'étude, pour définir les possibilités réelles d'une éventuelle réutilisation des eaux usées épurées des STEP exploitées par l'ONA pour l'irrigation des grands périmètres d'irrigation (GPI) gérés par l'ONID au niveau des cinq (05) bassins hydrographiques à l'échelle nationale (www.onid.com, 2012).

II. 4.2. L'Office National d'Irrigation et de Drainage (ONID)

La nouvelle politique de l'eau mise en place par le ministère des ressources en eau est basée sur des principes nouveaux de gestion intégrée, participative, économique et écologique. Cette politique s'est concrétisée notamment par la création de l'Office national de l'irrigation et du drainage (ONID) en tant qu'outil privilégié du secteur pour la relance du programme de développement de l'hydraulique agricole et l'utilisation rationnelle du facteur d'eau comme un élément de base pour l'accroissement de la production agricole. Pour obtenir une gestion optimale d'irrigation : l'adoption de procédés d'irrigation économiseurs d'eau et l'utilisation des eaux non conventionnelles (eaux usées traitées), contribueront à l'extension notable des superficies irriguées, l'objectif global de l'Algérie est d'atteindre une superficie irriguée de 1 million 600 mille hectares en 2014 (Boukli, 2012).

II. 4.2.1. Présentation de l'ONID

L'Office National pour l'Irrigation et le Drainage, C'est une structure chargée de l'ensemble de l'activité hydraulique agricole dans les Grands périmètres d'irrigations (GPI), créée en 18 mai 2005.

Elle est subdivisée en 5 directions régionales selon le découpage hydrographique adopté par le secteur. Elle est présente dans l'ensemble des grands périmètres d'irrigation, soit plus d'une vingtaine d'unités. Son potentiel humain dépasse les 2.000 personnes.

Devant le déficit hydrique accru que connaît le pays, L'ONID a lancé une nouvelle expérience dans un vaste programme qui permet d'augmenter sensiblement les superficies irriguées. Il consiste en la réutilisation des eaux usées épurées, produites par les stations d'épuration de l'ONA pour irriguer des périmètres à l'aval de chaque station d'épuration et lagune. A ce titre, l'ONID a commencé par la réalisation et l'aménagement de deux périmètres hydro-agricoles alimentés par des STEP. Il s'agit des périmètres d'irrigation de Hennaya dans la wilaya de Tlemcen et celui de Mléta dans la wilaya d'Oran qui sont déjà en exploitation :

- Le périmètre de Hennaya sur 912 ha, alimenté à partir des eaux usées épurées de la STEP de Aïn El Houtz.
- Le périmètre de Mléta sur une superficie d'environ 600 ha, alimenté à partir de la STEP de El Kerma (www.onid.com, 2012).
- D'autres réalisations sont en cours :
 - ✓ à Constantine, le périmètre d'irrigation à partir de la STEP de Hamma Bouziane s'étend sur une superficie de 327 ha,
 - ✓ à Tiaret, le périmètre de Dahmouni est de 1214 ha.
 - ✓ A Bordj Bou Arreridj, où le périmètre irrigué avoisine les 350 ha (Rouha, 2012).

II. 4.2.2. Principales missions de l'ONID

- **En matière de gestion, exploitation et maintenance des périmètres d'irrigation**

Particulièrement, dans les périmètres d'irrigation, l'ONID est chargé de :

- ✓ gérer, exploiter et entretenir les réseaux d'irrigation.
- ✓ diriger les irrigations.
- ✓ commercialiser l'eau agricole.
- ✓ apporter assistance et conseils aux usagers de l'eau agricole.

Actuellement, l'office exploite et entretient 25 périmètres d'irrigation d'une superficie équipée globale de plus de 200.000 ha, dont plus de 162.000 ha sont irrigables (Boukli, 2012).

- **En matière d'appui à l'irrigation**

A travers les unités opérationnelles de l'ONID, il est développé des activités d'appuis et d'accompagnement aux usagers de l'eau agricole. Ces activités se traduisent essentiellement par l'incitation à l'utilisation des techniques d'économie de l'eau, par exemple, l'irrigation par la méthode goutte-à-goutte.

L'ONID dispose des points d'accueil au niveau de chaque périmètre d'irrigation. Les unités opérationnelles de l'ONID accompagnent les agriculteurs durant l'irrigation les appuis suivants :

- ✓ Etude, fourniture et installation d'équipements d'irrigation à la parcelle (goutte à goutte, aspersion...), aide et conseil dans la conduite de la campagne agricole, organisation de journées techniques au profit de la profession sur l'économie de l'eau et l'utilisation rationnelle de la ressource (Boukli, 2012).

Actuellement, l'ONID dispose d'un bureau d'étude et de cinq unités de travaux qui sont au service de l'hydraulique agricole et qui contribuent à son développement. De nouveaux projets d'investissement sont en cours de maturation à l'effet de la création et la mise en

place d'unités d'exploitation agricole à l'intérieur des périmètres d'irrigation [www.onid.com, 2012]

II. 5. Situation actuelle de la réutilisation des eaux usées traitées en agriculture et leurs perspectives pour l'irrigation

Pour assurer la sécurité alimentaire, un pays doit une forte production agricole, d'où la nécessité d'avoir suffisamment d'eau pour l'irrigation. Le ministère de l'Agriculture et du développement rural, a indiqué, que « chaque goutte d'eau collectée, quelle que soit son origine, est utile pour renforcer la production agricole, notamment l'utilisation des eaux usées traitées qui pourront être d'une grande utilité dans l'irrigation de plusieurs terres agricoles de manière permanente, réglementée et satisfaisante». Il faut donc, recourir aux eaux non conventionnelles, dont les eaux usées épurées pour satisfaire les besoins en eau en irrigation.

Le volume annuel d'eaux usées rejetés à l'échelle nationale est estimé à près de 750 millions de m³ actuellement et dépassera les 1,5 milliard m³ à l'horizon 2020. La capacité totale de traitement actuelle est de 4 millions de m³ (Hartani, 2004).

A cet effet, nous pouvons dire que l'utilisation des eaux usées traitées dans l'irrigation agricole est encore à ses débuts, donc au stade expérimental.

Tableau III-1 : Volumes d'eau usée rejetés en Algérie (Hartani, 2004).

Type d'agglomération	Volume d'eau usée rejetée en millions de m ³	
	1995	Horizon 2020
Côtière	169	282
Amont des barrages	48	122
Proches des périmètres d'irrigation	62	143
Autres	149	352

Pour cela, il est implanté sur tout le territoire national de nombreuses stations d'épuration des eaux usées. L'objectif de la réalisation de ces stations étant de récupérer, au niveau national, un milliard de mètres cubes d'eau traitée par an qui sera destiné à l'irrigation des terres agricoles.

Il existe à ce jour 45 stations très importantes en Algérie, de traitement et d'épuration des eaux dont 15 sont en exploitation, 4 en travaux et les autres doivent être réhabilitées (tableau III-2).

Tableau III-2: Répartition des stations de traitement et d'épuration des eaux usées par région hydrographique (Hartani, 2004).

Région	Exploitation	Construction	Réhabilitation	Total
1) Oranie-Chott-Chergui	4	1	7	14

Chapitre III La réutilisation des eaux usées dans l'agriculture au Maghreb Arabe

2) Chelif-Zahrez	0	0	1	1
3) Algerois-Hodna-Soummam	7	1	10	18
4)Constantinois-Medjerda- Mellegue	4	0	6	10
5) Sud	0	0	2	2
6) Total	15	4	26	45

En raison d'un cout moyen de l'épuration de 5,94 DA/m³ incluant la réhabilitation des équipements, l'amortissement et les frais d'exploitation, l'aspect financier reste le principal frein à la remise en service des 26 stations de traitement et d'épuration des eaux à l'arrêt. Le cout de l'épuration peut être comparé au prix du volume d'eau d'irrigation qui varie de 1 à 1,25 DA/ m³ pour l'ensemble des périmètres irrigués algériens (Hartani, 2004).

- **Pratiques régionales de la réutilisation des eaux usées traitée en agriculture**

- ✓ **A Oran**

Les eaux usées du groupement d'Oran traitées par la STEP d'El Kerma sont, désormais, utilisées pour l'irrigation d'une partie des terres agricoles de la plaine de la Mléta, au sud de la wilaya, qui s'étend sur une superficie de 8.100 ha. Cette plaine est répartie entre les deux communes d'Oued Tlélat (3.833 ha) et Tafraoui (4.267 ha).

Une superficie de 600 ha de cultures maraîchères et d'arbres fruitiers, situés à proximité de la station sont irrigués par les EUE de la STEP d'El Kerma.

La STEP d'El Kerma recourt à un système de la graduation de l'épuration jusqu'à obtenir une eau purifiée utilisée strictement aux fins d'irrigation agricole. ces eaux épurées ne présentent aucun risque pour la santé humaine ou la qualité des produits agricoles.

La STEP d'El Kerma a été créée pour deux objectifs importants, à savoir : l'arrêt des rejets des eaux usées dans la mer et la réutilisation des eaux traitées pour l'irrigation des terres agricoles.

Au niveau national, les superficies agricoles irriguées consomment plus de 17 millions de m³ d'eau. Ils devront connaître une augmentation pour atteindre le volume pour irriguer plus de 15.000 ha en 2014.

- ✓ **A Ain-Temouchent**

Dans la wilaya d'Ain-Temouchent, l'Office national d'assainissement est présent au niveau de six stations d'épuration (STEP) situées dans les communes suivant Aïn El-Arbâa, Emir

Abdelkader, Sidi Safi, Hassi El-Ghella, El-Amria et El-Maleh.

Ces STEP produisent des eaux épurées avoisinant de 25.000.000 de mètres cubes d'eau par an. Elles peuvent irriguer des périmètres cultivés (Céréales, maraîchages, arboricultures) avec une superficie de l'ordre de 2500 ha.

Trois importantes STEP sont en cours de réalisation, à savoir celles d'Aïn Tolba, Bouzedjar et Aïn-Témouchent. Ces STEP une fois mises en service, augmenteront le volume annuel, pour atteindre environ 13 millions de mètres cubes d'eau épurée. Cette capacité pourra irriguer 1300ha environ.

✓ A Tipasa

Dans la wilaya de Tipasa, il y a deux stations de traitement et d'épuration (STEP), celle du Chenoua et celle de Hadjout, pour récupérer et traiter les eaux usées de la ville.

Les eaux épurées par ces deux STEP sont récupérées dans un bassin d'une capacité de stockage de 2 millions de m³. Elles sont destinées pour la réutilisation en irrigation agricoles de deux périmètres. Ces derniers concernent la Mitidja Ouest sur 18.488 ha, dont 15.600 ha pour Tipasa, et de 2.888 ha pour Sahel algérois Ouest.

Ces deux STEP seront équipées par deux stations de pompage qui vont refouler les eaux épurées vers une canalisation pour être utilisées par les agriculteurs pour l'irrigation d'une superficie de 1.000 ha.

✓ A Tlemcen

Le périmètre agricole de Hennaya est irrigué par les eaux usées traitées à partir de la station d'épuration de Aïn El Houtz qui s'étend sur une superficie de 912ha répartis sur 28 exploitations agricoles spécialisées dans les agrumes, l'arboriculture, les maraîchers et les légumes secs.

La STEP de Aïn El Houtz est située dans la commune de Chetouane, elle est reliée aux réseaux d'assainissement des eaux usées du groupement urbain de Tlemcen (Chetouane, Tlemcen et Mansourah). Elle fournit une quantité journalière de 30.000m³ des eaux traitées destinées à l'irrigation des cultures (l'agriculture) selon des techniques et des normes en vigueur.

D'après l'ONA, la capacité de traitement des eaux usées de cette station est de 10,95 millions m³/an.

Les eaux traitées se déversent dans un réservoir de volume de 9 300 m³ avant leur transfert vers le périmètre de Hennaya à travers des canalisations de 14 000 m de long (www.djazair.com, 2012).

II.6. Les réglementations des eaux usées traitées réutilisées en irrigation

II.6.1. Dispositions préliminaires

Art. 2 : «eau usée épurée destinée à l'irrigation», toute eau usée dont la qualité, après un traitement approprié dans une station d'épuration ou de lagunage est conforme aux spécifications fixées par arrêté conjoint des ministres chargés des ressources en eau, de la santé et de l'agriculture.

Art. 3 : L'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation est soumise au régime de la concession. La concession peut être octroyée à toute personne morale ou physique, de droit public ou privé, qui se propose de distribuer, à des usagers, des eaux usées épurées à des fins d'irrigation au sens de l'article 2 ci-dessus.

Art. 4 : L'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation doit être conforme aux clauses du cahier des charges-type annexé au présent décret auquel doit souscrire tout concessionnaire.

Art. 5 : Le dossier de demande de concession est adressé par le demandeur, en double exemplaire, au wali territorialement compétent.

La wilaya compétente est celle sur le territoire de laquelle sont situées les parcelles destinées à être irriguées par les eaux usées épurées.

Art. 6 : La demande de concession doit comporter les noms, prénoms, et adresses pour les personnes physiques ou la raison sociale et l'adresse du siège social pour les personnes morales. Elle doit être accompagnée d'un mémoire technique, comportant notamment les documents et informations suivants:

- une description de la station d'épuration ou de lagunage d'où proviennent les eaux usées épurées ainsi que le mode de traitement utilisé;
- la description et les plans des ouvrages de stockage, d'amenée et de distribution des eaux usées épurées à réaliser;
- une fiche d'analyse des eaux usées épurées dont la qualité doit être conforme, aux spécifications en vigueur.;
- la localisation et la superficie des terres destinées à être irriguées, avec un plan parcellaire à une échelle appropriée où seront indiqués les parcelles destinées à être irriguées et le mode d'irrigation préconisé;
- un accord écrit de l'organisme gestionnaire de la station d'épuration ou de lagunage par lequel il s'engage à fournir les volumes d'eaux usées épurées, en quantité et qualité requises;
- un engagement des agriculteurs, utilisateurs des eaux usées épurées;
- un plan de situation des installations d'amenée, de stockage et de distribution des eaux usées épurées, sur lequel doivent être reportés les ouvrages et réseaux d'alimentation en eau potable situés à proximité ainsi que les installations d'épuration.

Art. 7 : Les services de l'hydraulique de la wilaya doivent procéder à une étude technique de la demande de concession, en concertation avec les services de l'agriculture, de la santé et de la protection de l'environnement. Ils doivent, notamment:

- vérifier la disponibilité, en quantité et en qualité, des eaux usées épurées destinées à l'irrigation;
- faire une évaluation technique de la faisabilité du projet;
- procéder à une visite des lieux;
- évaluer les risques de contamination des personnes, des cultures et des ressources en eau, ainsi que les conséquences sur l'environnement;
- recueillir l'avis des assemblées populaires communales concernées.

Art. 8 : La concession d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation est permise par arrêté pris par le wali territorialement compétent.

Quand les terres destinées à être irriguées et la station d'épuration ou de lagunage sont situées sur le territoire de plus d'une wilaya, la concession est donnée par un arrêté du ministre chargé des ressources en eau.

Art. 9 : L'arrêté de concession doit comporter les indications suivantes:

- la station d'épuration ou de lagunage d'où proviennent les eaux usées épurées;
- les volumes des eaux usées épurées qui seront utilisés annuellement;
- la localisation et la superficie des terres destinées à être irriguées.

Art 10 : L'administration a le droit de s'assurer, en tout temps, par la visite des ouvrages et des parcelles irriguées ainsi que par des prélèvements d'eau et de produits agricoles aux fins d'analyse, que les conditions auxquelles a souscrit le concessionnaire sont demeurent observées.

II.6.2. Prévention des risques liés à l'usage des eaux usées épurées en irrigation

Art. 14 : L'irrigation avec des eaux usées épurées des cultures maraîchères dont les produits sont consommables crus est interdite.

Art. 15 : La liste des cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées est fixée par arrêté conjoint des ministres chargés des ressources en eau, de l'agriculture et de la santé.

Art. 17 : L'irrigation par les eaux usées épurées des cultures autorisées doit cesser au moins deux semaines avant la récolte. La consommation des fruits tombant au sol est interdite ; ces fruits tombés doivent être détruits ou transportés à la décharge publique.

Art. 18 : L'irrigation des arbres fruitiers par aspersion, ou par tout autre système mettant l'eau usée épurée en contact avec les fruits est interdite.

Art. 19 : Le pâturage direct sur les parcelles et aires irriguées par les eaux usées épurées est interdit.

Art. 20 : Les parcelles irriguées, au moyen des eaux usées épurées, doivent être éloignées de plus de 100 mètres des routes, des habitations, des puits de surface et autres ouvrages destinés à l'alimentation en eau potable.

Art. 21 : L'irrigation des parcs et des espaces verts, au moyen des eaux usées épurées, doit s'effectuer en dehors des heures d'ouverture au public.

Art. 22 : Tout raccordement avec une canalisation transportant de l'eau potable est interdit.

Art. 23 : Toutes les bornes et tous les robinets d'irrigation du réseau de distribution des eaux usées épurées doivent comporter obligatoirement une plaque inamovible, signalant que l'eau est non potable et par conséquent impropre à la consommation.

Art. 24 : En cas de dégradation de la qualité de l'eau des puits situés à proximité des zones irriguées par les eaux usées épurées, l'utilisation d'eau de ces puits est soumise aux mêmes spécifications et conditions d'usage imposées aux eaux usées épurées.

Art. 25 : L'exploitation à des fins d'irrigation des puits situés à l'intérieur des zones irriguées avec les eaux usées épurées n'est permise que pour les cultures autorisées sur ces zones (J,O).

III. LA REUTILISATION DES EAUX USEES DANS L'AGRICULTURE EN TUNISIE

La Tunisie est située dans un étage bioclimatique aride et au Nord du continent africain. Elle couvre une superficie de 162155 km². Elle est délimitée au nord par 1298 km de côtes méditerranéennes, à l'ouest par l'Algérie et au sud par la Libye.

La Tunisie dispose de potentialités hydriques limitées et a un déficit de plus en plus marqué ayant pour origine l'accroissement démographique, l'urbanisation, le développement socioéconomique et l'intensification de l'irrigation. A ce titre, elle doit recourir à l'utilisation des eaux non-conventionnelles et particulièrement la réutilisation des eaux usées traitées, pour satisfaire ses besoins en eau (www.ais.unwater.org, 2012 a).

La réutilisation des eaux usées traitées, entre dans le cadre de la stratégie de mobilisation et de développement des ressources en eau du pays (www.researchgate.net, 2012).

L'utilisation des EUT en irrigation est devenue une solution nécessaire pour faire face à ce déficit hydrique et aussi pour préserver les eaux de bonne qualité,

Les principaux objectifs de cette réutilisation sont la protection de l'environnement et des ressources hydrique, la protection de l'eau de bonne qualité, l'extension des surfaces irriguées et l'aménagement d'espaces verts.

L'utilisation des eaux usées en agriculture pourrait être un moyen de recyclage des éléments fertilisants dans le sol irrigué.

Par ailleurs, Les eaux usées sont susceptibles de véhiculer des éléments polluants d'origine chimique et biologique qui peuvent peut contaminer le sol, la nappe et les cultures. Ceci pourrait constituer une contrainte majeure de l'utilisation des eaux usées à grande échelle et à long terme (www.ais.unwater.org, 2012 a).

III. 1. Production, traitement et utilisation agricole des eaux usées en Tunisie

III. 1.1. Production et traitement des eaux usées

En Tunisie, les eaux usées collectées sont d'origine à 80% domestique. Les eaux industrielles et touristiques sont peu présentes. (Tableau III-3).

Tableau III-3: origine des eaux usées collectées par l'ONAS en Tunisie (www.ais.unwater.org, 2012 a).

Régions	pourcentages
Industrielle	15%
Touristique	05%
Urbaine	80%

Le nombre de station d'épuration de ces eaux est passé de 5 en 1975 à 109 stations en 2010 (figure III-1). La première STEP créée c'est la Charguia en 1965. Ces stations se répartissent sur la quasi-totalité du territoire principalement dans les régions urbaines.

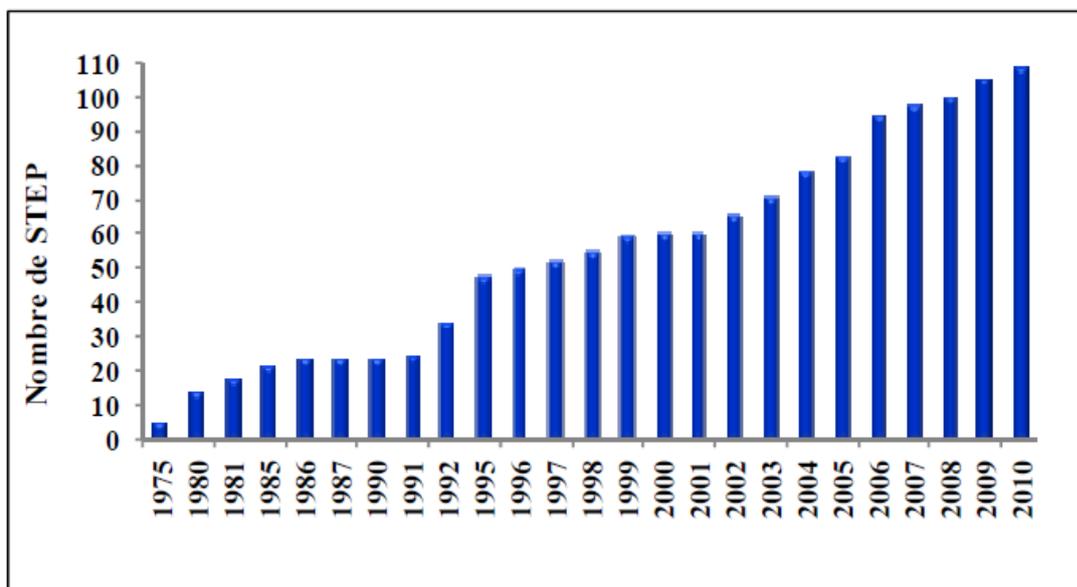


Figure III-1 : Evolution du nombre de stations d'épuration en Tunisie de 1975 à 2010 (www.ais.unwater.org, 2012 a).

III. 1.2. Description sommaire de quelques stations de traitement des eaux usées

Le volume des eaux usées traitées par l'ensemble des STEP représente environ 5% des ressources en eau conventionnelle disponible. 45% du volume des ces eaux usées traitées sont produits dans le grand Tunis (Figure III-2).

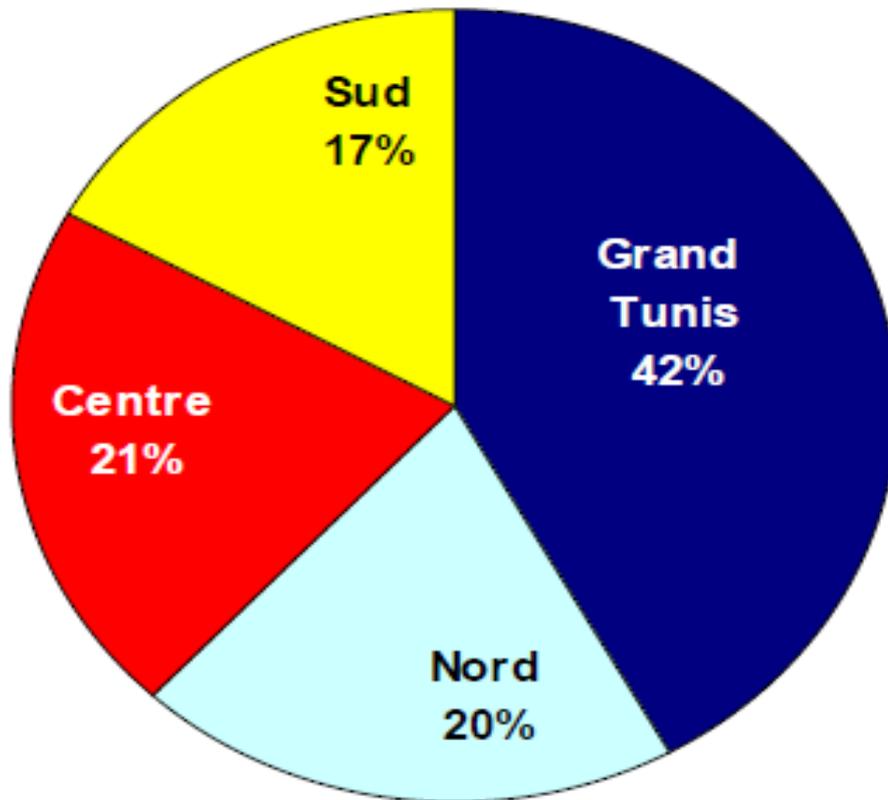


Figure III-2: Taux de productions des eaux usées traitées selon les régions (www.ais.unwater.org, 2012 a).

Généralement, la totalité des STEP traitent les eaux usées jusqu'à l'étape secondaire biologique. Dans les stations urbaines, les procédés les plus utilisées sont les boues activées et l'aération prolongée.

Ainsi, pour les STEP urbaines, environ 82 stations utilisent la technologie des boues activées essentiellement à faible charge, 7 STEP celle du lagunage aéré, 6 STEP celle du lagunage naturel ou facultatif et 2 STEP la technologie des lits bactériens. Les STEP Industrielles sont à boue activée et avec un traitement chimique. Concernant les STEP rurales, il y a 3 STEP avec boues activées.

Afin d'améliorer la qualité des eaux usées traitées particulièrement destinées à l'irrigation des cultures, l'ONAS a procédé au cours des dernières années à la mise en place d'un traitement tertiaire pour une vingtaine de stations dont certaines sont déjà fonctionnelles. Ces traitements sont essentiellement les UV, les filtres à sable ou les bassins de maturation. A titre d'exemple, Mornag, Kélibia, Chabba, Kairouan², utilisent un traitement à l'UV avec filtration sur sable. El Haouaria, Korbous, AFH Mrezga, El Fahs, El Hancha utilisent un traitement à l'UV, Korba, Bouragoub, Tabarka, Hajeb El Youn, Oueslatia, Bouhajla, Hafouz, Jerba Aghir utilisent des bassins de maturation (www.ais.unwater.org, 2012 a).

III. 1.3. Utilisation agricole des eaux usées traitées

Les eaux usées traitées présentent toujours une ressource alternative non négligeable. Leurs compositions limitent leurs champs de réutilisations notamment en irrigation. En Tunisie, la REUT en agriculture a commencé en 1958 par l'irrigation des orangers dans la région de Soukra (Tunis) pendant la sécheresse.

La Tunisie est le premier pays de l'Ouest Méditerranéen à avoir adopté des réglementations de l'OMS pour la réutilisation des eaux traitées en irrigation. Depuis les années 80, une ambitieuse politique de réutilisation des EUT a été mise en place.

Le Ministère de l'Agriculture et l'Office Nationale d'Assainissement (ONAS), ont en charge la recherche de moyens pour améliorer l'efficacité de la politique nationale de réutilisation des EUT (El haite, 2010).

Les eaux usées traitées sont utilisées en grande partie pour l'irrigation agricole, les terrains de golf et des espaces verts. La totalité des eaux usées traitées produites pourrait satisfaire les besoins en eau.

Actuellement, l'irrigation avec les eaux usées concerne un périmètre de 9500ha partagé en :

- 8065 ha de périmètres irrigués répartis sur l'ensemble du territoire tunisien dont environ 4300 ha sont situés autour du Grand Tunis. Les eaux usées proviennent de 26 stations d'épuration. Ces périmètres peuvent mobiliser 40Mm³ d'eaux usées traitées.

Dont :

- ✓ 1040 ha de terrains de golf sont irrigués avec environ 12Mm³ d'eau usée traitée à partir de 6 stations.
- ✓ 450 ha de zones vertes utilisant 7,3 Mm³ d'eau usée traitée (www.ais.unwater.org, 2012 a).

La réglementation de l'OMS indique que l'utilisation des effluents secondaires traités est autorisée pour irriguer tous les types des cultures excepté les cultures maraîchères, qu'ils soient consommés cuits ou crus.

Les eaux usées traitées sont donc utilisées pour irriguer les arbres fruitiers (citrons, olives, pommes, poires...), les vignobles, les fourrages (sorgho, luzerne), le coton, le tabac, les céréales, les terrains de Golf (Tunis, Monastir, Hammanet, Sousse) et des jardins d'hôtel à Jerba et Zarzis (El haite, 2010).

Les EUT sont utilisées dans la région de la Soukra proche périmètre de Tunis pour l'irrigation d'agrumes (culture de citrons) à partir des eaux de la station de la Charguia ce qui a permis de sauvegarder 1200 hectares menacées par la salinisation et la baisse de la nappe phréatique.

Les projets les plus importantes de la REUT ont été implantés à Cebela-Bordj, Touil, La Soukra, Mornag, Nabeul, Sousse, Monastir, Sfax et Kairouan.

Chapitre III La réutilisation des eaux usées dans l'agriculture au Maghreb Arabe

Les plus grands périmètres d'irrigation sont : de Bordj Touil et Mornag qui couvrent environ 4232 ha soit plus de 50% de la totalité des périmètres (Tableau III-4) (www.ais.unwater.org, 2012 a).

Tableau III-4: Les périmètres irrigués avec les EUT (www.ais.unwater.org, 2012 a).

Gouvernorat	Périmètre irrigué	Année de mise en eau	Superficie (ha)	Cultures pratiquées
Ariana	Soukra	1965	409	Agrumes, grenadiers, fourrages
	Bordj Touil	1989	3145	Céréales, fourrages, arboriculture
Ben Arous	Mornag	1989	1087	Céréales, fourrages, arboriculture
Bizerte	Sidi Ahmed	2005	174	Non encore exploités
Béja	Béja	2003	354	Céréales, fourrages
	Medjez El bab	2003	100	Céréales, fourrages
Le Kef	Semmama	2004	180	Céréales, fourrages
Nabeul	Souhil, Messadi	1981	562.5	Arbres fruitier, grandes cultures, fourrages
	Bir Romana	2001		
	El Haouari	2002		
	Beni Khjar	2003		
Sousse	Zaouit sousse	1997	205	Arbres fruitiers, fourrages, oliviers
	M'saken	2003	125	
Monastir	Ouardanine	1997	45	Céréales, fourrages, arboriculture
	Lamta-Sayada-Bouhjar	1999	50	Arbres fruitier, fourrages
Kairouan	Dhraa Tammar	1989	240	Céréales, fourrages
Siliana	Mediouna	2006	87.2	Céréales, fourrages
Kasserine	Oued Essid	1998	131	Céréales, fourrages, arbres fruitiers
Sfax	El Hajeb	1989	537	Oliviers, fourrages
Gafsa	El Aguila	2000	117	Céréales, fourrages, Arboriculture
Gabes	Dissa (I et II)	1999/2007	300	Oliviers, grenadiers, fourrages
	El Hamma	2007	50	Oliviers, grenadiers, fourrages
Medenine	Oulget Elkhodher	2004	30	Arboriculture, fourrages
	Jerba Aghir	2005	51	Arboriculture, fourrages

Spécialement à Nabeul où les effluents secondaires ne sont pas utilisés pour l'irrigation en hiver. Ils sont infiltrés et stockés dans l'aquifère. Les volumes utilisables en irrigation par les agriculteurs sont plus importants en été (El haite, 2010).

Les cultures pratiquées comportent des céréales, des fourrages et des arbres fruitiers (Figure III-3).

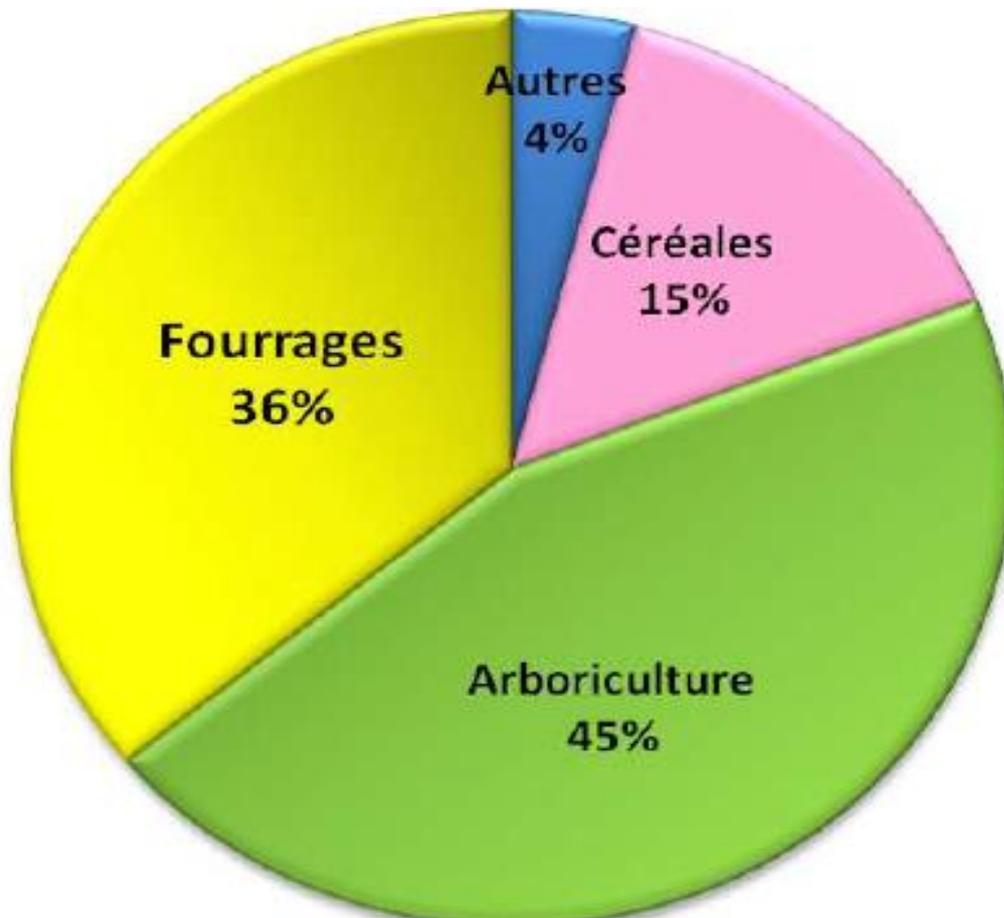


Figure III-3: les taux des cultures pratiquées dans les périmètres irrigués par les eaux usées traitées (www.ais.unwater.org, 2012 a).

La plus importante superficie irriguée a été créée dans la période 1985 à 1989 avec la réalisation des périmètres de Sousse, Sfax (1987), de Borg Touil et de Mornag (1989). Par conséquent, ces réalisations expliquent le 1^{er} pic obtenu en 1989 (Figure III-4). Entre 1989 et 2006, l'augmentation de la superficie irrigable par les EUE est remarquable. Particulièrement, entre la période allant de 2006 à 2008. Il est à noter l'existence d'une stagnation et même d'un déclin. Ceci est essentiellement lié à un taux d'urbanisation très intense au dépend des terres agricoles ; tel le cas du périmètre de Soukra qui ne couvre plus que le quart de sa superficie (www.ais.unwater.org, 2012 a).

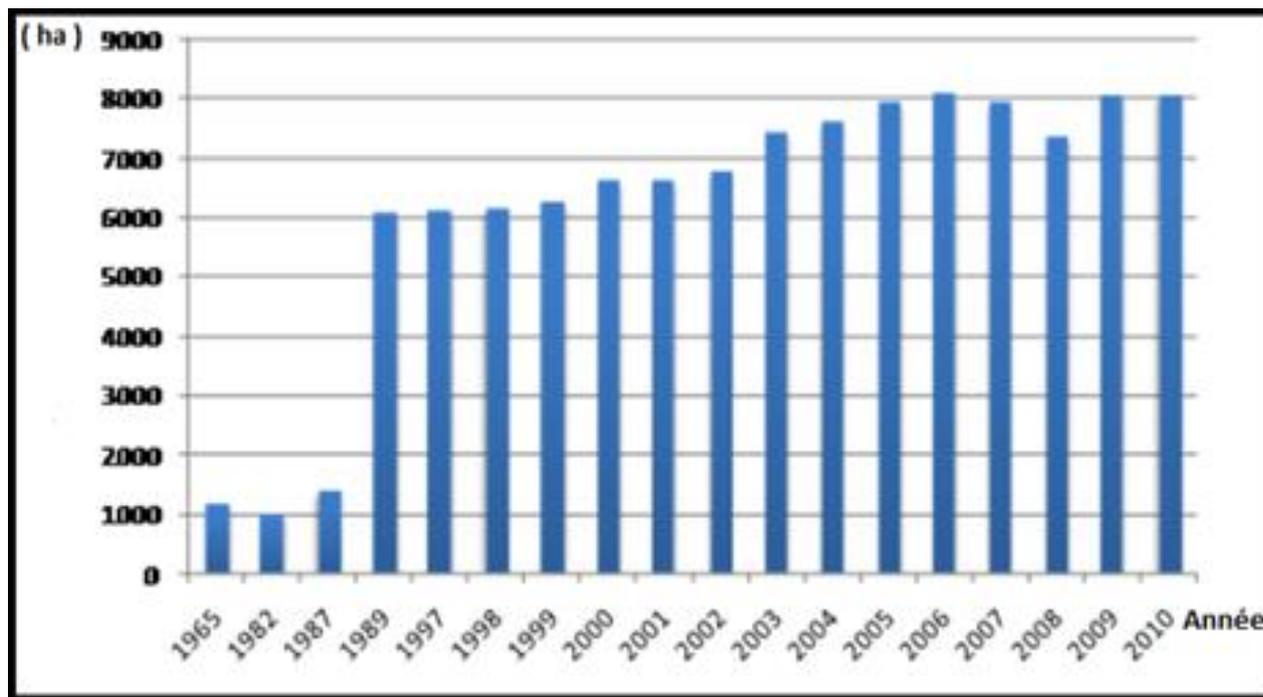


Figure III-4: Evolution de la superficie des périmètres irrigués avec les eaux usées traitées en ha (www.ais.unwater.org, 2012 a).

Les volumes des eaux usées utilisées dans les périmètres irrigués varient d'un périmètre à un autre et selon l'année (Figure III-5) et surtout selon la pluviométrie.

Pendant l'année de sécheresse (2001-2002), il est observé un pic de 18 Mm³ d'eaux usées traitées utilisées, alors que le minima est observé au cours de la période 2002-2003 qui est caractérisée par une abondance pluviométrique (www.ais.unwater.org, 2012 a).

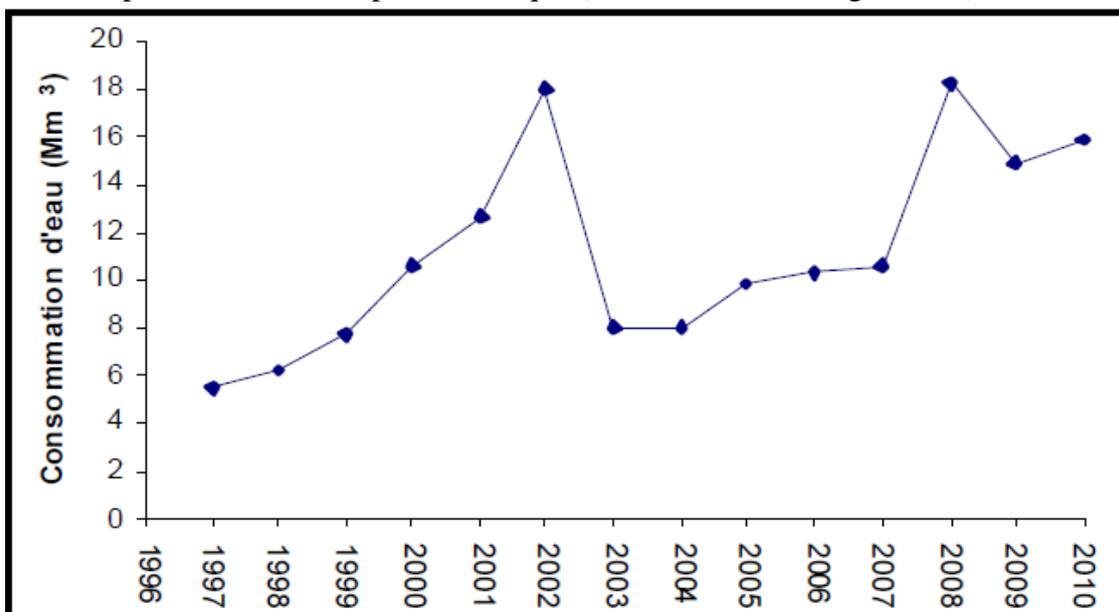


Figure III-5 : Consommation réelle en eau dans les périmètres irrigués avec les eaux usées traitées (www.ais.unwater.org, 2012 a).

III. 2. Cadre réglementaire et législatif de l'utilisation saine des eaux usées en agriculture

La réutilisation des eaux usées traitées en Tunisie est régie par plusieurs textes et lois.

- **Code des eaux**

Dans le code des eaux publié en 1975, la loi n° 75-16 du 31 mars, il est stipulé que la réutilisation des eaux usées n'est autorisée qu'après traitement approprié en station d'épuration. Ce code interdit également l'irrigation par ces eaux des cultures qui peuvent être mangées crues.

- **Décret de 1985 : la réglementation des rejets**

Le décret 85-56 régleme les rejets dans le milieu récepteur. Il fixe les lignes directrices et la concession des autorisations.

- **Normes de qualité des eaux usées traitées pour une réutilisation agricole**

Ces normes ont été établies en 1989 (NT106-03). Cette norme fixe les spécifications chimique et biologique (œufs de nématode) des eaux usées destinées à l'irrigation. Cette norme est en cours d'actualisation pour orienter les différents usages et les paramètres microbiologiques.

- **Décret de Juillet 1989 et décret de Décembre 1993**

Les conditions d'utilisation des eaux usées traitées en agriculture sont fixées par le décret n° 89-1047 (Juillet 1989), modifié par le décret n° 93-2447 (Décembre 1993). Ce décret comprend 14 articles fixant le mode d'utilisation des eaux usées traitées en agriculture ainsi que les dispositifs à prendre pour préserver la santé des consommateurs et l'environnement. Les eaux usées traitées doivent être conformes aux spécifications fixées par la norme tunisienne NT 106.03. Ce décret interdit l'irrigation des cultures maraichères et le pâturage direct. L'irrigation avec les eaux usées traitées ne doit pas occasionner des stagnations d'eau, des mauvaises odeurs, des gîtes larvaires. La fréquence des analyses physiques, chimiques et bactériologiques a été fixée par l'article 3 du décret n° 89-1047 selon le tableau suivant.

Chapitre III La réutilisation des eaux usées dans l'agriculture au Maghreb Arabe

Tableau III-5 : Paramètres et la fréquence des analyses nécessaires pour la surveillance de la qualité des eaux usées traitées destinée à l'irrigation (www.ais.unwater.org, 2012 a).

Paramètres	Type d'échantillons	La fréquence des analyses
pH, DBO5, DCO, SS, Na, Cl, N, NO3, CE	Echantillon composite de 24 heures	Minimum: une fois par mois
L'arsenic, alésage, cadmium, chrome, cobalt, cuivre, fer, fluor, manganèse, mercure, nickel, zinc, chlorures, le sélénium, le plomb	Echantillon composite de 24 heures	Minimum: une fois par semestre
Œufs de parasites	Echantillon composite de 24 heures	Une fois tous les 15 jours

- **Décret de 1^{er} mars 1991**

Le décret n°91-362 du 1^{er} mars 1991 régleme les études d'impacts environnementaux qui doivent être pris en compte dans tous les projets pour d'atténuer les risques.

- **L'arrêté ministériel du 21 juin 1994**

Par arrêté ministériel publié le 21 juin 1994, le ministère de l'agriculture a fixé la liste des cultures qui peuvent être irriguées par les eaux usées traitées. Les cultures autorisées sont:

- ✓ Les cultures industrielles: coton, le tabac, le lin.
- ✓ Les cultures céréalières
- ✓ Les cultures fourragères: bersim, du maïs, du sorgho.
- ✓ Les arbustes fourragers: Acacia et Atriplex
- ✓ L'arboriculture: palmier, les agrumes et les vignes, sans utiliser l'irrigation par aspersion.
- ✓ Les arbres forestiers.
- ✓ Les plantes florales (production de sèche ou industrielle): rose, iris, jasmin.
- ✓ marjolaine et le romarin.

- **Arrêté ministériel du 28 Septembre 1995**

Il s'agit du cahier des charges fixant les modalités et les conditions particulières de l'utilisation des eaux usées à des fins agricoles. Il est approuvé par arrêté des ministères de l'agriculture, de la santé et de l'environnement du 28 Septembre 1995. Il prévoit la protection, et l'éducation sanitaire des agriculteurs et des employés agricoles. Il interdit le pâturage et fixe un délai entre l'irrigation et la récolte des produits. Il fixe une distance minimale de 100 m entre les parcelles irriguées aux eaux usées traitées et les habitations et les routes. Les puits situés dans les périmètres irrigués par les eaux usées traitées ne doivent être utilisés pour les cultures autorisées.

- **Un comité interministériel régional a été établi pour assurer le suivi de**

L'utilisation des eaux usées traitées et de faire appliquer les textes réglementaires (www.ais.unwater.org, 2012 a).

Nous pouvons conclure que la Tunisie est très en avance par rapport à l'Algérie dans ce domaine et que la législation qu'elle a établie pour la réutilisation des eaux usées traitées est très performante.

IV. LA REUTILISATION DES EAUX USEES BRUTES DANS L'AGRICULTURE AU MAROC

Le Maroc réutilise des quantités importantes des eaux usées sans les traiter sur tous les types de cultures depuis longtemps. Cette grave situation peut engendrer des maladies hydriques graves, comme cela a été expliqué ultérieurement.

La réutilisation des eaux usées brutes en irrigation, est pratiquée à la proximité des villes importantes en raison de la forte concentration des populations et des besoins importants en produits agricoles, et particulièrement dans les terrains agricoles qui sont disponibles en aval des points de rejets des réseaux d'assainissement.

Il existe de plus de 70 zones concernées par la réutilisation des eaux usées qui se fait de manière illicite et anarchique sans aucun traitement préalable. Ceci peut entraîner des risques sanitaires pour les populations riveraines et des risques de pollution de la nappe phréatique et de dégradation des sols (El haite, 2010. pdf.usaid.gov, 2012).

Cette pratique peut répondre momentanément à la demande accrue en eau, à l'utilisation d'engrais et à la forte demande de nourriture mais elle est dangereuse et interdite. Elle doit faire place à des nouvelles pratiques fondées sur le traitement des eaux usées selon des normes strictes et précises.

Par conséquent, La REU peut revêtir un caractère vital dans certaines régions où la ressource en eau est limitée (pdf.usaid.gov, 2012).

Chapitre III La réutilisation des eaux usées dans l'agriculture au Maghreb Arabe

Le tableau III-6 regroupe les principales villes concernées par la réutilisation des eaux usées brutes, les superficies et les cultures pratiquées.

Tableau III-6 : Superficies irriguées par des eaux usées brutes (pdf.usaid.gov, 2012).

Provinces	Superficie (ha)	Culture
Marrakech	2000	Céréales, maraîchages, arboricultures
Meknès	1400	Maraîchages, arboricultures, fourrages
Oujda	1175	Céréales, maraîchages, arboricultures
Fès	800	Maraîchages, arboricultures
El Jadida	800	Maraîchages, fourrages
Khouribga	360	Céréales, maraîchages
Agadir	310	Maraîchages, arboricultures, soja, floriculture
Béni Mellal	225	Céréales, maraîchages, coton, betterave
Ben Guérir	95	Maraîchages, arboricultures, fourrages
Tétouan	70	Maraîchages, fourrages
TOTAL	7235	

La réutilisation des eaux usées brutes pour l'irrigation des cultures est une pratique courante et ancienne au Maroc.

Le volume des eaux usées réutilisées est environ de 70 millions de m³. Il irrigue une superficie totale estimée à plus de 7000 ha. Les cultures concernées par la réutilisation sont : les cultures fourragères, cultures maraîchères, Céréales et arboricultures (Tableau II-10) (pdf.usaid.gov, 2012. El haite, 2010).

Les motivations pour utiliser les eaux usées sont :

- valorisation des éléments fertilisants;
- économie d'énergie ;
- insuffisance de la ressource en eau de nappe ou de surface (pdf.usaid.gov, 2012).

Les conséquences négatives de la réutilisation des eaux usées brutes en irrigation au Maroc sont graves et multiples :

- La santé des consommateurs : l'année 1994 il a été enregistré plus de 4000 cas de typhoïde et plus de 200 cas de paludisme et des foyers de choléra au niveau du bassin de Sebous;
- L'économie : difficulté du traitement des eaux superficielles destinées à la production de l'eau potable (Station de traitement de Kariat ba Med);
- L'environnement : faible taux d'oxygène dissous dans les rivières, mortalité des poissons (El haite, 2010).

IV. 1. Situation de la REU à Oujda

A Oujda, la REU se pratique sur une grande superficie à cause de la pénurie d'eau. Les cultures irriguées sont les fourrages, les céréales, les arbres et le maraîchage. Excepté les périodes de pluies, le débit naturel de l'oued Bounaim est nul.

L'écoulement des eaux usées est souvent aménagé par les agriculteurs qui utilisent cette eau.

Un plan d'aménagement doit prévoir d'alimenter cet oued avec des eaux épurées afin de satisfaire la demande des agriculteurs qui utilisent les eaux usées directement par pompage depuis très longtemps et aussi pour préserver l'environnement et la santé des agriculteurs (pdf.usaid.gov, 2012).

IV. 2. Situation de la REU à Marrakech

Les eaux usées de la ville sont utilisées depuis plus de 60 ans par les agriculteurs sur le périmètre agricole de « El Azzouzia » pour l'irrigation des cultures (Céréales, maraîchages, arboricultures). Elles irriguent environ de 2000ha des terrains cultivées.

Le partage des eaux usées entre chaque agriculteur se fait par des séguias traditionnelles. Il est fondé sur les droits d'un agriculteur à avoir l'eau pendant un temps dans un tour d'eau. Ce temps n'est lié ni à la superficie, ni au type de culture pratiquée (pdf.usaid.gov, 2012).

V. LA REUTILISATION DES EAUX USEES TRAITEES EN IRRIGATION AU MAROC

Au Maroc, la disponibilité des ressources en eau est un facteur déterminant dans le développement du secteur agricole qui est la base de l'économie marocaine (El mehdi, 2010).

Le recyclage des eaux usées au Maroc est une option potentielle pour surmonter les obstacles qui entravent le développement de l'agriculture. Les conditions climatiques défavorables (climat aride, mauvaise répartition des précipitations, sécheresse, etc.), l'accroissement démographique et la rareté des ressources en eau classent le Maroc parmi les pays en situation de stress hydrique. Pour faire face à ce stress et déficit hydrique, il est élaboré des programmes et des stratégies dans le secteur de l'eau. Ayant comme objectif la gestion et la protection des ressources en eau, ces stratégies ont visé principalement la réalisation de plusieurs projets d'assainissement, tel que les stations d'épurations qui a comme objectif le traitement des eaux usées et la réutilisation de l'effluent traité pour l'irrigation agricole (El mehdi, 2010. bitagro.imist.ma, 2012).

La réutilisation des eaux usées traitées peut constituer une alternative importante à l'usage des eaux propres et fraîches dans le secteur agricole (El mehdi, 2010).

La réutilisation des eaux usées est une bonne idée car elle préserve les ressources en eau et apporte aux cultures une partie des engrais dont elles ont besoin. Cependant, pour assurer des bonnes conditions de cette réutilisation, il faut traiter ces eaux usées selon des normes strictes et précises (pdf.usaid.gov, 2012).

V. 1. Traitement des eaux usées

Le Maroc est l'un des pays reconnus pour son important stress hydrique, ce pays se dirige vers une pénurie d'eau à l'horizon de 2020. Cette situation est due principalement au climat régional et surtout à l'irrégularité des précipitations.

A l'heure actuelle, la rareté des ressources en eau est préoccupante dans la quasi-totalité des régions agricoles du Maroc.

Pendant le 21^{ème} siècle, le Maroc a connu une croissance démographique très importante, ce qui a eu pour effet d'augmenter la demande en eau potable dans les centres urbains et, par la suite, le taux de branchements au réseau d'eau potable et, conséquemment, celui de l'assainissement des eaux usées. Avec l'agrandissement des milieux urbains et l'expansion des réseaux d'assainissement, les volumes annuels des rejets des eaux usées a augmenté de façon significative (El mehdi, 2010).

Le volume des eaux usées provenant des milieux urbains est de 370 millions de m³ en 1990 et à environ de 500 millions de m³ en 2000. Selon les prévisions le volume des eaux usées peuvent atteindre environ 1 milliard de m³ en 2025 (Allali, 2005).

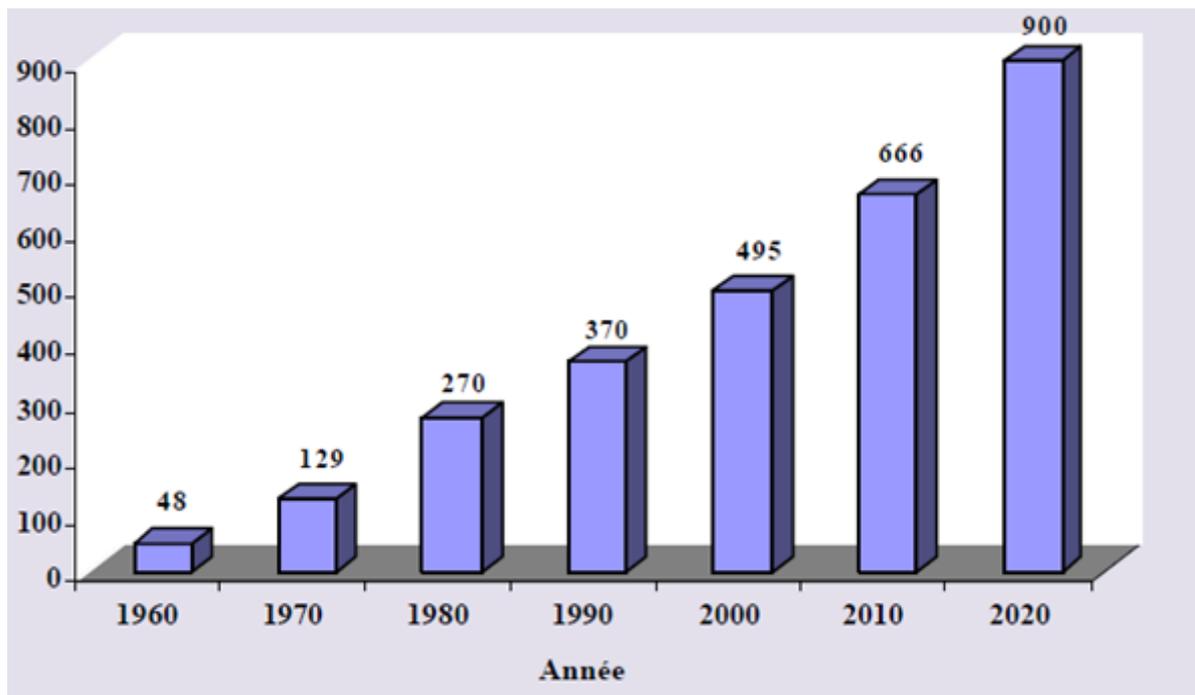


Figure III-6 : Evolution du volume des eaux usées brutes urbaines en Mm³ entre 1960 et 2020 (doc.abhatoo.net.ma, 2012).

Depuis les années quatre-vingts, le Maroc a mis en place plusieurs projets d'épuration des eaux usées. La première station est celle de Marrakech qui a démarré en 1985 avec une capacité de traitement de 380 m³/j. Jusqu'à maintenant, la station de Ben Slimane reste la plus performante avec une capacité de traitement de 5 600 m³/j. Le dernier projet de la réalisation d'une nouvelle station d'épuration des eaux usées est celui qui sera installé à Fès (www.ais.unwater.org, 2012).

Actuellement, le secteur de l'assainissement connaît un grand retard et plus de 90% des eaux usées sont rejetées dans le milieu naturel sans traitement préalable. Juste, moins de 10% des rejets du pays sont traités (El haite, 2010).

V. 2. Contexte réglementaire marocain

L'économie marocaine est basée principalement sur les activités agricoles, au point où l'agriculture est le secteur économique le plus exigeant de l'utilisation de l'eau. En conséquence, la réutilisation des eaux usées traitées en agriculture est une pratique plus rentable chez l'agriculteur marocain qui n'a pas assez de moyens financiers et techniques pour se procurer de l'eau conventionnelle.

Afin de protéger la santé des ouvriers agricoles qui travaillent avec ces eaux et les consommateurs des produits irrigués par ces eaux usées traitées, le secrétariat d'état du ministère de l'énergie chargé de l'eau et de l'environnement, en collaboration avec une entreprise allemande de coopération internationale pour le développement durable, ont établi des normes de qualité des eaux usées destinées à l'irrigation. Ces normes ont été créées sur la base de la protection et la gestion intégrée des ressources en eau :

La Loi 10-95 sur l'eau, qui a donné naissance aux agences de bassin dont l'objectif est d'assurer une utilisation rationnelle des ressources en eau par chaque bassin versant.

Le Décret n° 2-97-875, lié à l'utilisation des eaux usées, ce décret définit et fixe les conditions qu'il faut remplir en vue d'acquiescer une autorisation de l'utilisation des eaux usées épurées. Parmi ces conditions : la déposition d'une demande d'autorisation auprès du directeur de l'agence du bassin hydraulique, la réalisation d'une étude technique de la qualité des eaux usées épurées, l'élaboration d'un plan du système d'épuration et une étude d'impact du projet sur les eaux du bassin.

L'Arrêté n° 1276-01 fixe les normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation. Afin de respecter la réglementation décrite ci-dessus, il faut respecter aussi la directive élaborée par l'OMS sur la qualité microbiologique des eaux usées utilisées en agriculture. De plus, d'autres normes élaborées fixent des valeurs limites acceptables pour d'autres micro-organismes ainsi que pour des substances toxiques et certains éléments physico-chimiques (El mehdi, 2010).

V. 3. L'agriculture et l'utilisation des eaux usées traitée en irrigation

L'agriculture est considérée comme l'un des principaux piliers du développement socio-économique au Maroc. En fait, durant les années 1999 et 2000, l'économie marocaine a chuté parce qu'une forte sécheresse a frappé le pays.

La production agricole est influencée par la disponibilité des ressources en eau et particulièrement par certains facteurs climatiques et d'autres d'origine humaine, tels que la croissance démographique et l'urbanisation rapide non contrôlée. Tous ces facteurs peuvent augmenter la pression sur les ressources naturelles d'eau, sur l'agriculture et le revenu des agriculteurs.

Au Maroc, l'irrigation est l'instrument le plus approprié pour développer le secteur agricole. En effet, Les agriculteurs cherchent d'autres alternatives aux eaux conventionnelles afin d'irriguer leurs cultures et d'augmenter leurs rendements agricoles.

La réutilisation des eaux usées traitées est l'une de ces alternatives qui pourrait être fiable et très bénéfique pour l'irrigation et pour l'agriculture. En effet, les avantages environnementaux et socio-économiques de cette réutilisation ne peuvent se concrétiser que si ces eaux traversent une station d'épuration qui assurera l'élimination de tous les éléments susceptibles de porter atteinte à l'environnement et à la santé publique (El mehdi, 2010).

Actuellement l'usage des eaux usées traitées touche le secteur agricole avec une superficie irriguée (l'arrosage des golfs, des espaces verts, la recharge des nappes et l'irrigation des cultures) d'environ 550 hectares et atteindra 4000 hectares à l'horizon 2020.

Malgré l'intérêt manifesté très tôt par le département de l'Agriculture pour la réutilisation des eaux traitées à des fins agricoles, les efforts n'ont pas été suivis pour un passage rapide de l'expérimentation à l'application. La faiblesse de la superficie irriguées par les EUT est le fait de plusieurs facteurs, notamment la difficulté de mise en place de règles de partage des coûts de traitement des eaux usées entre les municipalités (producteurs) et les utilisateurs (agriculteurs).

Pour lever ces contraintes sur cette réutilisation, et compte tenu des enjeux économiques, sociaux, environnementaux, sanitaires de la REUT, le Ministère de l'agriculture a lancé en 2011 une étude avec un délai d'exécution de 15 mois pour élaborer un schéma directeur de la réutilisation des eaux usées traitées en irrigation. Inventorier le potentiel des ressources en eaux usées traitées susceptibles d'être utilisées à des fins d'irrigation, classer les terres irriguées potentiellement irrigables par la REUT, encourager et suivre les projets de réutilisation des eaux usées traitées en irrigation des cultures (www.ais.unwater.org, 2012).

V. 3.1. Expériences régionales de la réutilisation des eaux usées traitées en agriculture

Plusieurs projets pilotes de la réutilisation des eaux usées traitées en agriculture ont été réalisés à ce jour. Parmi de ces projets :

A. Projet de réutilisation des eaux usées d'Ouarzazate

Le projet est réalisé en deux phases :

- **Phase I**

Le travail a été accompli à l'intérieur d'un champ expérimental. Les objectifs de cette étape étaient de :

- ✓ Construire la station d'épuration avec un système d'épuration utilisant en parallèle une filière de bassins de stabilisation et une filière de technologie des bassins à haut rendement

- ✓ Caractériser la qualité de l'effluent et déterminer les performances de la station d'épuration
- ✓ Comparer l'effet de l'application de l'effluent épuré sur les eaux souterraines (par rapport aux parcelles-témoin), sur la production et sur la qualité hygiénique des cultures.

- **Phase II**

La seconde phase avait pour objectif de développer les aspects institutionnel et organisationnel associé à la réutilisation de l'effluent en irrigation.

Le site expérimental a été choisi dans la zone où les eaux usées brutes ont été utilisées sur plus de 20 ans. Le projet peut fournir les effluents traités aux agriculteurs placés en aval de la station d'épuration pour l'irrigation d'une superficie de dix hectares. Pour ces agriculteurs, le projet consistait à procéder au remplacement des eaux usées brutes par les effluents traités dans l'irrigation des cultures.

- ✓ **Impacts résulté après le projet**

L'irrigation par les eaux usées n'a pas permis de modification notable des propriétés physiques et physico-chimiques du sol. Les effets des eaux usées sur le sol ne se manifestent qu'après plusieurs années d'irrigation intensive.

Les résultats de projet montrent que l'irrigation par aspersion ou par goutte-à-goutte peut être appliquée à condition d'installer un système à double filtration. Ce moyen consiste en un filtre à sable suivi d'un filtre à tamis pour éviter le colmatage des émetteurs par les algues.

B. Projet Ben-Sergao (Agadir)

Il a adopté la technique infiltration/ percolation comme moyen d'épuration des eaux usées. Le projet a concerné un champ expérimental de 3 ha. Une irrigation goutte-à-goutte a été adoptée avec l'effluent épuré pour 50% du terrain et avec l'eau potable pour 50% dans le but d'évaluer l'effet des eaux usées épurées. Le projet a été novateur en introduisant l'irrigation des cultures sous serre et en testant quelques types de gazon. Le projet a comparé les rendements des cultures fertilisées à ceux des cultures non fertilisées irriguées avec des eaux usées épurées.

Les travaux menés sur la production de la pomme de terre et la tomate ont montré que les parcelles recevant l'eau épurée ont donné un rendement supérieur à celles irriguées avec l'eau conventionnelle de 12.6 et 46% respectivement pour la tomate et la pomme de terre.

La qualité gustative des fruits de ce projet est similaire pour les deux types d'eau. Les prélèvements en N, P et K étaient plus élevés pour l'eau épurée et que l'azote contenu dans les eaux traitées a pu satisfaire les besoins en cet élément des plantes.

L'effluent épuré est réutilisé avec une grande partie, particulièrement pour arroser les terrains de golf et les espaces verts puisque la ville d'Agadir est une ville touristique par excellence (www.ais.unwater.org, 2012).

C. Projet Drarga (Agadir)

Le projet a permis la construction d'une station d'épuration de type décanteur/anaérobie, massifs filtrants et dénitrification en 1999.

Les effluents épurés issus de la station de Drarga sont de catégorie A qui peut permettre d'irriguer des cultures dont les produits sont destinés à être consommés à l'état cru.

Les autres caractéristiques physico-chimiques sont également favorables à la réutilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation des cultures et des espaces verts sans restriction majeure (www.ais.unwater.org, 2012. www.vulgarisation.net, 2012).

Le volume des effluents épurés est passé de 170m³/j à la fin de l'année 2000 à 400m³ pour l'année 2010. Ceci a permis d'irriguer une superficie agricole de 6 à 8ha durant la période agricole 2000-2001 et environ 2,5ha d'espaces verts à partir de 2005. A partir de 2010, l'excédent des effluents épurés sont acheminés vers l'irrigation des cultures sous serres avoisinantes.

Les cultures à promouvoir sont : les céréales, les cultures fourragères et les cultures maraîchères. Les systèmes d'irrigation utilisées sont: le gravitaire, et l'irrigation localisée de type goutte à goutte. Cette dernière peut être généralisée pour tout le périmètre étant donné ses avantages en termes d'économie d'eau et en termes de protection environnemental et sanitaire.

Le dernier projet à un gain économique dû à l'apport des eaux traitées aux éléments nutritifs véhiculés par ces eaux (Azote, phosphore et le potassium), qui peuvent aider en plus à la fertilisation de sol. En plus de ces gains liés la composition des EUE en éléments nutritifs, il est à noter un gain significatif en matière de rendements de cultures : Le rendement sera au minimum doublé sinon triplé pour toutes les cultures à promouvoir (www.ais.unwater.org, 2012. www.vulgarisation.net, 2012).

Malgré la faible dimension du projet en termes de superficie irriguée et du nombre d'agriculteurs impliqués, ce projet de réutilisation aura un certain nombre d'effets positifs :

- Il représente un modèle pilote transférable aux autres communes riveraines de l'Oued Souss et à d'autres régions du Maroc.
- Il offrira un ensemble d'outils méthodologiques qui faciliteront la réalisation de projets similaires.

Il jouera le rôle d'une station expérimentale et d'une unité pédagogique pour les établissements universitaires de la région: Complexe horticole d'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II à Aït Melloul et l'Université Cadi Aayad d' Agadir (www.vulgarisation.net, 2012).

D. Projet de réutilisation d'El Attaouia (El Kelâa des Sraghna)

La mise en marche de la STEP d'El Attaouia est effective depuis le mois de mars 2003. Le volume journalier des eaux usées traitées rejetées par la STEP d' El Attaouia est de l'ordre de 700m³. Ce volume susceptible d'irriguer environ 62ha parmi lesquels 13ha seront irrigués par gravité pendant la phase I du projet alors que 49ha nécessiteront un pompage sur une hauteur manométrique de 4m et une distance de 700m.

Le projet étudié a montré la nécessité de procéder à deux phases :

- **La phase I a duré deux années (2003 à 2005)**

Cette phase était une période de démonstration, d'adaptation et de sensibilisation pendant laquelle les usagers ont été familiarisés avec la nouvelle ressource et informés sur les précautions à prendre avec les eaux usées traitées.

- **La phase II du projet, commencée en 2006**

Dans cette phase, il a été basé sur la valorisation maximum de la ressource à travers l'augmentation des terres irrigables. Le projet pourrait intéresser au 80ha environ à la fin de la phase II, et nécessitera plusieurs installations : La construction d'un bassin de stockage collectif de l'eau pendant la saison de faible demande climatique, la réhabilitation du réseau d'irrigation et l'amélioration de son rendement, l'installation d'une station de pompage pour atteindre les terres non dominées par la STEP et l'amélioration du système d'application de l'eau à la parcelle (irrigation localisée).

- ✓ **perspectives d'utilisation de l'eau traitée**

Le passage à un nouveau système d'irrigation est fortement conseillé. Ceci permettrait d'étendre la superficie irrigable de la station comme prévu, en minimisant les pertes et en optimisant son transport d'une parcelle à l'autre.

En générale, Le passage d'un système d'irrigation gravitaire par séguia en terre à un type plus moderne serait une amélioration assurée.

Dans les dernières années ; le Maroc a mis en place des projets d'irrigation de cultures et d'espaces verts à partir des eaux usées traitées, ayant de grandes superficies couvrant quelques fois des centaines ou des milliers d'hectares (Agadir, Settat, région orientale,..) (www.ais.unwater.org, 2012), mais c'est encore à la phase expérimentale et non à la phase intensive.

VI. LA REUTILISATION DES EAUX USEES EPUREES EN IRRIGATION DANS CERTAINS PAYS EUROPEENS COMPARABLE AUX PAYS DU MAGHREB ARABE

La réutilisation des eaux usées épurées est une pratique très répandue dans le monde et particulièrement dans les régions affectées par des pénuries de ressources en eau. La réutilisation agricole des eaux usées traitées a toujours existé, elle est une pratique largement répandue sur le pourtour sud de la Méditerranée, particulièrement, dans l'Espagne, France et Italie. En effet, le bassin méditerranéen est une région où la pénurie en eau est particulièrement sentie. Elle est liée essentiellement à leur type de climat qui peut être aride et parfois semi-aride. C'est aussi l'une des régions où la réutilisation agricole des effluents traités urbains est la plus pratiquée (Puil, 1998).

- **L'Espagne**

Malheureusement, l'Espagne réutilise le plus souvent des eaux usées urbaines en irrigation sans traitement au préalable, particulièrement pour irriguer les cultures maraîchères. D'ailleurs, elle veut améliorer, région par région, les réglementations liées aux eaux destinées à l'irrigation, pour rendre cette réutilisation répondre avec les standards sanitaires (Puil, 1998).

- **Italie**

La réglementation italienne est très stricte en matière d'irrigation. En effet, en 1996, une loi législative nommée « Normes pour la protection des eaux contre la pollution ». En effet, celle-ci a établi les normes pour une réutilisation agricole des eaux usées en irrigation (coliformes < 20/100 ml pour les produits consommés cuits, coliformes < 2/100 ml pour les produits susceptibles d'être consommés crus). Les limites établies par la législation italienne pour l'irrigation agricole sont trop restrictives comparées aux recommandations internationales mais, elles sont souvent pratiquement inapplicables dans le cadre de la réutilisation.

L'un des exemples, Marcites milanaise qui sont des prairies arrosées avec les eaux du canal Vettabia recevant une part importante des eaux usées brutes de Milan. Cette situation engendre plus souvent des risques environnementaux et sanitaires (Puil, 1998).

- **La France**

En France, la réutilisation des eaux épurées est peu développée. Elle est essentiellement due à l'abondance de leurs ressources en eau. En effet, sur les parties du territoire les moins irriguées, la pluviométrie moyenne annuelle ne descend guère au dessous de 600 millimètres. De plus, ces régions et notamment le midi méditerranéen ont très tôt été équipé de grands ouvrages hydrauliques (canal de Provence, canal du Bas-Rhône-Languedoc, barrages de

Vinça et de Villeneuve de la Rao) satisfaisant leurs besoins en eau. En conséquence, à part quelques situations singulières, il n'existe pas de véritable pénurie d'eau en France.

D'autre part, la REUE en irrigation est plus pratiquée surtout dans les pays en voie de développements et essentiellement dans les régions affectées par des pénuries de ressources en eau et par un déficit hydrique, comme il est le cas du Maghreb Arabe. L'utilisation des eaux usées traitées dans l'irrigation agricole est encore en stade expérimental dans les pays du Maghreb Arabe, particulièrement en Algérie et en Maroc, à l'instar de la Tunisie qui est un pays qui pratique REUE pour l'irrigation des cultures depuis plus de 40ans, où celle-ci est largement utilisée et elle est très performante (Puil, 1998. Bouaboura, 2011).

En France, les buts inhérents à des projets de REUE peuvent être de deux ordres :

- ✓ Ils peuvent induire une augmentation des ressources en eau et supprimer ou réduire les rejets d'eaux usées dans un milieu récepteur sensible.
- ✓ La réutilisation des EUE permet de minimiser et aussi de valoriser la pollution produite par les agglomérations.

A Ré, Noirmoutier et Porquerolles, les eaux usées, avant d'être réutilisées font l'objet d'un traitement biologique complété par un lagunage et/ou un stockage, ce qui permet d'avoir une qualité microbiologique convenable.

A Noirmoutier, l'irrigation par les EUE est réalisé sur 220 hectares de pommes de terres et de courgettes.

A Ars-en-Ré, l'irrigation par aspersion est effectuée sur des cultures de maïs, de tournesol et de pommes de terre.

Les cultures maraîchères de Porquerolles sont irrigués à la raie ou par irrigation localisée. La surface d'irrigation concernée est de 30 hectares.

L'installation de Cogolin est la première tentative faite en France dans la valorisation des eaux usées par l'irrigation en forêt. Les eaux utilisées pour l'irrigation sont les effluents de la station de Cogolin qui ont subi un traitement par boues activées en aération prolongée ainsi qu'un double filtration (par tamis de 180 à 120 microns successivement). Les méthodes d'irrigation utilisées sont l'aspersion et l'irrigation localisée.

L'utilisation des eaux usées traitées pour irriguer les terrains de golf tend à se développer. Parmi les exemples de Portes-en-Ré en Charente-Maritime (aspersion ou irrigation souterraine), Saint-Palais-sur-Mer en Charente Maritimes (aspersion) (Puil, 1998).

VII. CONCLUSION

La réutilisation des eaux usées traitées en irrigation permet certes de parer à la pénurie d'eau, mais elle doit répondre à des normes de l'Organisation Mondiale de la Santé pour ne pas engendrer des effets néfastes et des problèmes sanitaires sur les travailleurs, les agricultures, et surtout sur les produits agricoles, les consommateurs et sur l'environnement et les sols irrigués.

La connaissance et le bon choix de systèmes d'irrigation par les EUT sont des facteurs très importants pour assurer l'économie des eaux d'irrigation par exemple (irrigation par goutte-à-goutte), et aussi pour un bon fonctionnement du système d'irrigation pour la satisfaction des cultures de leur besoin en eau dans le but d'avoir un rendement acceptable des cultures.

L'Algérie, la Tunisie et le Maroc sont des pays sous développés qui réutilisent les eaux usées en agriculture depuis longtemps pour de multiples raisons dont : la rareté des ressources en eau conventionnelle, la démographie galopante, l'extension des terrains cultivées, par soucis d'économie d'engrais, etc.

Dans le Maroc et l'Algérie, la réutilisation des eaux usées traitées en agriculture est encore en stade expérimentale, par contre, la Tunisie est lancée dans ce domaine depuis fort longtemps.

I. INTRODUCTION

La réutilisation des eaux usées traitées présenterait un double avantage, en assurant le cycle naturel de l'eau, elle contribuerait à la protection de l'environnement, en limitant la pollution de l'eau, grâce à la diminution du volume des eaux usées déversées dans les fleuves, les lacs, les rivières, les oueds et la mer.

La réutilisation des eaux usées traitées en agriculture constitue une solution intéressante, pour atténuer la pression sur l'utilisation des eaux conventionnelles en irrigation. Elle permet aussi une augmentation remarquable du rendement des cultures.

Par ailleurs, la réutilisation des eaux usées en agriculture peut également avoir des effets néfastes sur l'environnement et sur la santé publique si les eaux usées sont mal épurées ou mal évacuées (Allali, 2005).

II. LES BONNES PRATIQUES AGRICOLES

Les eaux usées contiennent des constituants indésirables tels que les sels, les éléments traces, les composés organiques, les bactéries, etc. L'aptitude des eaux usées pour l'irrigation est principalement liée à ses effets sur le sol, les cultures, l'environnement et la santé humaine.

La composition des eaux usées nécessite une attention particulière et un contrôle constant afin de garantir une utilisation saine et sans effets secondaires en irrigation. Pour cela certaines précautions doivent être prises avant leur utilisation en agriculture. Il faudrait donc procéder au traitement et à l'épuration des eaux usées.

Deux conditions sont à appliquer pour n'importe quel système d'irrigation utilisant les eaux usées épurées:

- le choix des cultures à irriguer ;
- Le choix de la méthode d'irrigation appropriée et les précautions à prendre.

Par exemple l'excès d'azote par rapport aux besoins des cultures peut entraîner une pollution des nappes si des précautions adéquates ne sont pas prises par les agriculteurs (pdf.usaid.gov, 2012).

II. 1. Sélection des cultures

Les eaux épurées qui répondent à une certaine qualité de la directive de l'OMS peuvent être utilisées pour irriguer une certaine classe de culture.

Nous présentons dans ce qui suit une classification des cultures irrigables avec un effluent traité. Elles sont classées suivant les risques décroissants de transmission de pathogènes :

1. légumes mangés crus ;
2. légumes mangés cuits ;
3. plantes ornementales produites pour être vendues dans les serres ;

4. arbres produisant des fruits, mangés crus sans être pelés ;
5. pelouses dans des endroits d'agrément avec accès libre au public ;
6. arbres produisant des fruits que l'on mange crus après les avoir pelés ;
7. pelouses et autres arbres dans des zones d'agrément d'accès limité ;
8. cultures fourragères ;
9. arbres produisant des noix et d'autres arbres similaires ; et
10. cultures industrielles ou grandes cultures.
11. Etc.

Quelle que soit la méthode d'irrigation utilisée, les cultures en haut de la liste présentent le plus grand risque.

Il est évident que cette restriction des cultures est une stratégie pour protéger la santé de consommateur et de l'environnement. Néanmoins, les agriculteurs et leur famille restent à haut risque, puisqu'ils sont toujours exposés aux pathogènes des eaux usées, par le contact avec le sol et/ou les cultures.

L'agriculteur doit être sensibilisé et bien informé sur les restrictions des cultures, le choix du système d'irrigation, les mesures nécessaires à prendre pour éviter les risques sanitaires.

Cette sensibilisation doit être consolidée par un texte institutionnel concis et strict et un cadre juridique pénalisant les utilisateurs qui ne respectent pas la réglementation. A cet effet, il faudrait que les institutions étatiques qui s'occupent de l'agriculture et de l'environnement fournissent les conseils nécessaires à l'utilisation des eaux usées en agriculture (www.vulgarisation.net, 2012).

II. 2. principe de la sélection d'une méthode d'irrigation

La méthode d'irrigation avec Les eaux usées implique des aspects tels que, le problème des éléments microbiologiques et toxiques, et le problème des matières en suspension. Elle est choisie en fonction de la qualité de l'eau, de la culture à irriguer, le type de sol et l'expérience de l'irriguant. Elle est possible de réduire les effets indésirables de l'utilisation des eaux usées pour l'irrigation par la sélection des méthodes d'irrigation appropriées.

Quand les eaux usées épurées sont utilisées comme source d'irrigation, il faut mettre en œuvre toutes les moyens pour protéger les agriculteurs et éviter la contamination pathogénique des plantes irriguées à travers le contact des eaux usées (pdf.usaid.gov, 2012).

Le choix d'une méthode d'irrigation est défini par les facteurs suivants :

II. 2.1. Diminuer le contact avec les eaux usées

Il est important de minimiser les risques sanitaires associés par un contact direct ou indirect avec les eaux usées qui contiennent des pathogènes pendant l'irrigation.

Il y a des méthodes d'irrigation (irrigation par submersion, ou par aspersion...) impliquent le recouvrement complet de la surface du sol avec l'effluent traité, par conséquent, avec ces méthodes, les agriculteurs sont en contact avec l'effluent. Ces méthodes sont conseillées pour

l'irrigation des fourrages et des céréales à condition que les ouvriers évitent le contact direct avec l'eau pendant l'irrigation.

Par contre, l'irrigation en sillon (à la raie), ne mouille pas la totalité de la surface du sol. Cette méthode peut réduire la contamination des cultures. Mais une protection sanitaire ne peut pas être complète. Si l'effluent est transporté dans les sillons par tuyaux avec fermetures, le risque de contamination est minimisé.

Le système d'aspersion devrait être utilisé avec certaines précautions pour éviter un contact humain direct avec les gouttes d'eau. Il est préférable d'irriguer avec les eaux usées par cette méthode les cultures industrielles et les cultures consommées cuites. donc il faut mieux que utiliser dans l'irrigation par aspersion des eaux usée traitées par une traitement secondaire pour autant que l'effluent ne soit pas trop salin.

L'irrigation localisée (goutte à goutte) est une utilisation plus efficace et assure le maximum de protection sanitaire aux ouvriers agricoles et aux consommateurs surtout quand la surface du sol est recouverte de bâches en plastique ou d'autres couvertures.

Les systèmes d'irrigation goutte à goutte nécessitent une haute qualité de l'effluent pour empêcher le colmatage des émetteurs par une eau qui est libérée lentement dans le sol.

Pour éviter la stagnation de l'effluent et la formation de mares, il est nécessaire de niveler la terre tout en gardant une pente adéquate (pdf.usaid.gov, 2012).

II. 2.2 .Fonctionnement et entretien

En raison des caractéristiques propres des eaux usées et de leurs effets, l'irrigation avec ces eaux nécessite une plus grande attention quant à son utilisation.

Pour assurer un bon fonctionnement d'un système d'irrigation qui utilise les eaux usées traitées, il faudrait intégrer dans le système certains filtres valvés spéciaux. Il est important d'effectuer régulièrement un contrôle et une vérification de la performance de ces composants.

Des rapports quotidiens sur le fonctionnement et l'entretien du système sont nécessaires pour relever au plus vite toute défaillance ou rupture.

II. 2.3. Eviter le maximum le problème de l'excès d'azote

Généralement, l'apport en azote des eaux épurées dépasse les besoins des cultures. L'irrigation avec les eaux usées épurées peu engendrer un risque important de pollution des nappes par les nitrates. Par conséquent, l'azote doit être appliqué sur le sol irrigué en quantité adéquate au moment où la plante en a besoin.

Les bonnes pratiques agricoles incluent les pratiques suivantes :

- Analyser le sol
- Utiliser l'eau épurée de façon raisonnée afin d'optimiser les apports d'azote. Analyser les eaux épurées, appliquées régulièrement sur la parcelle irriguée.

En cas où l'irrigation avec les eaux usées apporte trop d'azote par rapport aux besoins des cultures, il est recommandé d'alterner les sources des eaux usées qui sont riches en N à un mélange de l'eau de nappe.

II. 2.4. Eviter le problème de colmatage

Les méthodes d'irrigation pourraient être difficilement utilisables si l'eau usée contient de fortes concentrations de matières en suspension (MES).

Le problème le plus sérieux associé avec l'utilisation d'eaux usées traitées dans des réseaux modernes d'irrigation est le colmatage des asperseurs, des mini asperseurs, des goutteurs. Les sels et les MES peuvent produire le colmatage dans les orifices d'émission ou les canalisations d'alimentation. Afin d'éviter ce problème, il faut bien traiter les eaux usées qui sont destinées à l'irrigation pour éliminer une grande portion des MES (pdf.usaid.gov, 2012).

III. LES ENJEUX DE LA REUTILISATION DES EAUX USEES TRAITÉES EN AGRICULTURE ET LES AVANTAGES ENVIRONNEMENTAUX

III. 1. Enjeux environnementaux

Il est évident que les eaux usées sont chargées par différents types de polluants, par conséquent, si ces eaux sont rejetées directement dans le milieu naturel, elles peuvent constituer un risque sur les ressources naturelles, la nappe phréatique et l'environnement.

Néanmoins, une fois épurées régulièrement, les eaux usées pourraient être une source d'eau pour les secteurs connus pour leur forte consommation d'eau et en particulier l'agriculture.

Dans le Maghreb arabe où le climat est aride et semi-aride, les variations dans les précipitations accompagnées par des périodes de sécheresse successives engendrent des impacts négatifs sur la disponibilité des eaux pour les agriculteurs. Pour cela, les eaux usées sont une source d'eau toujours disponible. En effet, les eaux usées traitées peuvent assurer l'équilibre du cycle naturel d'eau et préserver les ressources en eau en réduisant les rejets néfastes dans le milieu naturel (El mehdi, 2010).

En effet, le recyclage des eaux usées traitées permettrait de générer une grande quantité d'eau qui serait disponible pour le secteur agricole. Il permettrait aussi d'encourager la construction des infrastructures de traitement des eaux usées, ce qui engendrerait un impact positif sur le milieu récepteur à long terme. En plus, la construction de ces infrastructures limiterait aussi la construction de réservoirs d'eau et de barrages.

L'utilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation peut également aider à améliorer les rendements agricoles. Généralement, ces eaux sont riches en certains éléments nutritifs et en matières organiques comme l'azote minéral, l'azote organique, le phosphore et les micronutriments. Ces éléments sont importants pour augmenter la fertilité, la structure du sol et la productivité agricole. Cela permettrait de remplacer, en partie, l'usage d'engrais minéraux (El mehdi, 2010).

III. 2 .Enjeux économiques

Les eaux usées épurées pourraient avoir un impact économique positif sur les agriculteurs. À la suite de la forte demande d'eau dans le secteur agricole, l'acheminement de l'eau traitée vers les champs agricoles diminuerait l'utilisation d'eaux conventionnelles propres en irrigation. En effet, l'irrigation peut avoir une incidence sur l'économie des agriculteurs pauvres, qui s'en passeraient des ouvrages de transfert et de pompage d'eau agricole aux coûts élevés. Dès lors, les eaux traitées pourraient diminuer toutes ces dépenses et rendraient l'irrigation moins coûteuse, ce qui leur permettrait de s'orienter vers une agriculture à grande valeur ajoutée et plus durable. Cela augmenterait aussi la superficie des terrains irrigués, en assurant des bénéfices économiques importants aux agriculteurs.

D'autre part, l'agriculture est un secteur connu aussi par sa forte consommation d'engrais essentiellement pour augmenter la récolte.

Actuellement, dans le Maghreb arabe, le marché des engrais connaît une hausse des prix avec l'augmentation de la demande d'engrais. Cette augmentation des prix des engrais pourrait ainsi avoir un impact sur la rentabilité des agriculteurs, s'ajoutant aux coûts de l'utilisation d'eau propre. Pour cette raison, le remplacement des engrais par une source de nutriments moins coûteuse, comme les eaux usées traitées, est vu comme une solution prometteuse. Cette source, riche en phosphore, en azote, en potassium et en macronutriments essentiels à la croissance des plantes, pourrait jouer le même rôle que l'engrais, selon la concentration de ces éléments dans l'eau usées, le type de culture et le niveau de fertilité des sols. En conséquence, la réutilisation des eaux usées traitées pourrait limiter et peut aussi éliminer l'utilisation des engrais chimiques dans l'irrigation en réduisant les dépenses de ces engrais (El mehdi, 2010).

III. 3. Enjeux sociaux

La réutilisation des eaux usées traitées a montré plusieurs avantages sociaux. En fait, l'irrigation par ces eaux a permis d'augmenter la récolte des légumes, ce qui induirait une diminution de leurs coûts et une consommation à moindre coût pour les personnes pauvres n'ayant pas les moyens d'acheter du poisson et de la viande. En conséquence, cette augmentation de la consommation des produits agricole engendrerait un impact positif sur le revenu des agriculteurs.

La réutilisation des eaux usées pousserait les responsables à améliorer la réglementation environnementale et à adopter de nouvelles politiques de gestion de l'eau afin de protéger l'environnement et la santé publique (El mehdi, 2010).

IV. LES EFFETS NEGATIFS POTENTIELS ASSOCIÉS A L'UTILISATION DES EAUX USEES EN IRRIGATION

IV. 1. Le risque environnement

L'utilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation peut avoir des effets négatifs sur l'environnement. Les principaux dangers pour l'environnement :

- l'introduction des produits chimiques dans des écosystèmes sensibles (principalement le sol, l'eau et les plantes),
- la propagation des microorganismes pathogènes (FAO, 2003).

IV. 1.1. Effets sur le sol

Ces effets sont d'importance particulière pour les agriculteurs puisqu'ils peuvent réduire la productivité, la fertilité et le rendement de leurs terres. Le sol doit rester à un bon niveau de fertilité chimique et physique, afin de permettre une utilisation durable à long terme et une agriculture rentable. Les problèmes prévus au niveau du sol sont :

- la salinisation,
- la réduction de la perméabilité du sol,
- l'accumulation d'éléments potentiellement toxiques.

IV. 1.2. Effets sur les eaux souterraines

La pollution des eaux souterraines avec des composants d'eaux usées est possible, et pour réduire ou surmonter le problème, les aspects suivants sont recommandés:

- Irrigation basée sur les besoins en eau des cultures (quantité d'eau),
- Etablissement du programme d'irrigation basé sur les besoins en eau des cultures, la capacité de stockage en eau du sol et la qualité de l'eau usée traitée,
- Sélection des cultures qui peuvent absorber les constituants potentiellement dangereux présents dans l'eau usée traitée,
- Limitation de la quantité d'eau de façon à assurer l'apport exacte en N nécessaire à la culture, afin d'éviter la contamination par $\text{NO}_3\text{-N}$. Si N excède les besoins des cultures on doit alors:
 - sélectionner des cultures à besoins élevés en N,
 - mélanger l'eau usée avec de l'eau conventionnelle,
 - maintenir la maintenance et l'entretien des systèmes d'irrigation à un niveau acceptable (FAO, 2003).

IV. 2. Les risques microbiologiques

Les micro-organismes pathogènes ne peuvent ni pénétrer ni survivre à l'intérieur des plantes, donc les micro-organismes se retrouvent à la surface des plantes et sur le sol. Il peut y avoir une contamination pendant la croissance des plantes ou la récolte (Djeddi, 2007).

IV. 2.1. Risques sur les cultures irriguées

Le risque global de certains constituants des eaux usées traitées sur les cultures irriguées c'est la salinité, les eaux usées peuvent potentiellement créer une toxicité due à une concentration élevée de certains éléments comme le bore et quelques métaux lourds. Par exemple, les nécroses sur les feuilles identifient de toxicité au bore chez les cultures sensibles de bore (FAO, 2003.Djeddi, 2007).

IV. 2.2. Risques sur les voisinages et les agriculteurs

L'utilisation des eaux usées épurées en irrigation des cultures peut entraîner des nuisances sur les voisinages et les agriculteurs si ces eaux sont insuffisamment épurées, ce qui concerne les odeurs et le développement de moustiques.

Il faut donc, que les terrains agricoles irrigués par ces eaux, soient suffisamment éloignés des habitations.

Les helminthes intestinaux et les virus sont considérés comme l'origine de risque principal : ascaris, trichocéphales, ankylostomes, et pour moins degré de risque, les infections bactériennes (choléra et shigellose).

La mise en place d'une zone morte autour du périmètre irrigué par les EUE ou d'un rideau d'arbres protecteurs peut y remédier à ces risques (Djeddi, 2007).

IV. 3. Le risque chimique

L'origine des métaux lourds qui existent dans les EUE c'est essentiellement les rejets des eaux industriels, malgré un bon traitement avant le rejet de ces eaux industriels. Donc l'utilisation de ces EUE pour l'irrigation des cultures pose des risque et des problèmes environnementaux et sanitaires, et des effets indésirables sur le sol et les produits de la culture irrigué.

Le risque posé par les métaux lourds dépend de leur toxicité potentielle et du niveau de concentration; par ailleurs, certains sont bons pour la croissance des végétaux.

Une élimination naturelle de ces métaux lourds est effectuée par des traitements physiques (décantation) et puis se retrouvent dans les boues (Djeddi, 2007).

IV. 3.1. Les métaux lourds

Les eaux usées épurées utilisées en irrigation des cultures peuvent potentiellement créer une toxicité due à une concentration élevée de certains éléments comme les métaux lourds.

Les éléments trace ne sont pas tous toxiques, beaucoup sont essentiels en petites quantités pour la croissance des plantes (Fe, Mn, Mo, Zn). Mais, les quantités excessives de ces éléments peuvent causer des accumulations indésirables dans les tissus des plantes et une réduction de leur croissance.

La plupart des éléments trace sont fixés facilement et accumulés dans les sols. Des applications répétées avec des taux élevés, peuvent contaminer le sol et le rendre improductif.

Le prélèvement des éléments trace contenus dans les EUE doit être contrôlé par apport, à la demande des plantes et à leurs besoins.

Si la concentration d'un élément trace quelconque dans les tissus atteint le seuil de toxicité, le fonctionnement de la plante est affecté et la croissance du végétal est ralentie.

Le plomb et le mercure sont peu mobiles dans les sols mais, présents sous formes solubles, ces éléments sont très toxiques pour les végétaux, entraînant la destruction de l'allongement des racinaires et l'arrêt de la croissance de la plante. L'indice visuel est la chlorose.

Le cobalt peut causer aussi des chloroses quand il est présent en excès. Il est toxique pour les plantes et les êtres humains (Djeddi, 2007).

IV. 3.2. Toxicité spécifique des ions

Parmi les différents caractères chimiques d'une eau usée d'irrigation, la salinité en constitue l'aspect le plus important.

En générale, L'irrigation conduite avec des eaux chargées en sel et particulièrement, l'irrigation avec les eaux usées entraîne une accumulation de ces sels dans le sol susceptible de ralentir la croissance des végétaux avec baisse des rendements pouvant aller jusqu'au dépérissement (Clement, 1979).

Les eaux usées peuvent avoir une concentration élevée en Cl et Na à cause du contenu relativement élevé de ces éléments dans les eaux d'origine domestiques. Parallèlement, l'irrigation par ces eaux avec un excès de sodium peut engendrer la dégradation de la structure du sol (Clement, 1979. Djeddi, 2007).

Généralement, les ions les plus toxiques existants dans les eaux usées sont le sodium (Na), le chlore (Cl) et le bore (B) qui causent dans la plupart des cas une toxicité.

- **Le sodium**

Les cultures annuelles sont sensibles à de faibles concentrations de sodium mais peuvent être affectées par des concentrations plus élevées. Les plantes absorbent le sodium et se concentrent dans les feuilles, il peut entraîner des dégâts si son accumulation atteint une concentration dépassant la tolérance de la culture. Cette toxicité est manifestée par la brûlure

ou le dessèchement des tissus situés sur les bords de la feuille, surtout sur les feuilles les plus âgées.

Si la teneur en sodium dans les tissus de la feuille excèdent 0,25 à 0,50% en poids sec est souvent associée à une toxicité du sodium. Particulièrement pour les arbres. Il peut réduire cette toxicité si le calcium est suffisamment disponible dans le sol.

En générale, les fruits à noyaux sont sensibles à des concentrations relativement faibles en Na (Clement, 1979. Djeddi, 2007).

- **Le chlore**

Les cultures sensibles au chlore à faibles doses peuvent être affectées par des teneurs en chlore de la solution du sol à partir de 1 mg/l.

Les effets toxiques apparaissent facilement lorsque les sels sont apportés directement sur les feuilles lors des irrigations par aspersion. Donc les cultures peuvent souffrir si elles sont irriguées par la méthode d'aspersion.

Pour y remédier à ce problème, il suffit de stocker les eaux dans un réservoir ouvert pendant quelques heures pour éliminer le chlore résiduel. Une teneur en chlore résiduelle inférieure à 1 mg/l n'est pas dangereuse pour le feuillage, cependant une concentration supérieure à 5 mg/l serait hautement dommageable.

Les signes de toxicité sont : la brûlure des feuilles ou le dessèchement des tissus foliaires (Djeddi, 2007).

- **Le bore**

Malgré que, Le bore est l'un des éléments essentiels à la croissance végétale, mais avec des doses relativement faibles. Il devient toxique pour les plantes s'il existe en quantité excessive.

Les problèmes de toxicité par le bore sont souvent en rapport avec la présence de cet élément dans les eaux usées d'irrigation, mais ils peuvent aussi se manifester quand le bore se trouve naturellement dans le sol.

Les signes de toxicité se manifestent sur les bouts et les bords des feuilles plus âgées ou un dessèchement des tissus foliaires (Djeddi, 2007).

IV. 4. Risques sanitaires lié à la réutilisation des eaux usées en agriculture

Plusieurs risques ont été identifiés lors de la réutilisation des eaux usées en irrigation, surtout lorsque ces eaux ne respectent pas les normes de réutilisation strictes. Les eaux usées contiennent plusieurs micro-organismes pathogènes qui pourraient se retrouver aussi dans les EUT qui seront réutilisées pour irriguer les cultures destinées à la consommation humaine (pdf.usaid.gov, 2012).

Cette réutilisation des eaux usées pour l'irrigation est associée à des agents biologiques (virus, bactéries, protozoaires pathogènes) qui peuvent entrer au corps par voie buccale (par exemple, en mangeant des légumes contaminés par ascaris) ou par la peau (en cas

d'ankylostomes et de schistosomes). Ces agents biologiques peuvent causer les diarrhées et les infections par les nématodes. Ces risques peuvent augmenter à long terme avec l'utilisation continue des eaux usées (FAO, 2003. pdf.usaid.gov, 2012).

V. CONCLUSION

Les eaux usées et même les effluents issus du traitement sont riches en éléments minéraux nécessaires à la croissance des plantes et malgré que ces eaux usées traitées constituent une puissance en matières fertilisantes pour le sol (matières azotées et phosphatées), leurs teneurs en métaux lourds et en certains agents pathogènes, représentent néanmoins des risques de contaminations des sols, des nappes, des végétaux et des risques sanitaires pour l'homme et pour l'environnement.

L'irrigation avec les eaux usées traitées est une grande préoccupation d'ordre environnemental et sanitaire. Pour contrôler les risques lié à la REU en irrigation, il faut vérifier la qualité microbiologique de l'eau et pour réduire ces risques à un niveau acceptable, il est nécessaire de prendre des mesures (choix de la culture, choix du système d'irrigation...) importantes quant à leurs utilisations.

CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS

La réutilisation des eaux usées dans l'agriculture est devenue l'une des solutions qui peut répondre aux problèmes de sécheresse pandémique et de pénurie de l'eau, ainsi qu'à l'autosuffisance alimentaire en Afrique du Nord et en particulier au Maghreb Arabe. Cependant il faudrait prendre des précautions pour utiliser les eaux usées dans l'irrigation.

Les eaux usées à l'état brut contiennent généralement de fortes concentrations en agents pathogènes qui peuvent engendrer des risques pour la santé et des problèmes de pollution de l'environnement. Leur composition dépend de la population à l'origine de la production des eaux usées. Donc elles doivent être épurées selon des normes strictes et précises avant d'être réutilisées en agriculture. Ceci pour assurer la protection sanitaire et environnementale. L'épuration et le traitement des eaux usées est donc indispensable avant leur réutilisation. Les procédés d'épuration sont choisis et conçus en fonction du milieu à irrigué et du mode d'irrigation.

Les principaux avantages de la réutilisation des eaux usées sont :

- l'économie des eaux conventionnelles et d'accroître les ressources en eau;
- la protection des milieux récepteurs contre la pollution hydrique ;
- La réduction des quantités d'engrais utilisée en agriculture ;
- Atténuer des impacts liés à la sécheresse (en cas de rareté de précipitation).

Par ailleurs, la réutilisation des eaux usées en agriculture doit obéir à des normes et à une réglementation établis par l'OMS que nous avons présentée dans notre travail. Le respect de la réglementation éviterait tout risque de contamination par des bactéries pathogènes du personnel exploitant et des consommateurs des produits agricoles irrigués par ces eaux ou des utilisateurs des pelouses et espaces verts.

Le Maghreb Arabe est l'une des régions du monde où la réutilisation des eaux usées à des fins agricoles est la plus pratiquée, souvent, pas de façon réglementaire mais illicite. La Tunisie est un exemple d'une politique nationale de la réutilisation des eaux usées dans le domaine agricole.

La réutilisation des eaux usées traitées dans l'agriculture est encore en stade expérimentale et très peu développée en Algérie et à un degré plus au Maroc. Par contre, la Tunisie est lancée dans ce domaine depuis longtemps. Elle est considérée comme le leader des

Conclusion générale et recommandations

pays du Maghreb Arabe à avoir adopté ce mode d'irrigation agricole tout en appliquant la réglementation de l'OMS.

La réutilisation des eaux usées constitue une solution intéressante, pour atténuer la pression sur l'utilisation des eaux conventionnelles en irrigation. Elle permet d'augmenter le rendement des cultures de façons remarquable.

Les risques de la réutilisation des eaux usées en agriculture sont divers et engendrent plusieurs formes de pollution :

- environnementale liée particulièrement aux sols (réduction de la perméabilité et la fertilité de terres irrigués, accumulation des éléments toxiques comme les métaux lourds...) et aux eaux souterraines (pollution par les nitrates, nitrites et aussi des métaux lourds ;
- pollution microbiologique liés aux plantes ou la récolte (la propagation des microorganismes pathogènes, une contamination par les bactéries...);
- sanitaires liés aux personnes qui sont en contact direct avec les eaux usées (les voisinages et les agriculteurs) ou indirect (consommateurs des produits agricoles, visiteurs des terres irriguées par les eaux usées...);
- pollution chimique liés aux les cultures irriguée (une toxicité par les métaux lourds, des accumulations dans les tissus des plantes, réduction de la croissance des végétaux).
- Etc.

Le présent travail a présenté un diagnostic général sur la situation de la réutilisation des eaux usées en agriculture dans les pays de Maghreb Arabe.

Ceci nous a permis d'établir les recommandations suivantes dans ce domaine :

- L'épuration des eaux usées domestiques est impérative et nécessaire mais elle doit être appliquée selon des normes strictes et précises. Celles-ci doivent obéir aux directives

Conclusion générale et recommandations

de l'OMS pour assurer une protection sanitaire et environnementale. Ceci permettrait de fournir des quantités complémentaires en eau pour différents usages particulièrement à l'agriculture. Cela pourrait combler les déficits hydriques dus à la sécheresse et à d'autres agents économiques (développement rural, développement industriel et bien être.) dans les pays du Maghreb arabe ;

- Les effluents qui sont destinés à l'irrigation doivent être contrôlés par les services de l'hydraulique et de l'environnement ;
- L'application stricte des réglementations liées à la réutilisation des eaux usées en agriculture ;
- La sélection des méthodes d'irrigation appropriées selon la qualité des effluents pour réduire les effets indésirables de ce mode d'irrigation.
- Etc.

Références bibliographiques

Allali. K, 2005 : Modèle de contrôle optimal de l'utilisation des eaux conventionnelles et non conventionnelles en agriculture. Actes du séminaire Euro Méditerranéen « Les instruments économiques et la modernisation des périmètres irrigués » Séance 2. Analyse de la demande en eau. Département d'Economie rurale, Ecole nationale d'agriculture de Meknès, Maroc. 21-22 novembre 2005.

Bensaid W, 2002 : Etude et diagnostic de l'irrigation des maraîchères de la ville de Tlemcen par les eaux usées. Mémoire d'ingénieur d'état en hydraulique. Université de Tlemcen.

Boukli Hacène. A, 2011 : Réutilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation (Cas de la step d'Ain El Houtz pour la plaine d'Hennaya). Mémoire d'ingénieur d'état en hydraulique. Université de Tlemcen.

Boulahbal.O, 2001 : EFFETS DES EAUX USEES TRAITÉES SUR LES PROPRIÉTÉS CHIMIQUES DU SOL ET SUR LE COMPORTEMENT DUN VEGETAL. Revue semestrielle, n°09 Décembre 2001. Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie.

Boukli.L, 2012 : Office national de l'irrigation et du drainage (ONID), Au service du développement de l'hydraulique agricole. Le magazine promotionnel de l'Algérie N° 52 – Juillet 2012.

Bouaboura.L, 2011 : Cours Réutilisation des eaux usées.

Bouchelkia.H, 2011 : Cours Assainissement des eaux usées.

Boumedienne.M, 2011 : Cours d'épuration des eaux usées.

Boumedienne.M, 2012 : Cours Réutilisation des eaux usées en agriculture.

Clement.R, Galand.A, 1979 : L'irrigation par aspersion et réseaux collectifs de distribution sous pression, Edition EYROLLES 1979.

Djeddi. H, 2007 Utilisation des eaux usées d'une station d'épuration pour l'irrigation des essences forestières urbaines. Mémoire de Magistère en Ecologie et Environnement. Université Mentouri Constantine.

El haite.H, 2010 : Traitement des eaux usées par les réservoirs opérationnels et réutilisation pour l'irrigation. Thèse pour obtenir du diplôme DOCTORAT de l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne.

El mehdi .D, 2010 : L'évaluation de la possibilité de réutiliser en agriculture l'effluent traité de la commune de drarga. Essai présenté au Centre Universitaire de Formation en

Environnement en vue de l'obtention du grade de maître en environnement (M. Env.).
Université de Sherbrooke.

Faby.J.A, 2003 : L'IRRIGATION AVEC DES EAUX USEES TRAITEES, MANUEL D'UTILISATION, Document technique FNDAE (Fonds Notionnels pour le Développement des Adductions d'Eau) Hors- série N° 11. Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, Bureau Régional pour le Proche-Orient et Bureau sous-régional pour l'Afrique du Nord.

FAO, 2003 : L'irrigation avec des eaux usées traitées – séminaires. Manuel d'utilisation. Série N° 10. Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, Bureau Régional pour le Proche-orient et Bureau sous-régional pour l'Afrique du Nord.

Hartani.T, 2004 : La réutilisation des eaux usées en irrigation : cas de la Mitidja en Algérie. Actes du Séminaire « Modernisation de l'Agriculture Irriguée » Rabat, du 19 au 23 avril 2004. Institut national agronomique, Alger, Algérie.

Journal officielle, 2007 : Décret exécutif n° 2007-149 du 3 Joumada El Oula 1428 correspondant au 20 mai 2007 fixant les modalités de concession d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation ainsi que le cahier des charges-type y afférent, p. 8.

Khalaayoune.K, 2010 : Réutilisation des eaux usées en agriculture, risque de transmission de parasites à l'homme et à l'animal. Polycopie de document. Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Maroc.

Lebboukh. A, 2003 : Etude de la méthodologie de l'irrigation a partir des eaux épurées « pratiques et réglementations ». Mémoire d'ingénieur d'état en hydraulique. Université de Tlemcen.

Mutin.G, 2000 : L'eau dans le monde arabe Enjeux et Conflits. Ellipses Édition Marketing S.A 2000.

Mekhalif.F, 2009 : Réutilisation des eaux résiduaires industrielles épurées comme eau d'appoint dans un circuit de refroidissement. Mémoire de Magister. Université du 20 Août 1955 SKIKDA.

PNUE, 2005 : Programme des Nations Unies pour l'Environnement. Lignes directrices pour l'utilisation des eaux usées municipales dans la région méditerranéenne. Réunion des Coordonnateurs nationaux pour le MED POL Barcelone, Espagne, 24 – 27 mai 2005.

Projet de l'Union Européenne, 1998 : UTILISATION DES EAUX USEES EN IRRIGATION, APPROCHE GLOBALE DU TRAITEMENT DES EFFLUENTS, COMPARAISON D DEFERENTS SYSTEMES D'IRRIGATION SUR DIVERSES CULTURES ET LEURS ASPECTS INSTITUTIONNELS ET ORGANISATIONNELS. Projet « AVICENNE initiative » n°AVI*CT94_0002. Durée : février 1995_ février 1998.

Puil.C, 1998 : La réutilisation des eaux usées urbaines après épuration. Mémoire D.U.E.S.S. "Eau et Environnement" D.E.P. univ Picardie, Amiens, 62 p.

Rouha.S, 2012 : L'expérience algérienne dans le processus d'assainissement, L'assainissement par les plantes ou la STEP écologique. Le magazine promotionnel de l'Algérie N° 53 - Août 2012.

Les sites d'internet

www.fao.org, 2012 : Aquastat Organisation des nations pour l'alimentation et l'agriculture pour un monde libéré de la faim FAO, http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/algeria/indexfra.stm , consulté le 18/07/2012.

www.univ-blida.dz, 2012 : Traitement des eaux usées, VALORISATION DES EAUX USEES TRAITES EN IRRIGATION, CAS DE LA STATION D'EPURATION DE STAOUALI, ALGER, <http://www.univ-blida.dz/jstre/confs/boudjema.pdf>, consulté le 18/07/2012.

www.snaasco.com, 2012 : Réutilisation des eaux usées après traitement, <http://www.snaasco.com/document1> , consulté le 25/04/2012.

www.eurojournals.com, 2012 : Application in Agriculture of Treated Wastewater and Sludge from à Treatment Station, Application in Agriculture of Treated Wastewater and Sludge from à Treatment Station, <http://www.eurojournals.com/ejsr.htm> , consulté le 01/05/2012.

www.ais.unwater.org, 2012 a: Capacity Development on the Safe Use of Wastewater in Agriculture. Institut de recherche en génie rural, eaux et forêts, http://www.ais.unwater.org/ais/pluginfile.php/159/mod_resource/content/1/Tunisia_Rapport.pdf, consulté le 21/05/2012.

www.ais.unwater.org, 2012 : Projet de Renforcement des Capacités sur l'Utilisation sans danger des Eaux Usées en Agriculture, http://www.ais.unwater.org/ais/pluginfile.php/356/mod_page/content/111/utilisation_des_eaux_usees_dans_lirrigation_3-1.pdf , consulté le 13/08/2012.

www.vulgarisation.net, 2012 : Réutilisation des eaux usées en agriculture au niveau des petites et moyennes communes, Directives générales et expérience pilote de la commune de Drarga, <http://www.vulgarisation.net/bul67.htm> , consulté le 13/08/2012.

www.presse-dz.com, 2012 : L'irrigation des cultures avec des eaux usées, Alerte aux procédés de certains agriculteurs indéliçats, <http://www.presse-dz.com/info-algerie/23114-alerte-aux-procedes-de-certains-agriculteurs-indelicats.html>, consulté le 11/10/2012.

pdf.usaid.gov, 2012 :Water Resources Sustainability Project. Réutilisation des Eaux Usées en Irrigation. Deliverable for United States Agency for International Development, http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNACX004.pdf, consulté le 19/08/2012.

fr.wikipedia.org, 2012 a : Assainissement, <http://fr.wikipedia.org/wiki/Assainissement>, consulté le 08/05/2012.

www.djazairess.com, 2012 : Djazairess, <http://www.djazairess.com/fr/elwatan/108636>, consulté le 12/10/2012.

www.wikipedia.org, 2012 : Irrigation, <http://fr.wikipedia.org/wiki/Irrigation>, consulté le 10/08/2012.

www.researchgate.net, 2012 : La réutilisation des eaux usées traitées en agricultures en Tunisie, http://www.researchgate.net/publication/29644464_La_rutlisation_des_eaux_uses_traites_en_agriculture_dans_la_dlgation_de_Morng_en_Tunisie, consulté le 07/06/2012.

www.inbo-news.org, 2012 : L'utilisation des eaux usées épurées en irrigation, http://www.inbo-news.org/IMG/pdf/tecsult_Pierre-Roy.pdf, consulté le 01/05/2012.

www.eau-tensift.net, 2012 : Normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation, http://www.eau-tensift.net/fileadmin/user_files/pdf/publications/3_Irrigation.pdf, consulté le 29/07/2012.

www.semide.dz, 2012 : OFFICE NATIONAL DE L'ASSAINISSEMENT (ONA), consulté le 04/10/2012.

www.onid.com, 2012 : ONID, http://www.onid.com.dz/index.php?option=com_content&view=article&id=118&Itemid=173&lang=fr, consulté le 25/07/2012.

doc.abhato.net.ma, 2012 : Réutilisation des eaux usées épurées en agriculture au Maroc, Bilan de plusieurs années de recherche. http://doc.abhato.net.ma/DOC/IMG/pdf/eaux_usees.pdf, consulté le 25/07/2012.

bitagro.imist.ma, 2012 : Réutilisation des eaux usées... pour un développement intégré et durable, <http://bitagro.imist.ma/spip.php?article84>, consulté le 18/07/2012.

Liste des abréviations

ADN : Acide DésoxyriboNucléique.

AGEP : Agence Nationale de l'Eau Potable et de l'Assainissement.

COT : Carbone organique total.

DBO5 : Demande biochimique en oxygène pendant cinq jours.

DCO : Demande chimique en oxygène.

EU : eaux usées.

EUT : Eaux Usées Traitées.

GPI : Grands Périmètres d'Irrigation.

ha : hectare.

MES: Matières en Suspensions.

MTH : Maladie à transmission Hydrique.

MVS : Matières Volatiles en Suspension.

MO : Matières organiques.

Mm³ : Million de m³.

NT : Azote total.

OMS : Organisation Mondiale de la Santé.

ONA : Office National de l'Assainissement (en Algérie).

ONAS : Office National de l'Assainissement (en Tunisie).

ONID : Office National d'Irrigation et de et de Drainage.

PH : potentiel d'hydrogène.

REUE : Réutilisation des Eux Usées Epurées.

STEP : Station d'épuration.

UV : ultraviolets (rayonnements).

Métaux:

Al: Aluminium.

As: Arsenic.

Be: Béryllium.

B: Bore.

Cd: Cadmium.

Cl: Chlor.

Cr: Chrome.

Co: Cobalt.

Cu: Cuivre.

F: Fluore.

Fe: Fer.

Pb: Plomb.

Li: Lithium.

Mn: Manganèse.

Mo: Molybdène.

Na: Sodium.

Ni: Nickel.

Se: Sélénium.

V: Vanadium.

Zn: Zinc.

Liste des figures

Figure II-1 : Schéma générale des filières de traitement préconisée pour différentes classes de qualité des eaux usées A, B, C, en vue de la réutilisation	21
Figure III-1 : Evolution du nombre de stations d'épuration en Tunisie de 1975 à 2010	46
Figure III-2 : Taux de productions des eaux usées traitées selon les régions	47
Figure III-3 : Les taux des cultures pratiquées dans les périmètres irrigués par les eaux usées traitées	50
Figure III-4 : Evolution de la superficie des périmètres irrigués avec les eaux usées traitées en ha	51
Figure III-5 : Consommation réelle en eau dans les périmètres irrigués avec les eaux usées traitées	51
Figure III- 6 : Evolution du volume des eaux usées brutes urbaines en Mm ³ entre 1960 et 2020	57

Liste des tableaux

Tableau I-1 : Caractéristiques de quelques agents pathogènes des eaux usées	7
Tableau I-2 : Concentration en éléments traces recommandées pour les eaux d'irrigation	9
Tableau I-3 : Classes de qualité de salure de l'eau d'irrigation	10
Tableau I-4 : Niveaux de qualité d'eaux usées traitées en fonction de la teneur en œufs d'helminthes et des coliformes thermotolérans (fécaux)	18
Tableau II-1 : Les valeurs limites des paramètres bactériologiques	24
Tableau II-2 : Les valeurs limites des paramètres parasitologiques	24
Tableau II-3 : Les valeurs limites des paramètres toxiques	24
Tableau III-1 : Volumes d'eau usée rejetés en Algérie	40
Tableau III-2 : Répartition des stations de traitement et d'épuration des eaux usées par région hydrographique	40
Tableau III-3 : Origine des eaux usées collectées par l'ONAS en Tunisie	45
Tableau III-4 : Les périmètres irrigués avec les EUT	49
Tableau II-5 : Paramètres et la fréquence des analyses nécessaires pour la surveillance de la qualité des eaux usées traitées destinée à l'irrigation	53
Tableau III-6 : Superficies irriguées par des eaux usées brutes	55

Résumé

La réutilisation des eaux usées dans l'agriculture est devenue l'une des solutions qui peut répondre aux problèmes de pénurie de l'eau dans le Maghreb Arabe, et les besoins croissants en cette matière. Elle peut constituer aussi une alternative importante à l'usage des eaux propres et fraîches dans le secteur agricole. Par conséquent, elle peut atténuer la pression sur l'utilisation des eaux conventionnelles en irrigation. Cette réutilisation peut engendrer aussi des risques sanitaires et environnementaux si ces eaux sont insuffisamment épurées.

L'objectif principal de ce travail est de dresser un diagnostic de la réutilisation des eaux usées en agriculture notamment dans les pays de Maghreb Arabe, d'autres objectifs sont aussi visés dans ce travail : l'identification des enjeux et des avantages de la réutilisation des eaux usées, une présentation des problématiques et des risques qui peuvent engendrer par cette réutilisation.

La réutilisation des eaux usées traitées dans l'agriculture est encore en stade expérimentale et très peu développée en Algérie et au Maroc, d'ailleurs, la Tunisie constitue un exemple d'une politique nationale de la réutilisation des eaux usées puisque elle est lancée dans ce domaine depuis longtemps.

Mots clefs : réutilisation des eaux usées, irrigation, Maghreb Arabe, agriculture, cultures.

Summary

Reuse of wastewater in agriculture has become one of the solutions that can address the problems of water scarcity in the Arab Maghreb, and the growing needs in this field. It can also represent an important alternative to the use of clean and fresh water in the agricultural sector. Therefore, it can reduce the pressure on the use of conventional water in irrigation. This reuse can cause health and environmental risks if the water is insufficiently treated.

The main objective of this work is to establish a diagnosis allows the reuse of wastewater in agriculture, especially in the countries of the Arab Maghreb, other objectives are also covered in this work: the identification of issues of wastewater reuse a presentation of the issues and risks that may result from this reuse.

The reuse of treated wastewater in agriculture is still in experimental stage and not very developed in Algeria and Morocco Moreover, Tunisia is an example of a national policy for reuse since it was launched in this area since long.

Keywords: wastewater reuse, irrigation, Arab Maghreb agriculture crops.