

UNIVERSITE KASDI MERBAH - OUARGLA

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département des Sciences Agronomiques



## Mémoire

### MASTER ACADEMIQUE

**Domaine :** Sciences de la Nature et de la Vie

**Filière :** Sciences Agronomiques

**Spécialité :** Protection de la Ressource Sol-Eau et Environnement

**Présenté par :** M<sup>elle</sup> LAGHOUIL Hadjer Ilham

M<sup>me</sup> KHELLAF Besma

### Thème

Effet de l'utilisation des eaux usées épurées en irrigation sur les propriétés microbiologiques du sol dans la région de Ouargla

Soutenu

Le : 29/ 09 / 2020

M. IDDER Tahar

M<sup>me</sup> OUSTANI Mabrouka

M. KARABI Mokhtar

M. KHEMGANI Mohamed Abdelmalek

Président

Examinatrice

Encadreur

Co encadreur

UKM Ouargla

UKM Ouargla

UKM Ouargla

UKM Ouargla

Année universitaire : 2020/2021

## Remerciements

Tout d'abords, nous remerciant ALLAH qui nous aide et nous donne la patience et le courage pour terminer ce travail.

Nous tenons à remercier sincèrement et très chaleureusement notre encadreur Monsieur KARABI Mokhtar pour son attention et sa gentillesse et son aide pédagogique et scientifique.

Nous adressons le grand remerciement à notre Co-encadreur KHEMGANI Mohamed Abdelmalek.

Nous exprimons notre gratitude pour les membres du jury le Professeur M. IDDER Tahar et le Docteur M<sup>me</sup> OUSTANI Mabrouka pour l'honneur qu'ils nous ont attribué en acceptant d'examiner et d'évaluer notre travail. On espère que ce travail sera à la hauteur de leurs exigences scientifiques.

Nous souhaitons, également, adresser nos remerciements les plus sincères aux personnes qui nous ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire. À l'administration et à l'ensemble du corps enseignant de la faculté des sciences de la nature et de la vie pour leurs efforts.

## *Dédicaces*

*Je remercie tout d'abord Allah, tout puissant de m'avoir donné le courage, la force, la patience d'achever ce travail.*

Je dédie cet humble travail à mes parents

- A mon cher père Abdelaziz dont les conseils ont toujours guidé mes pas vers la réussite, sa compréhension, ses encouragements et son soutien moral et matériel dont je suis redevable aujourd'hui et demain.
- A ma chère Mère FADLI Lynda, la plus belle femme au monde qui m'a comblé de sa tendresse, sa générosité et affection tout au long de mon parcours.

Je ferai toujours de mon mieux pour vous rester fidèle et fière, j'implore Allah de vous protégez et de vous garder en vie pour voire d'autres succès.

- A ma sœur Houda et mes nièces Nivine et Miline
- A mes frères : Islam, Amine et Simo
- A ma très chère grande mère Mama Naziha
- A mes chères copines : Wafa, Wissem, Bisma, Samah

À toutes les personnes qui ont une pensée pour moi, à vous tous, Je dédie ce modeste travail avec Amour et Honneur.

*\* LAGHOUIL Hadjer Ilham \**

## Dédicaces

*Merci mon Dieu de m'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire, la patience d'aller jusqu'au bout du rêve et le bonheur de lever mes mains vers le ciel et de dire : «El hamdou lillah »*

*Je dédie ce modeste travail à :*

- *Mes très chers parents :*
- *A mon cher père Abdelaziz : Cher père je me rappelle toujours de tous les moments où tu m'as poussé à travailler et à réussir à tes conseils et à ta surveillance et ton unique caractère. Tu as toujours été là pour moi merci mon papa.*
- *A ma Chère mère ABDELAZIZ Zahia, la reine de ma famille celle qui fait de moi une bonne personne dans ce monde. Tout au long de ma vie tu es toujours là avec un sourire tendre pour guider mon chemin. Je te remercie pour tout ce que tu as fait pour moi.*
- *: A mon cher mari Mohemd Sekhri ZEGGAR : Depuis le jour où je t'ai connu, ma vie est comblée de bonheur. Merci pour tes encouragements, tu as toujours su trouver les mots qui conviennent pour me remonter le moral dans les moments pénibles.*
- *Mes adorables sœurs Hasna, Nour, pour leur soutien moral et leurs sacrifices tout au long de ma formation et pour leurs encouragements indéfectibles.*
- *A mes frères Youcef, Yasser, Abdesstar qui n'ont cessé d'être pour moi des exemples de persévérance, de courage et de générosité.*
- *A mon binôme et mon héros Hadjer Ihlam LAGHOUIL*
- *A ma chère Khardicha Wafa BOUGUERNE my Foufa*
- *A Mes meilleures : Ouardia SMAILLI, Yousra KARCHOU*

**\*KHELLAF Besma \***

## Table des matières

### Remerciements

Dédicaces

Tables des matières

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des photos

Liste des tableaux

Introduction ..... 1

### Partie bibliographique

#### Chapitre I. Généralités sur les eaux usées

I.1. Définition d'une eau usée ..... 3

I.2. Composition des eaux usées ..... 3

I.2.1 Microorganismes ..... 3

I.2.2. Matières en suspension (MES) ..... 5

I.2.3. Eléments traces ..... 6

I.2.4 Substances nutritives..... 6

I.3 - Origine et types des eaux usées ..... 7

I.3.1. Eaux usées domestiques ..... 7

I.3.2. Eaux usées industrielles ..... 8

I.3.3. Eaux usées agricoles ..... 8

I.3.4. Eaux pluviales ..... 8

I.4. Procédés de traitement des eaux usées ..... 9

I.4.1. Traitement préliminaire..... 9

I.4.2. Traitement primaire (les procédés physicochimiques) ..... 10

I.4.3. Traitement secondaire (les procédés biologiques)..... 10

#### Chapitre II. Réutilisation des eaux usées épurées

II.1 Réutilisation des eaux usées épurées dans le monde ..... 13

II.2. Domaine de l'utilisation des eaux usées épurées.....	14
II.2.1 Conditionnement de l'usage.....	17
II.3. Différentes réglementations dans le monde .....	17
II.3.1. Recommandations de l'OMS .....	17
II.3.2. Recommandations de l'USEPA (United States Environmental Protection Agency).....	18
II.3.3. Directives de la FAO (Food and Agriculture Organisation).....	19
II.3.4. Situation de la réutilisation des eaux usées en Algérie.....	21
II.4 Avantages de la réutilisation des eaux usées épurées .....	22
II .5. Irrigation à partir des eaux usées épurées.....	23
II.5.1 Fertilisants dans l'eau usée traitée .....	23
II.5.1.1 Charge nutritive en NPK .....	24
II.5.1.2 Autres nutriments .....	26
II.6. Impact de l'irrigation par les EUT .....	27
II.6.1 Différentes Techniques D'irrigation.....	28
II.7 Risques associés à la réutilisation des eaux usées épurées .....	29

### **Chapitre III. Généralités sur le fonctionnement microbiologique des sols**

III .1. Définition de la microbiologie du sol .....	33
III.2. Fonctionnement microbiologique du sol .....	33
III.2.1. Microflore du sol .....	34
III.2.1.1 Leur rôle .....	34
III. 2.2 Activité microbienne dans les régions arides .....	36
III.2.3. Quelques facteurs abiotiques régulant les communautés microbiennes .....	36
III 2.3.1. Humidité du sol : .....	37
III 2.3.2. pH du sol .....	37
III 2.3.3. Texture .....	37
III. 2.3.4. Salure .....	38
III. 2.3.5. Température du sol .....	38
III. 2.3 .6 Facteurs énergétiques .....	38

## Partie expérimentale

### Chapitre IV. Matériel et méthodes

IV.1. Présentation de la région d'étude .....	40
IV.1.1 Cadre pédologique .....	41
IV.1.2. Cadre climatologique .....	41
IV.1.3. Synthèse climatique .....	41
IV.1.3.1. Diagramme ombrothermique de GAUSSEN et BAGNOULS : .....	41
IV.1.2. Présentation du site expérimental .....	42
IV.1.2.1. Station d'étude.....	42
IV.3. Technique d'échantillonnage .....	44
IV.3.1. Analyses physico-chimiques .....	46
IV.3.1.1. Humidité .....	46
IV.3.1.2. pH .....	46
IV.3.1.3. Conductivité électrique (CE).....	46
IV.3.1.4. Dosage du carbone organique: .....	46
IV.3.2. Analyses microbiologiques .....	47
IV.3.2.1. Techniques d'étude et de dénombrement de la microflore telluriques .....	47
IV.3.2.2. Préparation des suspensions dilutions: .....	47
IV 3.2.3. Milieux de culture : .....	48

### Chapitre V. Résultats et discussion

V.1. Résultats des analyses physicochimiques : .....	50
V.2. Résultats des Analyses microbiologiques .....	54
Conclusion .....	59
Références bibliographiques.....	61
Annexes .....	70

## **Abréviations**

**A.N.R.H** : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.

**CE** : Conductivité électrique

**CF** : Coliformes fécaux.

**CT** : Coliformes totaux.

**EUE** : eau usée épurée.

**ES** : eau souterraine.

**GN** : Gélose nutritive.

**MES** : Matières en suspension.

**MO** : Matière organique.

**NPP** : Nombre le plus probable.

**OGA**: Oxytetracycline-Glucose-Yeast Extract Agar .

**ONA** : Office National d'assainissement.

**O.N.M** : Office National de Météorologie.

**ppm** : partie par million.

**STEP** : Station d'épuration des eaux usées.

**UFC. g.s.s<sup>-1</sup>** : Unité Formant Colonie par gramme de sol sec.

**RNDE** : Réseau national des données sur l'eau.

**MRE** : Ministère des ressources en eau.

**M B L**: *Marine biological laboratory.*

**USNSC**: *United States National Security Council*



## Liste des figures

Figure 1 : Réutilisation des eaux usées épurées.....	13
Figure 2 : Aspects de réutilisation des EU dans les différentes régions du monde .....	14
Figure 3 : Classification des métaux lourds en fonction des risques et de l'intérêt agronomique .....	31
Figure 4 : Champignons du sol .....	36
Figure 5 : Bactéries du sol .....	36
Figure 6 : Localisation géographique de la ville de Ouargla. ....	40
Figure 7 : Diagramme ombrothermique de la région de Ouargla 2007-2018 .....	42
Figure 8 : Méthodologie de travail.....	48
Figure 9 : Préparation des suspensions dilutions du sol.....	48
Figure 10: Représentation de la biomasse microbienne dans les sols irrigués par les EUE et dans les sols irrigués par les eaux souterraines ES .....	55

## Liste des photos

Photo 1 : Situation géographique de la région de sidi Khouiled.....	43
Photo 2: Station d'étude (les parcelles agricoles). ....	44

## Liste des tableaux

Tableau 1. Recommandations microbiologiques révisées de l'OMS pour le traitement des eaux usées avant utilisation en agriculture.....	20
Tableau 2. Limites recommandées en éléments traces (mg.L <sup>-1</sup> ) dans les eaux usées épurées destinées à l'irrigation.....	21
Tableau 3. Dénombrement des bactéries et des champignons dans les sols irrigués avec eaux usées épurées (EUE) et les sols irrigués avec l'eau souterraine (ES).....	54

# **Introduction**

## **Introduction**

Personne n'ignore que l'eau est un élément majeur pour toute la planète. Elle est une ressource vitale pour l'homme et pour tous les êtres vivants, et essentiels pour tout genre de production. Elle doit être classée comme un patrimoine universel et donc protégée, défendue et traitée comme tel, alors sa rareté deviendra une préoccupation pour l'humanité.

L'augmentation de la population et l'intensification des activités industrielles et agricoles, le nombre croissant de zones urbaines, ainsi que le mode de vie moderne exercent une pression sur les ressources en eau (Avella Vasquez, 2010), notamment dans les régions arides. Il est estimé qu'à l'horizon 2025, 1.8 milliard de personnes vivront dans des pays ou des régions disposant de moins de 500 m<sup>3</sup> d'eau renouvelable par an et par habitant (FAO, 2007).

D'après un rapport publié par l'Office Nationale de l'Assainissement (ONA) en 2019, l'Algérie compte 153 stations d'épuration qui produisent un volume dépassant les 21 millions de mètre cubes par mois d'eaux usées épurées avec un taux de réutilisation des eaux usées épurées de 5% durant le mois de Janvier 2019 (ONA, 2019).

À cet effet pour préserver la qualité des masses d'eau et pour diminuer les prélèvements dans le milieu naturel, il convient de chercher des approvisionnements alternatifs, et de se tourner vers des ressources d'eau non conventionnelles pour satisfaire l'accroissement de la demande. Plusieurs pays ont fait de grands efforts en matière de dessalement de l'eau de mer afin de satisfaire la demande de leurs populations urbaines (comme les Etats du Golf). Cependant, en raison du coût élevé associé à cette technologie, son adoption est généralement limitée aux usages domestiques dans les pays à haut revenu. Pour cela, la réutilisation des eaux usées épurées semble être une bonne alternative, pour des usages domestiques et agricoles, notamment en irrigation (Hind Mouhanni *et al.*, 2012). Afin de préserver les ressources en eau de bonne qualité pour la potabilisation (FAO, 2003), elle est particulièrement stratégique dans les pays arides et semi-arides où la pression sur les ressources en eau est forte.

L'agriculture consomme plus de 70 % des ressources en eaux notamment dans les pays en développement. En fait, c'est le secteur le plus intéressant. Ces eaux procurent à l'agriculture une ressource précieuse et renouvelable. Par ailleurs, le contenu de ces eaux usées en éléments nutritifs,

particulièrement en azote, potassium et phosphore, permet de diminuer les frais de fertilisation des sols et représenterait une source d'eau et d'engrais additionnelle renouvelable et fiable pour l'agriculture et la fertilité du sol, d'une part, et d'autre part peuvent contenir de nombreuses substances sous forme solide ou dissoute, ainsi que de nombreux micro-organismes pathogènes (bactéries, virus). Dans ce cas peuvent causer des risques sanitaires et environnementales (Oubrim *et al.*, 2011 ). Cependant, des normes et des réglementations sont nécessaires pour garantir une utilisation sûre des eaux usées et éviter les risques biologiques pour la population humaine.

La réutilisation des eaux usées épurées en irrigation à long terme peut influencer certaines propriétés du sol comme le pH, conductivité électrique, activité biologique ...etc. Il a été démontré que le sol irrigué avec des eaux usées contenait 4,1% de particules organiques en poids, mais ces particules abritaient jusqu'à 47,8% du carbone total du sol et 41,7% d'azote, et représentaient ainsi un important stockage d'énergie et de nutriments pour les micro-organismes du sol (Filip *et al.*, 2000).

Le travail que nous avons entrepris est une contribution à l'évaluation de l'effet de l'irrigation par les eaux usées épurées sur la microbiote du sol à savoir leur densité par rapport au sol témoin en étudiant les principaux paramètres physico-chimiques et microbiologiques du sol. Nous nous sommes appuyés sur les résultats des études déjà faites et qui traitent la même problématique.

Pour bien mener cette recherche, nous avons réparti notre travail en deux parties comme suit :

I. La partie bibliographique englobe trois chapitres qui traitent les eaux usées, leur revalorisation et enfin généralités sur le fonctionnement microbiologique des sols.

II. La partie expérimentale scindée en deux chapitres :

- Le premier chapitre porte sur la description du site d'étude ainsi que le matériel et les méthodes d'analyse.
- Le deuxième chapitre sera consacré à une synthèse des résultats et discussion auxquels sont arrivés certains chercheurs. Une conclusion générale clôturera ce travail.

# **Chapitre I**

## **Généralités sur les eaux usées**

## Chapitre I. Généralités sur les eaux usées

### I.1. Définition d'une eau usée

Les eaux usées sont des eaux altérées chargées de résidus, solubles ou non provenant par les activités humaines à la suite d'un usage domestique, industriel, agricole, ou pluviale. Ils constituent un effluent pollué parvenant dans les canalisations d'évacuation des eaux usées. Leur qualité très médiocre exige une épuration avant leur rejet dans le milieu naturel (El Alaoui *et al.*, 2013).

### I.2. Composition des eaux usées

La composition des eaux usées est extrêmement variable en fonction de leur origine (industrielle, domestique, etc.). Elles peuvent contenir de nombreuses substances, ces substances peuvent être classées en quatre groupes : les micro-organismes, les matières en suspension, les éléments traces minéraux ou organiques, et les substances nutritives (Harzallah., 2011)

#### I.2.1 Microorganismes

Les eaux usées contiennent tous les microorganismes excrétés avec les matières fécales. Cette flore entérique normale est accompagnée d'organismes pathogènes. L'ensemble de ces organismes peut être classé en quatre grands groupes : les bactéries, les virus, les protozoaires et les helminthes (Harzallah, 2011) et les champignons ; on distingue alors la flore entérique (i.e. intestinale) normale et les micro-organismes pathogènes. Ils ont des effets divers sur la santé, sont la cause d'infections bénignes (gastro-entérite) provoque aussi des maladies mortelles (choléra) ...etc. La pathogénicité de ces micro-organismes dépend de plusieurs facteurs.

- **Bactéries**

Les bactéries sont des organismes unicellulaires simples et procaryote. Leur taille est comprise entre 0,1 et 10  $\mu\text{m}$ . Elles sont les plus communément rencontrées dans les eaux usées. La concentration en bactéries pathogènes est de l'ordre de  $10^4$  germes.  $\text{l}^{-1}$ . Parmi les plus détectées on retrouve, les *salmonella*, dont celles responsables de la typhoïde, des paratyphoïdes et des troubles intestinaux. La voie de contamination majoritaire est l'ingestion. Les coliformes thermotolérants sont des germes témoins de contamination fécale communément utilisés pour contrôler la qualité

relative d'une eau. Les bactéries pathogènes d'origine hydrique sont responsables de la mort de 3 à 10 millions de personnes par an dans le monde (Miquel, 2003)

- **Virus**

Les virus sont des parasites intracellulaires de très petite taille (10 à 350 nm) qui ne peuvent se multiplier que dans une cellule hôte. Leur isolement et leur dénombrement dans les eaux usées restent difficiles, ce qui conduit vraisemblablement à une sous-estimation de leur nombre réel (Boutin *et al.*, 2009). Les virus entériques sont ceux qui se multiplient dans le trajet intestinal ne sont pas naturellement présents dans l'intestin, contrairement aux bactéries. Parmi les virus entériques humains les plus nombreux il faut citer les entérovirus (exemple : polio), les rotavirus, les retrovirus, les adénovirus et le virus de l'Hépatite A. L'infection se produit par l'ingestion dans la majorité des cas, sauf pour le Coronavirus où elle peut aussi avoir lieu par inhalation. Il semble que les virus soient plus résistants dans l'environnement que les bactéries (Aulicino *et al.*, 1996). Des chercheurs ont constaté qu'au cours du processus de traitement des eaux usées, les virus sont plus difficiles à éliminer que les bactéries.

- **Protozoaires**

Les protozoaires sont des organismes unicellulaires munis d'un noyau, plus complexes et plus gros que les bactéries. Plusieurs protozoaires pathogènes ont été identifiés dans les eaux usées (Gennaccaro *et al.*, 2003). La plupart des protozoaires pathogènes sont des organismes parasites, c'est-à-dire qu'ils se développent aux dépens de leur hôte. Certains protozoaires adoptent au cours de leur cycle de vie une forme de résistance appelée kyste. Cette forme peut résister généralement aux procédés de traitements des eaux usées. On peut citer parmi ceux-ci *Entamoeba histolytica*, responsable de la dysenterie amibienne ou encore *Giardia lamblia*. Ces organismes peuvent survivre plusieurs semaines voire même plusieurs années. En revanche, 10 à 30 kystes, est une dose suffisante pour causer des troubles sanitaires.

- **Helminthes**

Les helminthes sont des vers multicellulaires. Tout comme les protozoaires, ce sont majoritairement des organismes parasites intestinaux, fréquemment rencontrés dans les eaux

résiduaire, dans les eaux usées urbaines. Beaucoup de ces helminthes ont des cycles de vie complexes comprenant un passage obligé par un hôte intermédiaire. Le stade infectieux de certains helminthes est l'organisme adulte ou larve. Les œufs d'helminthes sont très résistants et peuvent notamment survivre plusieurs semaines voire plusieurs mois sur les sols ou les plantes cultivées. Le risque lié à leur présence est à considérer pour le traitement et la réutilisation des eaux résiduaires, ce qui constitue leur risque potentiel. La concentration en œufs d'helminthes dans les eaux usées est de l'ordre de  $10$  à  $10^3$  œufs/l (Faby, 1997). Les helminthes pathogènes rencontrés dans les eaux usées sont : *Ascaris lumbricoides*, *Oxyuris vermicularis*, *Trichuris trichuria*, *Taenia saginata*.

- **Champignons**

Les champignons constituent un groupe d'organismes extrêmement vaste (de l'ordre d'1.5 millions d'espèces dont 69000 identifiées) et très diversifié. On les rencontre dans de multiples habitats terrestres ou aquatiques. La majorité de ces microorganismes sont saprophytes, d'autres au contraire sont parasites de l'homme, des animaux et des plantes. Dotés de propriétés lytiques importantes, qui en font des agents de dégradation dangereux mais parfois des alliés utiles (production d'enzymes), les champignons jouent un rôle important dans l'équilibre biologique (Belaid, 2010).

## **I.2 .2. Matières en suspension (MES)**

Ce sont des matières biodégradables pour la plupart. Les micro-organismes sont le plus souvent adsorbés à leur surface et sont ainsi « transportés » par les MES. Elles donnent également à l'eau une apparence trouble, une mauvaise odeur. Cependant, elles peuvent avoir un intérêt pour l'irrigation des cultures (Faby et Brissaud, 1997). Les particules en suspension peuvent, par définition, être éliminées par décantation. C'est une étape simple et efficace pour réduire la charge organique et la teneur en germes pathogènes des eaux usées. Toutefois, un traitement beaucoup plus poussé est généralement requis pour faire face aux risques sanitaires.



### I.2. 3. Eléments traces

Les micropolluants organiques et non organiques résultent d'une pollution multiple et complexe. La voie de contamination principale, dans le cas d'une réutilisation des eaux usées épurées, est l'ingestion par voie indirecte (rejets atmosphériques sous forme d'aérosols). Ce genre de contamination est généralement préoccupant (Baumont *et al.*, 2004).

- **Métaux lourds**

Les métaux lourds que l'on trouve dans les eaux usées urbaines sont extrêmement nombreux. Les plus abondants sont le fer, le zinc, le cuivre et le plomb. Les autres métaux (manganèse, aluminium, chrome, arsenic, sélénium, mercure, cadmium, molybdène, nickel, etc.) sont présents à l'état de traces. Leur origine est multiple : ils proviennent « des produits consommés au sens large par la population, de la corrosion des matériaux des réseaux de la distribution de l'eau et de l'assainissement des eaux pluviales dans le cas de réseau unitaire, des activités de service (santé, automobile) et éventuellement de rejets industriels. Les éléments les plus dangereux sont le plomb (Pb), l'arsenic (As), le mercure (Hg), le cadmium (Cd) et le nickel (Ni).

- **Eléments organiques toxiques**

Les micropolluants d'origine organique sont extrêmement nombreux et variés, ce qui rend difficile l'appréciation de leur dangerosité. Ils proviennent de l'utilisation domestique, des rejets industriels et des eaux de ruissellement sur les terres agricoles, sur le réseau routier etc... Les stations d'épuration sont des sources potentielles de ces produits toxiques. Par conséquent, en raison de la faible solubilité de ces éléments organiques, on les retrouvera concentrés dans les boues plutôt que dans les eaux résiduaires (Belaid, 2010).

### I.2.4. Substances nutritives

Les nutriments se trouvent en grande quantité dans l'eau usée, et constituent un paramètre de qualité important pour la valorisation de ces eaux en agriculture. Les éléments les plus fréquents dans les eaux usées sont l'azote, le phosphore et parfois le potassium, le zinc, le bore et le soufre (Belaid,

2010), qui se trouvent en quantités appréciables, mais en proportions très variables que ce soit dans les eaux usées épurées ou brutes.

D'après Faby et Brissaud (1997), une lame d'eau résiduaire traitée de 100 mm peut apporter à l'hectare de terre agricole environ :

- 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

Cette matière organique présente dans l'eau usée sous différentes formes (solides en suspension, éléments colloïdaux et matières dissoutes) influe sur la biodisponibilité des macro- et des micronutriments qui sont essentiels à la nutrition des plantes (Toze, 2006), y compris sur ceux qui se trouvent originellement dans le sol.

### **I.3 - Origine et types des eaux usées**

Suivant l'origine et la qualité des eaux usées, on distingue quatre catégories d'eaux usées :

#### **I.3.1. Eaux usées domestiques**

Les eaux usées d'origine domestique sont issues de l'utilisation de l'eau potable dans la majorité des cas pour satisfaire tous les usages ménagers. Elles correspondent les eaux grises (lave-linge, lave-vaisselle, douche/bain, etc...) et les eaux vannes qui correspondent aux eaux de toilettes (urines et matières fécales). Ce type de rejets apporte également des micro-organismes et des contaminants divers (Baumont *et al.*, 2009). Les eaux usées domestiques contiennent des matières minérales et des matières organiques. Les matières minérales (chlorures, phosphates, sulfates, etc.) et les matières organiques constituées de composés ternaires, tels que les sucres et les graisses (formés de carbone, oxygène et hydrogène, mais aussi d'azote et, dans certains cas, d'autres corps tels que soufre, phosphore, fer, etc.)

**I.3.2. Eaux usées industrielles**

Elles sont très différentes des eaux usées domestiques. Leurs caractéristiques varient d'une industrie à une autre. Elles sont chargées en différentes substances chimiques organiques et métalliques, selon leur origine industrielle soit par les rejets des usines ou les rejets d'activités artisanales et commerciales comme blanchisserie, restaurant, laboratoire d'analyses médicales, etc. Selon Baumont *et al.*, (2004) elles peuvent également contenir :

- des graisses (industries agroalimentaires, équarrissage) ;
- des hydrocarbures (raffineries) ;
- des métaux (traitements de surface, métallurgie) ;
- des acides, des bases et divers produits chimiques (industries chimiques divers, tanneries);
- de l'eau chaude (circuit de refroidissement des centrales thermiques) ;
- des matières radioactives (centrales nucléaires, traitement des déchets radioactifs).

Tous les rejets résultant d'une utilisation industrielle doivent faire l'objet d'un traitement avant d'être rejetées dans les réseaux de collecte.

**I.3.3. Eaux usées agricoles**

L'agriculture est une source de pollution des eaux non négligeable car elle apporte les engrais et les pesticides. Elle est la cause essentielle des pollutions diffuses. Les eaux agricoles issues de terres cultivées chargées d'engrais nitrates et phosphatés, sous une forme ionique ou en quantité telle, qu'ils ne seraient pas finalement retenus par le sol et assimilés par les plantes, conduisent par ruissellement à un enrichissement en matières azotées ou phosphatées des nappes les plus superficielles et des eaux des cours d'eau (Mohammed Said, 2012).

**I.3.4. Eaux pluviales**

Les eaux de pluie sont polluées par les matières qu'elles entraînent en provenance des trottoirs et des chaussées (huiles, mazoute, graisse, sables, poussières, détritiques ...etc.). Elles contiennent également du Zinc, du Plomb et du Cuivre. Les eaux de pluies, collectées normalement à la fois avec les eaux usées puis déversées dans la canalisation d'assainissement et acheminées vers une

station d'épuration, sont souvent drainées directement dans les rivières entraînant ainsi une pollution intense du milieu aquatique (Mohammed Said, 2012).

#### **I.4. Procédés du traitement des eaux usées**

Les traitements sont la première barrière contre les risques posés par les contaminants. Ces traitements sont un ensemble de techniques qui consistent à purifier l'eau à partir d'une eau brute. Ils vont permettre de réduire considérablement la charge excrétée dans l'environnement pour atteindre la qualité conforme à la réglementation.

Les méthodes utilisées nécessitent un ensemble cohérent de traitements effectués après des prétraitements. Ces procédés sont classés selon trois catégories principales, les procédés physiques, chimiques et biologiques.

##### **I.4.1. Traitement Préliminaire**

Une station d'épuration comporte généralement une phase de prétraitement qui vise à éliminer tout ce qui pourrait gêner les traitements ultérieurs (FAO, 2003), pendant laquelle les éléments les plus grossiers sont éliminés par dégrillage (pour les solides de grande taille), puis par flottaison/décantation (pour les sables et les graisses).

###### **➤ Dégrillage**

Le dégrillage consiste à débarrasser l'effluent des matières les plus volumineuses. Il consiste à faire passer les eaux usées au travers d'une grille dont les barreaux moins espacés, retiennent les éléments grossiers (morceaux de bois, plastiques, filasses, boîtes de conserve, etc.)

###### **➤ Dessablage**

Ce procédé consiste à l'élimination des matières minérales en suspension dans l'eau et d'une granulométrie supérieure à environ 200 microns (sables, gravillons, etc.). Présentes dans l'effluent brut sont piégées dans un ouvrage par décantation qui est indispensable pour protéger les conduites et les pompes contre l'érosion et le colmatage.

- **Dégraissage et déshuilage** L'opération est destinée à réduire les graisses et huiles non émulsionnées par simple sédimentation physique en surface dans une zone de tranquillisation pour être récupérées dans un container à huile.

#### I.4.2. Traitement primaire (les procédés physicochimiques)

Il consiste en une séparation des éléments liquides et des éléments solides sous l'effet de la pesanteur. Les matières solides se déposent dans le fond d'un ouvrage appelé décanteur pour former les boues primaires. Ces dernières sont récupérées au moyen d'un système de raclage. Ce traitement s'effectue par des voies physico-chimiques pour faciliter la décantation (Boumediene, 2013).

- **Décantation simple** : est un processus physique de séparation sous l'action de la pesanteur. Les matières en suspension ou colloïdales ont tendance à se séparer du liquide par sédimentation.

- **Décantation associée** : le principe ici est de favoriser l'agrégation des molécules en suspension grâce aux techniques de coagulation (par des sels de fer ou d'aluminium) et de floculation pour former des floes plus gros et faciliter la décantation

D'après Asano (1998), les traitements physico-chimiques permettent un bon abattement des virus.

#### I.4.3. Traitement secondaire (les procédés biologiques)

- **Epuration par boues activées** : dans le traitement biologique on utilise souvent les boues activées. Il s'agit d'un réacteur qui contient les eaux à traiter, dans lequel est injectée une boue chargée de bactéries afin d'éliminer les éléments organiques telles les graisses, sucres, protéines ... etc. Les bactéries consomment la matière organique et contribuent à l'élimination de l'azote et du phosphate en présence d'oxygène (méthode aérobie) ou sans oxygène (méthode anaérobie) (Khechiba et Mahi, 2016).

A la sortie du réacteur, l'effluent passe dans un clarificateur. La boue décantée est séparée en deux flux ; l'un rejoint le réacteur (ensemencement) et l'autre est évacué vers la filière des boues. L'action des bactéries dans le réacteur nécessite de l'oxygène.

Selon Faby (1997), une épuration biologique (boues activées puis bassin de clarification) permet d'éliminer 90 % des virus, 60 à 90 % des bactéries, mais par contre a peu d'effet sur les kystes de protozoaires et les œufs d'helminthes et selon Asano (1998), un traitement par boues activées élimine 90 % des bactéries entériques, 80 à 99 % des entérovirus et des rotavirus, 90 % de *Giardia* et de *Cryptosporidium*. L'élimination a lieu grâce à la sédimentation de MES, la compétition avec les micro-organismes non pathogènes et la température.

**-Épuration sur lit bactérien** : est le plus ancien procédé biologique depuis près de 100 ans. Les lits bactériens sont des réacteurs biologiques à cultures fixées, non immergées. Des bactéries sont cultivées sur un substrat neutre, comme de la pierre concassée, de la pouzzolane (sable volcanique), du mâchefer ou du plastique. On fait passer l'effluent sur le substrat. Une épuration sur lit bactérien est plus efficace qu'un traitement à boues activées car elle élimine non seulement virus et bactéries mais aussi les œufs d'helminthes (20 à 90 %) et les kystes de protozoaires (83 à 99 % des kystes d'*Entamoeba histolytica*) (Faby, 1997).

**-Épuration par les disques biologiques ou bio disques** : les bactéries se trouvent sur des disques enfilés parallèlement sur un axe horizontal tournant. Ces disques plongent dans une auge, où circule l'eau à épurer ayant subi une décantation. Pendant une partie de leur rotation ils se chargent de substrat puis ils émergent dans l'air de façon à ce que les bactéries puissent régulièrement prendre de l'oxygène. Les boues en excès se détachent du disque et sont récupérées dans un clarificateur secondaire avant rejet dans le milieu naturel.

**-Par lagunage** : L'épuration par lagunage naturel repose sur la présence des bactéries en cultures libres et d'algues. L'oxygène nécessaire à la respiration bactérienne est produit par des végétaux en présence de rayonnement lumineux. Un traitement par lagunage comprend en général trois types de bassins :

- Le premier : bassin anaérobie permet de diminuer la charge en matière organique. L'anaérobiose est obtenue en apportant un effluent très chargé en matière organique. Ce type de bassin pose parfois des problèmes d'odeur, notamment à cause de la formation de composés soufrés.
- Le deuxième : bassin facultatif permet le développement d'algues photosynthétiques qui vont produire de l'oxygène, tout en diminuant la charge en matière organique.

- Le troisième : bassin de maturation va permettre l'élimination des pathogènes, sous l'action conjuguée des UV et du pouvoir germicide de certaines algues.

Le lagunage est donc un moyen peu coûteux et efficace de traiter les eaux usées. Il permet aussi une bonne élimination des bactéries pathogènes. Selon Faby (1997), les œufs d'helminthes peuvent être éliminés à 100 % si la durée de rétention est supérieure à 60 jours.

- ❖ Suite à ces traitements, l'eau traitée peut rejoindre le milieu naturel. Le milieu naturel possède des capacités d'autoépuration qui permettront d'affiner le traitement de l'eau. Par contre, pour réutiliser des eaux usées traitées directement en sortie de STEU il est nécessaire d'ajouter une étape de traitement dans la filière. Il s'agit d'un traitement tertiaire.

# **Chapitre II**

## **Réutilisation des eaux usées épurées**



## Chapitre II. Réutilisation des eaux usées épurées

La réutilisation des eaux usées consiste à récupérer les eaux usées après traitement, afin de les réutiliser. Cette ressource alternative est la seule ressource qui augmente en même temps que la consommation, ce qui en fait une ressource toujours disponible. Ce recyclage remplit donc un double objectif d'économie de la ressource ; il permet à la fois d'économiser les ressources en amont en les réutilisant, mais aussi de diminuer le volume des rejets pollués. L'intérêt en est cependant limité quand il n'y a pas de tension quantitative sur la ressource en eau dans le secteur concerné (Boulahai, 2014).

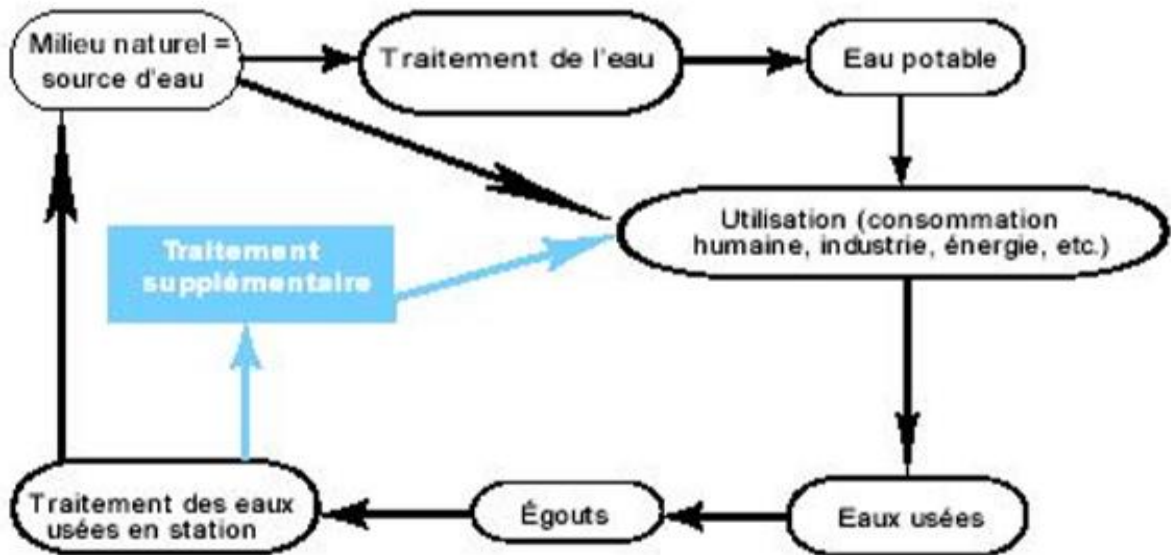


Figure 1. Réutilisation des eaux usées épurées (Baumont *et al.*, 2004).

### II.1 Réutilisation des eaux usées épurées dans le monde

La pénurie d'eau est la principale raison de la tendance croissante à la réutilisation des eaux usées dans le monde entier. Elle est, par exemple, très développée aux Etats-Unis, au Mexique et plusieurs pays d'Amérique du Sud, l'Australie, l'Afrique du Sud, le Japon, la Chine et les pays du Golfe Persique, même en Egypte, Syrie, Tunisie et en France. Les possibilités de réutilisation des eaux usées sont très larges quand la qualité est en adéquation. Bixio *et al.* (2005) ont classés les différents types de réutilisation selon 4 catégories ; (1) usage agricole, (2) usage urbain et

périurbain et recharge des nappes, (3) usage industriel, (4) usages mixte. Sur le plan mondial (figure 2), la réutilisation des eaux usées traitées pour l'agriculture, l'industrie et les usages domestiques couvrent respectivement 70 %, 20 %, 10 % de leur demande en eau (Ecosse, 2001).

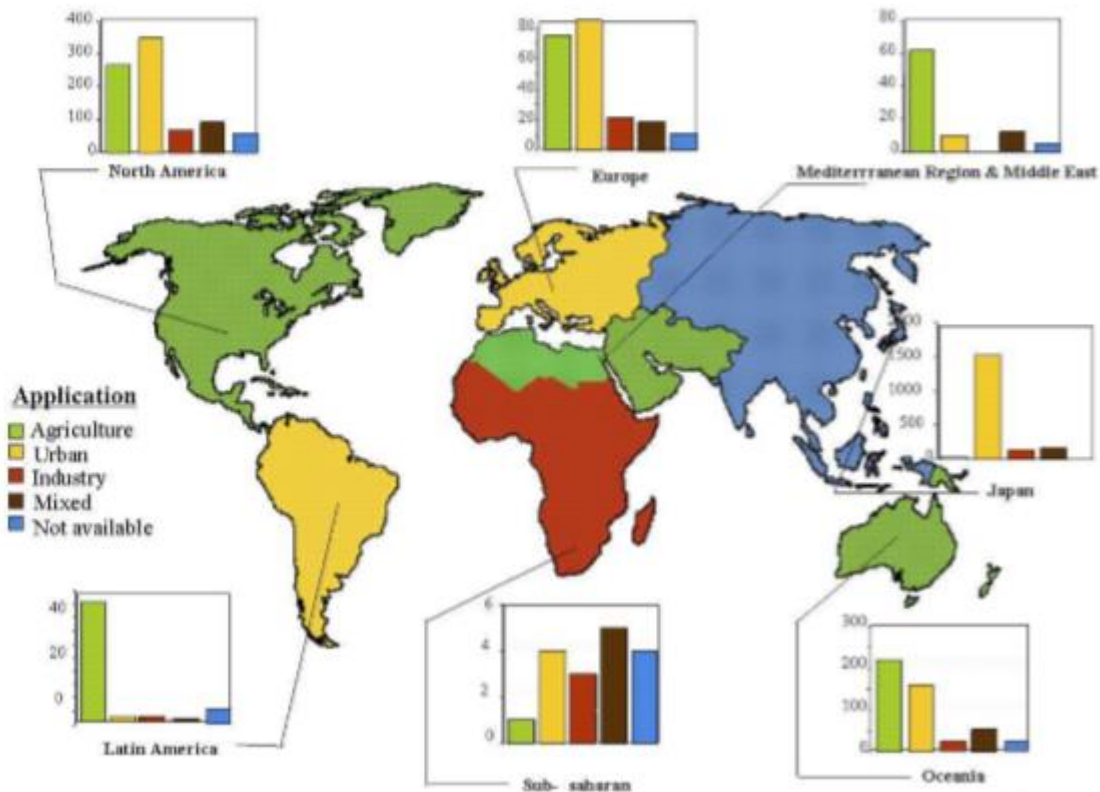


Figure 2. Aspects de réutilisation des EU dans les différentes régions du monde (Boxio *et al.*, 2005)

## II.2. Domaine de l'utilisation des eaux usées épurées

### a. Agriculture

L'agriculture est l'activité la plus consommatrice en eau au regard de la consommation nette. 49 % de la consommation de la ressource en eau était due à l'irrigation (RNDE, 2003). Les eaux usées épurées sont valorisées en agriculture grâce à leur composition riche en matières organique et minérale. Donc, dans le cas spécifique de l'irrigation, les bénéfices ne résident pas seulement dans la préservation du milieu et de la ressource, mais aussi dans la nature des eaux usées. En effet, elles contiennent des éléments fertilisants (azote, phosphore et potassium) ainsi que des oligoéléments

(fer, cuivre, manganèse, zinc, etc.) qui sont bénéfiques pour les cultures et qui peuvent augmenter significativement le rendement. Les MES contribuent 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 économiquement intéressante pour les agriculteurs. De plus, l'arrosage avec des eaux usées constitue une sorte de fertigation, c'est-à-dire l'application combinée d'eau et de fertilisants via le système d'irrigation.

La fertigation permet un apport fractionné et à faible dose d'engrais ; en cela elle est bénéfique pour l'environnement car elle évite la pollution des sols et les dépendances aux fertilisants qui sont des phénomènes qui apparaissent avec une fertilisation classique (Asano, 1998).

Le bénéfice d'une REUE peut donc être double, au niveau économique, car en plus d'une préservation quantitative de la ressource, les agriculteurs font des économies d'engrais (limiter l'utilisation d'engrais) ; et au niveau écologique, car en plus de la diminution des rejets d'eaux usées dans le milieu, la pollution agricole diminue.

### **b. Industrielle**

Parmi les activités industrielles, la production d'énergie est de très loin le secteur qui prélève le plus d'eau dans le milieu. La réutilisation industrielle peut donc être intéressante dans le secteur de l'énergie ; dans les circuits de refroidissement fermés ou ouverts et les autres applications possibles concernent les laveries industrielles, les stations de lavage de voiture, l'industrie du papier, la production d'acier, de textiles, les industries d'électroniques et de semi-conducteurs, etc. (Rahmani, 2015). L'un des premiers cas dans le monde est une papeterie du Japon qui est fournie en eaux épurées depuis 1951.

### **c. Zone urbaine**

Les utilisations possibles des eaux usées épurées en zone urbaine sont extrêmement nombreuses, et il en existe de multiples exemples à travers le monde, le plus souvent la lutte contre les incendies, lavage des rues, l'aménagement paysager (cascades, fontaines, plans d'eau), des chantiers de travaux publics. L'arrosage d'espaces verts (parcs, golfs, terrains sportifs), les eaux des sanitaires d'un immeuble ou d'un groupe d'immeubles, les bassins artificiels (piscine). Les normes qui

régissent la qualité des eaux usées destinées à de tels usages sont très sévères et voisines de celles de l'eau potable.

Les pays à la pointe de la REUE en milieu urbain sont en majorité des pays développés et fortement urbanisés : États-Unis, Japon, Corée du Sud, Allemagne (Ramade, 2000).

#### **d. Recharge des nappes**

Face aux besoins en eau sans cesse grandissant le concept de l'alimentation des nappes des eaux souterraines apparaît comme étant un moyen efficace d'établir une meilleure gestion des ressources en eau. La recharge artificielle des nappes est une pratique qui vise à augmenter les volumes d'eau souterraines disponible en favorisant par des moyens artificiel son infiltration jusqu'à l'aquifère avec l'utilisation des eaux usées épurées.

Les principales raisons concernant la recharge sont la baisse de niveau du plan d'eau des nappes phréatique essentiellement dans des zones arides qui doivent faire face à des problèmes d'assèchement des nappes, et l'augmentation de la salinité dû à l'intrusion saline au niveau des zones côtières. Les nappes sont envahies par l'eau de mer.

Il existe deux moyens de recharger une nappe phréatique :

- ✓ Par percolation : les effluents traités sont déversés dans des bassins gravitaires. Le principal problème rencontré est celui des algues, qui propage dans les bassins. Les solutions préconisées sont variées parmi eux : introduction de poissons, d'algicides, faire circuler l'eau pour empêcher la stagnation, etc. Un autre problème est la formation d'un microfilm de vase d'argile et de micro-organismes au fond du bassin qui bloque la percolation. C'est le cas à Los Angeles, 160 000 m<sup>3</sup> par jour d'effluents traités sont déversés dans des bassins gravitaires (Asano, 1998).
- ✓ Par recharge directe : L'eau est injectée dans la nappe par plusieurs puits, disposés en ligne face à la nappe d'eau salée, et formant une véritable barrière. L'eau injectée est un mélange de deux tiers d'eaux épurées et d'un tiers d'eau de la nappe. C'est le cas dans le comté d'Orange en Californie, Chaque jour, 57 000 m<sup>3</sup> sont déversés dans la nappe (Asano, 1998).

**e. Production d'eau potable**

La production d'eau potable est l'aboutissement le plus extrême de la réutilisation des eaux usées épurées il existe deux méthodes pour cette production (directe et indirecte) :

La réutilisation directe est quand l'eau ne revient jamais dans le milieu naturel les eaux épurées sont directement acheminées de la station d'épuration à l'usine de traitement pour l'eau potable système « pipe to pipe ». L'unique exemple dans le monde de réutilisation directe se trouve en Afrique, à Windhoek, capitale de la Namibie (Asano, 1998).

La réutilisation indirecte et non planifiée est quand les eaux épurées sont rejetées dans un cours d'eau ou une réserve souterraine qui sert à l'alimentation d'une usine de traitement, sans que ce lien soit volontaire. Contrairement à une réutilisation planifiée qui consiste à rejeter des effluents de station volontairement en amont d'une usine de traitement, au niveau du plan d'eau ou de la nappe qui sert d'ultime réservoir naturel avant le pompage et le traitement.

C'est le cas du comté d'Essex en Angleterre, où une ville de 140 000 habitants, est alimentée en eau potable pendant par des eaux épurées, après un passage dans la rivière Chelmer. D'un point de vue sanitaire aucune incidence sur la santé n'a été relevé (Lunn, 2001).

**II.2.1 Conditionnements de l'usage**

Le choix du domaine de la réutilisation des eaux usées dépend essentiellement de la qualité des eaux épurées, des types de cultures, du système d'irrigation et des conditions édaphiques du sol (Pereir *et al.*, 2002 *in* Balaid, 2011). Ainsi, la connaissance de la qualité physicochimique de ces eaux usées est fondamentale afin de prévoir les éventuels impacts sur le milieu récepteur (Toze, 2006).

**II.3. Différentes réglementations dans le monde****II.3.1. Recommandations de l'OMS**

L'organisation mondiale de la santé (OMS) reconnaît, depuis les années 1970 l'importance de la réutilisation des eaux usées en agriculture ainsi que ses avantages environnementaux et socio-

économiques, en se basant sur des études épidémiologiques. Donc il y a un vide juridique pour les autres usages, 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. En effet, l'OMS a défini quatre mesures pour réduire le risque de la réutilisation des eaux usées sur la santé publique, dont : le traitement de l'eau, la limitation des cultures, le contrôle de l'utilisation des eaux usées et le contrôle de l'exposition avec amélioration (OMS, 1989).

Par conséquent, l'OMS a élaboré une directive qui prend en considération ces quatre mesures en vue d'une réutilisation adéquate des eaux usées en agriculture. Elle a été nommée : la directive concernant la qualité microbiologique des eaux usées utilisées en agriculture. Cette directive fixe le nombre de bactéries coliformes considérées comme indicateurs d'organismes pathogène et le nombre d'œufs de nématode dépendamment de la catégorie d'irrigation et du groupe exposé aux cultures irriguées. Plus le groupe exposé est à risque, plus les normes de qualité d'eau traitée sont restrictives (Tableau1).

En 2000, elles ont été révisées, en intégrant les résultats des nouvelles études épidémiologiques (Blumenthal *et al.*, 2000). Les modifications ont été essentiellement porté sur la norme " œufs d'helminthes ".

En 2006, l'OMS a publié de nouvelles lignes directrices sur l'utilisation des EU (WHO *guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater*), Il s'agit d'une approche à barrières multiples qui cherche à protéger la santé des consommateurs avant que les aliments irrigués au moyen d'eaux usées n'atteignent leur assiette. Cette approche peut inclure la combinaison des éléments suivants : le traitement des eaux usées, la restriction des cultures, les techniques d'irrigation, le contrôle de l'exposition aux EU ainsi que le lavage, la désinfection et la cuisson des produits.

### **II.3.2. Recommandations de l'USEPA (*United States Environmental Protection Agency*)**

L'USEPA a publié en 1992, en collaboration avec l'USAID (*United States Agency of International Development*), ses propres recommandations sur la REUE, nommées " *Guidelines for Water Reuse*". Ces normes ne sont pas basées sur des études épidémiologiques et une estimation du risque

comme l’OMS, mais sur un objectif de zéro pathogène dans les eaux réutilisées. Les normes microbiologiques sont donc beaucoup plus strictes.

Ces normes concernent tous les usages envisageables pour des eaux usées épurées et plusieurs paramètres sont pris en compte : le pH, la demande biologique en oxygène, la turbidité ou les MES et les coliformes fécaux (indicateur de la qualité microbiologique). Et de là, le pH est toujours fixé entre 6 et 9. La turbidité ne doit pas dépasser en général 2 NTU. La DBO maximale est fixée soit à 10 mg/l, ou 30 mg/l selon les usages. Les coliformes fécaux doivent être soit en concentration inférieure à 200 CF/100 ml pour l’irrigation avec restriction, les usages paysagers, industriels et environnementaux, soit à un niveau de non détectabilité pour l’irrigation sans restriction, la baignade et la réutilisation indirecte pour l’eau potable. L’une des normes les plus strictes de (USEPA) est la situation dans laquelle la norme de chlore restante est imposée à 1 mg / l (Massena, 2001).

❖ Les deux recommandations (OMS et USEPA) s’opposent à plusieurs points de vue concernant le niveau de traitement et de mode de contrôle recommandé :

- l’OMS dit qu’un traitement extrêmement efficace peut être atteint par des bassins de stabilisation et préconise de contrôler le nombre des nématodes.

- l’USEPA compte sur des traitements de désinfection tertiaire type chloration, l’ozonation et recommande sur comptage des coliformes totaux comme unique contrôle de la qualité microbiologique

### **II.3.3. Directives de la FAO (*Food and Agriculture Organisation*)**

Institution spécialisée des Nations Unies en 1974. Elle a établi des directives concernant la qualité physicochimique et d’éléments traces métalliques de l’eau d’irrigation dans lesquelles l’accent était mis sur l’influence à long terme de la qualité de l’eau, sur la production agricole, sur les conditions du sol et les techniques culturales (Ayers et Westcot, 1988).

**Tableau 1.** Recommandations microbiologiques révisées de l’OMS pour le traitement des eaux usées avant utilisation en agriculture (Blumenthal *et al.*, 2000).

<b>Catégorie</b>	<b>Conditions de réutilisation</b>	<b>Groupes Exposés</b>	<b>Nématodes Intestinaux (nombre d’œufs par litre-moyenne aréthmique)</b>	<b>Coliformes intestinaux nombre par 100 ml moyenne géométrique</b>
<b>A</b>	Irrigation de culture destinée à être consommée crue, de terrain de sport, des jardins publics	Ouvriers agricoles, consommateurs, public	≤1	≤1000
<b>B</b>	Irrigation des cultures céréales, industrielles et fourragères des pâturages et des plantations d’arbres	Ouvriers Agricoles	≤1	Aucune norme n’est recommandée
<b>C</b>	Irrigation localisée de la catégorie B, si les ouvriers agricoles et le public ne sont pas exposés	Néant	Sans objet	Sans objet



**Tableau 2.** Limites recommandées en éléments traces (mg. L<sup>-1</sup>) dans les eaux usées épurées destinées à l'irrigation (FAO, 2003)

<b>Eléments</b>	<b>Utilisation à long terme (mgL<sup>-1</sup>)</b>	<b>Utilisation a courte terme (mgL<sup>-1</sup>)</b>
<b>Aluminium</b>	0,5	20
<b>Arsenic</b>	0,1	2
<b>Béryllium</b>	0 ,1	0,5
<b>Bore</b>	0,75	2
<b>Cadmium</b>	0,01	0,05
<b>Chrome</b>	0,1	1
<b>Cobalt</b>	0,05	5
<b>Cuivre</b>	0,2	5
<b>Fluor</b>	1	15
<b>Fer</b>	5	20
<b>Plomb</b>	5	10
<b>Lithium</b>	2,5	2,5
<b>Manganèse</b>	0,2	10
<b>Molybdène</b>	0,01	0,05
<b>Nickel</b>	0,2	2
<b>Sélénium</b>	0,02	0,02
<b>Vanadium</b>	0,1	1
<b>Zinc</b>	2	10

#### **II.3.4. Situation de la réutilisation des eaux usées en Algérie**

Devant la rareté de la ressource en eau conventionnelle, l'Algérie ne peut plus se permettre de tourner le dos à la possibilité de réutiliser les énormes quantités d'eaux usées rejetées dans la nature ou à la mer. Les pluies diluviennes, les eaux des barrages et des forages ne suffiront plus pour la satisfaction des besoins. Dans les zones sahariennes, les ressources en eaux souterraines sont vulnérables et non renouvelables donc la réutilisation des eaux usées traitées apparait comme une solution très conseillée en respectant les normes citées ci-dessus (tableaux 1 et 2) (ONA, 2010).

Ce qui explique aujourd'hui l'ambition de l'Algérie de traiter un milliard de mètres cube d'eaux usées pour l'irrigation de 100000 hectares. Pour le moment, l'Algérie qui dispose d'un volume d'eau traitée de 560 000 mètres cubes consacre 65% au secteur de l'agriculture pour l'irrigation (MRE, 2012).

Le potentiel de la réutilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles évoluera d'une manière significative d'environ 17 millions de m<sup>3</sup> en 2011 à environ 200 millions de m<sup>3</sup> en 2014. Malgré cette évolution, l'utilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation en Algérie reste encore à l'état embryonnaire. Selon le Décret exécutif n° 07-149 l ONA et chargé de suivi permanent et contenu des contrôles sanitaires périodiques des eaux pour permettre une rationalité de l'utilisation des eaux usées épurées.

#### **II.4. Avantages de la réutilisation des eaux usées épurées**

La réutilisation des eaux usées épurées permet de fournir des quantités d'eau supplémentaires à moindre coût et d'assurer l'équilibre du cycle naturel (par la réduction des prélèvements d'eau à partir de la nappe souterraine) et contribuer aussi à la protection de l'environnement, Peut également Prévenir l'eutrophisation et éviter la croissance des algues dans les étendues d'eau fermées, telles que lacs et étangs (Yazid, 2014).

Par ailleurs, le contenu de ces eaux en fertilisants, notamment l'azote, le potassium et le phosphore incite les agriculteurs à les utiliser comme une valeur nutritive pour les terres agricoles et les plantes.

Selon Metahri (2012), les avantages peuvent être brièvement récapitulés comme suit :

- économie d'eau claire.
- économie de fertilisants.
- accroissement de rendements.
- protection de l'environnement.
- création d'emplois.

## **II .5 Irrigation par des eaux usées épurées**

L'utilisation des eaux usées épurées en irrigation est la meilleure solution qui pourrait être fiable et bénéfique pour l'agriculture. En effet, celles-ci peuvent être une alternative à l'utilisation des eaux propres dans l'agriculture, pour laisser l'eau douce servir à l'alimentation humaine (El Mehdi Dadi, 2010).

Actuellement, cette pratique commence à prendre l'ampleur à cause de la rareté des eaux conventionnelles surtout dans les régions arides et semi-arides (Scott *et al.*, 2007 ; Condom *et al.*, 2012). Alors que dans des régions semi-humides l'irrigation est souvent apportée sur certaines cultures en complément de la pluviométrie.

En agriculture, l'hétérogénéité de ces eaux présente un certain nombre d'avantages parallèlement aux inconvénients bien connus. Beaucoup de facteurs rendent l'utilisation de l'eau usée épurée en agriculture une pratique prometteuse à cause de leur concentration en éléments nutritifs et matières organiques qui permet de conserver une minéralisation importante des sols. Selon OMS (1989), l'utilisation de cette pratique permettra de réduire près de 30% des apports d'engrais.

Pekrun *et al.*, (2003) signalent une augmentation en teneurs d'azote et de carbone organiques dans les cinq à dix premiers centimètres des sols irrigués.

En terme de surface, plus de 20 millions d'hectares des terres agricoles sont irriguées par les eaux usées épurées travers le monde (Derhoek, 2007).

### **II.5.1 Fertilisants dans les eaux usées traitées**

Les apports par les eaux usées traitées ne sont pas forcément négligeables en nutriment elles contiennent beaucoup de macronutriments N, P, K, Ca, Mg et micronutriments Fe, Zn, Cu, Mn... (Massena, 2001) qui sont essentiels à la nutrition des plantes. Cet apport pourrait être intégré dans le plan de fertilisation des parcelles. Toutefois, ces éléments nutritifs peuvent constituer un facteur limitant dans le cas d'un apport excessif lié à une concentration élevée ou à un apport d'eau usée traité important qui peut excéder les besoins de la plante par un développement végétatif excessif en retardant la maturité ou en réduisant la qualité des cultures irriguées. Elle peut également constituer une source potentielle de pollution des eaux de nappe. Il est donc nécessaire de

considérer les nutriments présents dans l'effluent traité en tant qu'élément du programme global de fertilisation des cultures irriguées. À cet égard, l'analyse d'eau usée est requise au moins une fois au début de la saison culturale (FAO, 2003).

D'autre part, la présence de matière organique dans l'eau usée traitée peut par son effet à long terme sur la fertilité du sol, contribuer également à la stabilité structurale du sol.

### **II.5.1.1 Charge nutritive en NPK**

- **Azote**

Il joue un rôle primordial dans le métabolisme des plantes. En effet, c'est le constituant numéro un des protéines qui sont les composés fondamentaux de la matière vivante. L'azote dans l'eau usée traitée peut dépasser les besoins des cultures. La teneur en azote dans les eaux usées peut varier de 20 à plus de 100 mg/l, selon les usages et le traitement de l'effluent de ces eaux (FAO, 1992).

L'excès de N entraîne l'accumulation des nitrates dans la plante, l'excès des nitrates dans le tissu végétal est néfaste pour la santé du consommateur c'est le cas des légumes foliacés : laitue, céleri, épinards... (Helmer, 2009).

L'usage des eaux usées en irrigation peut faire craindre un excès d'apports azotés, qui se réfère d'une part aux tolérances de la végétation cultivée et, d'autre part, aux risques de pollution des nappes phréatiques sous-jacentes (Tamrabet, 2011).

L'azote en quantité excessive peut dans certaines mesures : Perturber des productions. -retarder la maturation des cultures par exemple abricots, agrumes, avocats, vigne .et altérer leur qualité - réduire la teneur en sucre des fruits ou des betteraves -accentuer la sensibilité des cultures aux maladies-limiter le développement des jeunes racines (Faby, 1997).

- **Phosphore**

L'élément majeur pour la plante. Il exerce plusieurs rôles vis-à-vis des végétaux : transfert d'énergie (ATP), transmission des caractères héréditaires (acides nucléiques), photosynthèse et dégradation des glucides. C'est un élément essentiel pour la floraison, la nouaison, la précocité de

la production et la maturation des graines<sup>3</sup>. Dans l'eau usée après traitement secondaire, le phosphore varie de (15-35 mg/l) à moins qu'un traitement tertiaire l'élimine. L'évaluation de P dans l'eau usée traitée devrait être réalisée en concomitance avec les analyses de sol pour les conseils de fumure (FAO, 2003).

Selon (FAO, 1992), l'effluent des eaux usées peut contenir 5 à 50 mg/l du phosphore, selon l'alimentation et l'usage de l'eau de la population locale. Pendant le prétraitement des eaux usées, et par infiltration à travers le sol, le phosphore organique est converti biologiquement en phosphate. Dans les sols calcaires à pH alcalin, le phosphate se précipite avec le calcium pour former le phosphate du calcium. Dans les sols acides, le phosphate réagit avec le fer et les oxydes d'aluminium dans le sol pour former des composés insolubles. Quelquefois, le phosphate est immobilisé initialement par adsorption au sol et revient lentement en formes insolubles, autorisant plus d'adsorption de phosphate mobile, etc. Dans les sables propres avec pH neutre, le phosphate peut être relativement mobile.

- **Potassium**

Cet élément est très mobile dans la plante et est rapidement distribué dans les différents organes du végétal. Le potassium joue un rôle fondamental dans l'absorption des cations, dans l'accumulation des hydrates des protéines, l'organisation de la cellule, le maintien de la turgescence de la cellule et la régulation de l'économie de l'eau des plantes (régulation des stomates). Le potassium est un élément de résistance des plantes au gel et à la sécheresse ; c'est un activateur du système enzymatique.

Il est essentiel pour le transfert des assimilés vers les organes de réserve (bulbes et tubercules). Dans toutes les conditions de stress, l'apport de K permet de corriger les perturbations éventuelles (Skiredje, 2005).

Le potassium contenu dans l'eau usée n'occasionne pas d'effet nuisible sur les plantes ou l'environnement. C'est un macronutriment essentiel qui affecte favorablement la fertilité du sol, le rendement des cultures et leur qualité. La concentration en K dans l'eau usée traitée secondaire varie de (12-36 mg/l K<sub>2</sub>O) (FAO, 1992).

### **II.5.1.2 Autres nutriments**

La plupart des eaux usées traitées contiennent habituellement des concentrations adéquates en soufre, zinc, cuivre et autres micronutriments. Ces éléments jouent un rôle déterminant dans le métabolisme de la plante, essentiellement dans les réactions enzymatiques.

- **Bore**

Cet élément joue un rôle très important pour les plantes puisqu' il intervient au niveau du métabolisme et du transport des glucides, il joue un rôle important au niveau de la formation et de la fertilité du pollen. Yéli Mariam (2009). Il participe à la synthèse des protéines, il a un rôle fondamental dans la résistance des parois cellulaires et favorise la fixation de N<sub>2</sub> atmosphérique chez les légumineuses.

L'eau usée traitée contient assez de bore, provient des lessives et des rejets industriels. Boutin et Hédit (2009) pour corriger toutes les déficiences en cet élément qui reste toujours largement couverts par les EUE, mais lorsque sa concentration excède 1 mg/l il peut provoquer des problèmes de phytotoxicité (les arbres fruitiers sont plus sensibles au bore que les légumes).

- **Cuivre**

Stimule la germination et la croissance il renforce aussi les parois cellulaires et catalyse la formation d'hormones de croissance, joue un rôle essentiel dans la nitrification.

- **Fer**

Elément essentiel dans la formation de la chlorophylle, il a un rôle dans le transport d'oxygène (respiration), c'est un catalyseur de plusieurs enzymes, Le manque de fer dans la plante entraîne : la chlorose des feuilles, qui prennent alors une teinte jaune plus ou moins prononcée. La chlorose affecte la capacité photosynthétique de la feuille, ce qui freine la croissance et le développement de la plante entière (Tamrabet, 2011).

- **Manganèse**

Il permet de résister au gel, c'est un activateur du nitrate réductase. Il est considéré comme oligo-élément. Sa carence a des effets néfastes sur les plantes. Parmi les cultures sensibles aux carences de Mn, on trouve les céréales (blé, avoine), les cultures maraîchères et les légumineuses. Tamrabet (2011)

- **Zinc**

A un rôle important dans la formation de plusieurs hormones de croissance et du développement des fruits (Coïc et Coppenet, 1989).

- ❖ La concentrations en métaux lourds dans les eaux résiduaires sont faibles et ne constituent pas un facteur limitant la réutilisation des eaux usées en irrigation, sauf établissements industriels très polluants raccordés directement au réseau d'assainissement (la plupart de ces métaux sont conservés dans les boues des stations d'épuration). cependant ,afin d évites tout danger il reste judicieux de surveiller la qualité de l'eau recyclé destiné à l'irrigation des cultures et de prendre en compte sa composition .

## **II.6. Impact de l'irrigation par les EUT**

### **1. Sur les propriétés physicochimiques du sol**

A travers leur composition chimique et biologique, l'irrigation avec les eaux usées affecte avec le temps certains paramètres du sol, et puis une légère diminution du Ph a été observée dans certains sols basique (Harpin *et al.*, 2007). Cette diminution est expliquée par un lessivage des calcaires actifs qui sont responsables de l'alcalinité du sol (Solis *et al.*, 2005).

Les eaux usées, à travers leur pouvoir fertilisant, entraînent également une augmentation du taux de la MO et des éléments nutritifs du sol (Rattan *et al.*, 2005). Toutefois, ces éléments nutritifs stimulent l'activité microbologique du sol (Magesan *et al.*, 2000), ce qui favorise la minéralisation de la matière organique qui entraînant du même coup la diminution de la CEC du sol (Herpin *et al.*, 2007).

Cette activité microbiologique provoque une intensité de la microflore microbienne du sol qui diminue la conductivité hydraulique du sol par la formation de biofilms bactériens qui colmatent la porosité du sol (Magesan *et al.*, 2000).

## **2. Sur les plantes cultivées**

Les eaux usées lorsqu'elles sont réutilisées pour l'irrigation entraînent un enrichissement important du tissu des plantes cultivées en oligoéléments donc une amélioration des rendements, Dans ce cadre, Mohammad Rusan *et al.* (2007) ont constaté une augmentation de la biomasse d'une plante fourragère lorsqu'elle est irriguée par une eau usée soit brute soit traitée. Ainsi, Fars *et al.* (2003) indiquent que les rendements enregistrés par rapport à un témoin dépassent les 110 %, pour les plantes irriguées par les deux types d'eau.

L'irrigation à partir de ces eaux, va apporter Les éléments traces qui sont généralement immobilisés dans les couches supérieures du sol peuvent causés, à long terme, des risques pour le développement des plantes. En effet, certains éléments traces (le bore, le fer, le manganèse, le zinc, le cuivre et le molybdène), sont reconnus nécessaires au développement des végétaux en très faibles quantités, mais aussi d'autres oligo-éléments, non indispensables à la plante tels que (le plomb, le mercure, le cadmium, le brome, le fluor, l'aluminium, le nickel, le chrome, le sélénium et l'étain). Leur biodisponibilité dans le sol peut attendre les seuils de phytotoxicité (Faby et Brissaud, 1997).

D'après Solis *et al.* (2005.) il n'existe pas une corrélation évidente entre les teneurs en métaux dans les plantes cultivées et les sols, le coefficient de transfert (TF) des métaux du sol vers les plantes, à l'exception du Zn également, ne varie pas de façon linéaire avec les teneurs dans le sol. Par ailleurs, les teneurs en métaux lourds dans les plantes irriguées par les EU dépassent les teneurs trouvées dans des plantes témoins (Muchuweti *et al.*, 2006).

### **II.6.1 Différentes techniques d'irrigation**

L'irrigation est le moyen de valoriser les eaux usées traitées en les appliquant sur des cultures



### **1. Irrigation par gravité**

C'est la méthode la moins efficace mais la plus utilisée (Benzaria, 2008). C'est la plus répandue et ne nécessite pas une technicité du pratiquant. Elle utilise la gravité terrestre comme source d'énergie pour transporter l'eau de sa source vers les terres irriguées et ne nécessite donc aucun apport en énergie mécanique ou électrique, mais elle cause une perte d'eau par évaporation.

### **2. Irrigation par aspersion**

Ce procédé plus moderne et plus efficace est répandu dans les pays développés car il nécessite une infrastructure permettant le transfert d'eau sous pression. L'eau est appliquée d'une manière identique à la pluie. Un réseau d'aspersion bien conçu permet une distribution uniforme de l'eau et la vitesse d'application ne favorise pas le ruissellement (Kessira, 2005). Cependant, l'uniformité d'application d'eau par cette technique peut être modifiée en présence de vent. Le sel aussi peut s'accumuler dans ces eaux au niveau des feuilles, provoquer des brûlures et parfois même une défoliation. Dans les régions chaudes, l'aspersion amplifie l'évaporation ce qui augmente la concentration des sels dans le sol et donc leur toxicité (Brouwer, 1990).

### **3. Irrigation à la goutte à goutte**

L'idée à la base de l'irrigation à la goutte à goutte est que l'eau est nécessaire seulement à la plante et qu'il est inutile d'irriguer les espaces entre les plantes. L'eau est donc distribuée localement à très faible débit au niveau de chaque plante. Les principaux avantages de l'irrigation au goutte à goutte sont l'augmentation du rendement des cultures, la réduction de pertes d'eau par évaporation, la réduction des quantités de fertilisants appliqués et la baisse de celles lessivées au-delà du système racinaire vers les nappes souterraines en participant à la réduction de la pollution et à la protection écologique.

## **II.7 Risques associés à la réutilisation des eaux usées épurées**

Cette ressource qui constitue une valeur hydrique et un potentiel de matières fertilisantes important peut également être une source de pollution. Son contenu en éléments traces et en microorganismes pathogènes et sa teneur élevée en azote peuvent être nocifs pour la santé et l'environnement.

Les risques liés à la réutilisation des eaux usées sont (US NRC, 2012) :

- Risques sanitaires
- Risques chimiques
- Risques environnementaux

### **1. Risques sanitaires**

Sur le plan sanitaire, la plus grande préoccupation associée à la réutilisation des eaux usées même traitées, est la transmission potentielle de maladies infectieuses (bactériennes, parasitaires ou virales) (Sou, 2009).

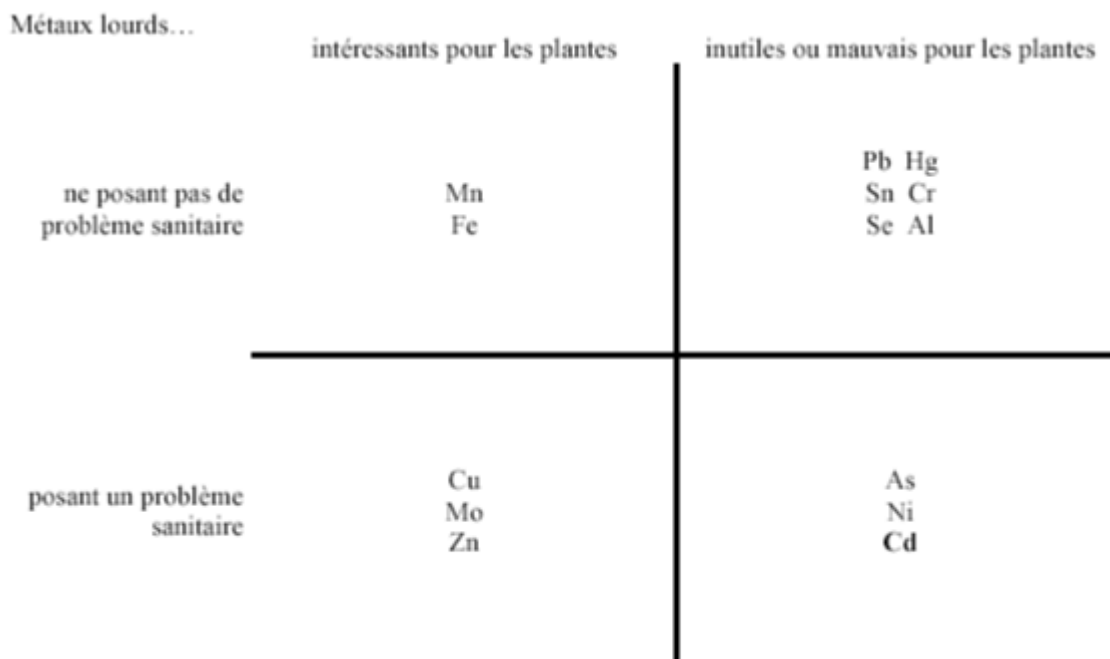
Dans le cas d'un usage agricole, il est prouvé depuis longtemps que les micro-organismes pathogènes des animaux ne peuvent ni pénétrer ni survivre à l'intérieur des plantes (Sheikh *et al.*, 1999). Les micro-organismes se retrouvent donc à la surface des plantes et sur le sol, ces derniers survivent plus longtemps sur le sol que sur les plantes, Il peut donc y avoir une contamination pendant la croissance des plantes ou la récolte (Asano, 1998).

Le mode d'irrigation a une influence directe sur le risque. Ainsi, l'irrigation souterraine ou gravitaire peut nuire à la qualité des eaux souterraines et de surface. Des contaminations directes peuvent avoir lieu lors de la maintenance du système d'irrigation, par exemple des aérosols contaminants ...etc.

Les nouvelles recommandations de l'OMS ont prévu des niveaux de risque selon la technique d'irrigation et les types des cultures (OMS, 2006).

### **2. Risques chimiques**

Il est lié aux éléments traces. La seule voie de contamination préoccupante pour les éléments traces est la consommation des plantes cultivées, dans lesquelles ils s'accumulent. L'accumulation des micropolluants dans les plantes est plus problématique, quoique certains de ces micropolluants soient d'intérêt en tant que facteurs de croissance des végétaux. Donc le compromis entre le risque sanitaire et l'intérêt agronomique doit être trouvé (Baumont *et al.*, 2004).



**Figure 3.** Classification des métaux lourds en fonction des risques et de l'intérêt agronomique (Tamrabet *et al.*, 2003).

### 3. Risques environnementaux

Sur le plan environnemental, les impacts potentiels peuvent se situer à trois niveaux : une possible dégradation des sols, une contamination des eaux souterraines par lessivage et la pollution des eaux superficielles.

#### ➤ Sur le sol

Dans les régions arides et semi-arides, les impacts physicochimiques et microbiologiques des eaux usées sur le sol sont accentués et accélérés par la forte demande évaporative qui concentre rapidement les constituants minéraux et autres polluants apportés au sol par l'eau d'irrigation. Les impacts majeurs observés sont la salinisation, l'alcalinisation et les changements structuraux du sol, l'accumulation d'éléments potentiellement toxiques, l'accumulation de nutriments (FAO, 2003). Les conséquences en sont une baisse générale de la fertilité liée à une accumulation de sels à la surface du sol et dans la zone racinaire, ainsi qu'une réduction notable de la conductivité hydraulique et de la capacité d'infiltration des sols (Sou, 2009).

➤ **Sur les eaux souterraines**

Dans certaines conditions, les effets sur les eaux souterraines sont plus importants que les effets sur le sol. Les nappes libres sont les plus exposées à la contamination, non seulement parce qu'elles ne bénéficient pas d'une protection naturelle vers la surface, mais encore parce qu'elles sont en général peu profondes. Les nappes captives sont plus protégées mais peuvent être éventuellement contaminées par des forages ou un autre aquifère pollué. La réutilisation des eaux usées épurées peut donc être remise en cause dans des zones qui cumulent ces facteurs de risque (FAO, 2003).

➤ **Sur les eaux superficielles**

Les rejets directs d'eaux épurées posent des problèmes d'eutrophisation des cours d'eau, de qualité de l'eau destinée à la production d'eau potable et de contamination microbiologique des zones de conchyliculture. C'est pourquoi une réutilisation des eaux usées épurées est quasiment toujours préférable à un rejet direct dans le milieu (Tamrabet *et al.*, 2003).

# **Chapitre III**

## **Généralités sur le fonctionnement microbiologique des sols**

### Chapitre III. Généralités sur le fonctionnement microbiologique des sols

Le sol est la partie supérieure de la croûte terrestre. Il est la liaison entre l'atmosphère, l'hydrosphère, la lithosphère et les organismes vivants. C'est un milieu complexe et dynamique composé d'une phase solide (minérale et organique), d'une phase liquide, d'une phase gazeuse et colonisé par des organismes vivants (Djigal, 2003)

La naissance d'un sol est conditionnée par la roche mère. Sa genèse dépend également du climat, la température, la pluviométrie du taux d'humidité, ainsi que ses caractéristiques physiques, chimiques et biologiques, des conceptions modernes actuelles, attribuent un rôle prépondérant et capital aux organismes vivants, qui font partie de sa constitutionnalité et sa genèse durant sa formation initiale (Quenea, 2004).

#### III .1. Définition de la microbiologie du sol

La microbiologie du sol est orientée vers l'étude du comportement de micropopulations complexes et, en cela, elle se rapproche de la microbiologie des eaux, des vases et boues, de la microbiologie alimentaire. Elle diffère cependant de ces différentes disciplines par les caractéristiques très particulières du sol en tant que milieu pour le développement de microorganismes (constituant le microbiote du sol appelé aussi microbiote tellurique).

La microbiologie des sols a pour objet principal l'étude des interactions entre les communautés microbiennes et les autres composants de l'écosystème (Roger et Garcia, 2001).

#### III.2. Fonctionnement microbiologique du sol

Dans les écosystèmes naturels, la production végétale est entretenue par le fonctionnement des systèmes biologiques du sol et dépend étroitement de l'activité des microorganismes du sol. Ces derniers (microflore tellurique) sont les catalyseurs des processus écosystémiques, jouent différents rôles primordiaux dans le sol selon leur diversité microbienne et la structure des communautés, qui affectent sérieusement la matière organique du sol et peut avoir également une incidence sur le fonctionnement des écosystèmes (Wang *et al.*, 2013).

Tout changement dans la biomasse microbienne du sol peut avoir un impact sur ces fonctions importantes dans le sol. En outre, les microorganismes réagissent rapidement aux changements des conditions du sol, en particulier l'approvisionnement en matière organique (Araújo et Melo, 2010)

En revanche, certains paramètres des sols (physique, chimique, microbiologique) jouent un rôle fondamental dans la gestion de la nutrition végétale et qu'un approvisionnement adéquat en éléments nutritifs dépend de leur amélioration (Troeh et Thompson, 2005).

### **III.2.1. Microflore du sol**

La microflore du sol aussi appelée microflore tellurique sont les microorganismes représentés par quelques métazoaires, des protozoaires, des algues microscopiques, des champignons, des bactéries dont des actinomycètes, des cyanobactéries et des virus (Mair *et al.*, 2000). Leur distribution est fonction non seulement de la présence de substrats énergétiques (résidu des végétaux), mais aussi de nombreux facteurs physiques et chimiques.

Les bactéries et les champignons forment tant au plan quantitatif qu'au plan fonctionnel le groupe majeur des microorganismes du sol (Morel, 1989).

#### **III.2.1.1 Leur rôle**

Les microorganismes sont responsables de 80 à 90 % de l'oxydation biologique totale dans le sol. Parallèlement à la décomposition, les microorganismes sont les agents d'activités spécifiques comme la fixation et la libération de l'azote (Djigal, 2003) ou diverses transformations des éléments minéraux. Ils agissent directement ou indirectement sur la nutrition des plantes. Ils facilitent aussi l'absorption des éléments nutritifs par les plantes. C'est en particulier le cas des mycorhizes.

Les micro-organismes sont omniprésents et participent à un rôle unique à maintenir le dynamisme et la durabilité de la biosphère. Ils assurent les transformations, la dégradation et le recyclage de la matière organique qui assure l'existence durable de la vie d'une manière respectueuse de l'environnement (Sharma *et al.*, 2015).

L'action des bactéries et des actinomycètes dans le processus d'agrégation et la stabilisation des agrégats est nettement moins importante que celle des champignons (Molope, 1987 ; Berthlenfalvay, 1999).

La grande majorité des champignons isolés sont ceux formant un grand nombre de spores, particulièrement les mucorales (*Mucor*, *Mortierella*, *Rhizous*) et les deutéromycètes (*Penicillium*, *Aspergillus*, *cladosporium*, *Fusarium*, *Alternaria* et *Botrytis*). Leur rôle dans la décomposition de la matière organique est très important, Ils dégradent la cellulose et la lignine des végétaux (Maier *et al.*, 2000). Les champignons sont efficaces dans la stabilisation des agrégats de sol, car ils ont la capacité de lier les particules du sol via plusieurs mécanismes (rétention mécanique, adhésion par les glues fongiques. En effet, de nombreux champignons secrètent des substances agrégeant à fort pouvoir collant comme les polysaccharides et les gommés (Annabi, 2005). Ils fonctionnent aussi dans le recyclage des déchets, des sécrétions chimiques et excréments des racines des plantes, des animaux et des microorganismes (De Ruiter *et al.*, 1993).

Les bactéries, leur activité est principalement concentrée dans les premiers centimètres du sol. Elles constituent avec les champignons la biomasse dominante du sol. Interviennent plutôt dans la stabilisation des particules de la taille des argiles et des limons (Fletcher *et al.*, 1980 ; Tisdall., 1994). Elles jouent un rôle fondamental dans les cycles de l'azote (ammonification, nitrification, dénitrification, fixation symbiotique de N<sub>2</sub>), du carbone (décomposition et minéralisation) du phosphore, du soufre (Leung *et al.*, 1997) et participent à la transformation de certains composants organiques en humine (Gobat *et al.*, 2003).

Elles interviennent également dans la fixation d'éléments minéraux directement assimilables par les plantes ont un rôle essentiel dans son fonctionnement. Les bactéries sont le groupe le plus nombreux et le plus varié, puisque leur densité peut s'élever de dix millions à un milliard par gramme de sol. Ce qui donne aux bactéries une place importante dans le sol, c'est leur extraordinaire variabilité biochimique qui leur permet de transformer toutes les substances du sol et de les faire entrer dans le monde vivant (Claude *et al.*, 2008).



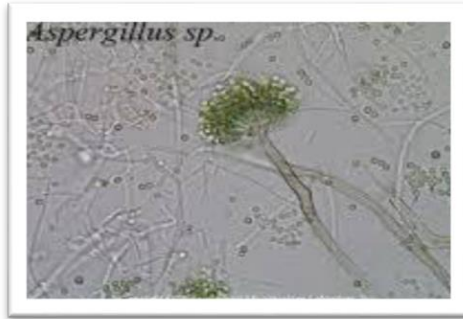


Figure 4. Champignons du sol (MBL, 2013)

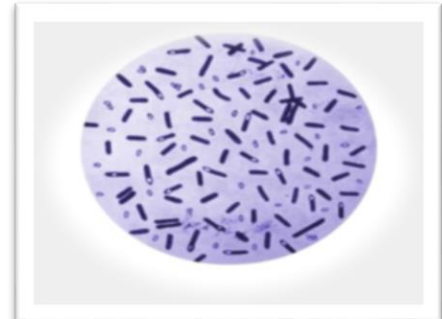


Figure 5. Bactéries du sol (MBL, 2013)

### III. 2.2 Activité microbienne dans les régions arides

Les zones arides sont caractérisées par des conditions édapho-climatiques très contraignantes à la survie des microorganismes du sol (Belnap, 2005 ; Karabi *et al.*, 2015). En fait, pendant longtemps, les sols désertiques ont été considérés comme étant complètement stériles suite aux conditions climatiques extrêmes qui entravent toute vie microbienne (Killian et Feher , 1939).

Les nombreuses recherches consacrées à la microbiologie de ces sols des régions arides prouvent l'existence d'une microflore abondante et diversifiée (Sasson, 1967 ; Amir *et al.*, 1985; Mostfaoui *et al.*, 1998)

Toutefois, les informations sur les indicateurs biologiques des sols arides sont faiblement documentées dans cette région. Les chercheurs qui ont étudié les activités biologiques des sols arides ont souligné leur faible teneur en matière organique en particulier leur taux d'azote organique très bas ; une humification faible, parce que sérieusement inhibé par une minéralisation intense (Oustani, 2006 ; Karabi, 2010).

### III.2.3. Quelques facteurs abiotiques régulant les communautés microbiennes

La composition et l'activité des populations de microorganismes qui colonisent le sol en surface et en profondeur, dépendent de ses propriétés physico-chimiques, qui sont-elles mêmes influencées par les facteurs de l'environnement et en particulier les facteurs climatiques. En outre ; les

microorganismes exercent leurs effets sur la nature et la forme des composés organiques du sol ainsi que sur certaines de ses propriétés physico-chimiques.

### III 2.3.1. Humidité du sol

L'humidité est nécessaire à la vie des microorganismes et aussi à leurs déplacements (Gausher, 1968) ; Les sols secs ne présentent qu'une activité microbienne faible, cette activité augmente progressivement avec l'augmentation de la teneur en eau du sol. L'excès de l'eau est néfaste à la prolifération de certains groupes microbiens (Morel, 1989).

Selon Boullard et Moreau (1962), l'excès d'eau entraîne une aération anoxie et détermine une sélection des germes. Un manque chronique d'eau entraîne également une sélection, mais la microflore inhibée est évidemment différente de la précédente. D'autre part, dans les sols inondables l'activité de certains groupes de bactéries anaérobies est importante (sulfatoréductrices, fixatrices d'azote, méthanogènes, etc.). Cette activité augmente avec la teneur en eau, l'optimum étant atteint avec la saturation (Roger et Gracia, 2001).

### III 2.3.2. pH du sol

Le pH a une influence sur la composition microbienne du sol. Le développement des bactéries est meilleur entre pH 6 et pH 8, les actinomycètes sont particulièrement sensibles à l'acidité, ils préfèrent des pH 6 à 7.5 (Soltner, 2003).

Les champignons supportent généralement les pH acides ; dans de telles conditions, ils sont plus compétitifs que les bactéries pour l'exploitation d'un substrat. Cependant, on ne doit pas les considérer comme des acidophiles, parce qu'ils se développent dans des limites de pH assez large (2 à 9) (Alexander, 1982). Donc Chaque espèce microbienne est activée entre des limites de pH qui lui sont propre (Karabi *et al.*, 2016).

### III 2.3.3. Texture

L'action des microorganismes dépend de la texture du sol. Dans les sols sableux, l'agrégation est faiblement reliée à la biomasse microbienne et à leurs produits de synthèse ; seuls les hyphes fongiques peuvent agréger ce type de sol. Par contre, dans les sols argileux, les champignons et les

bactéries ainsi que leurs substances de synthèse jouent un rôle dans l'agrégation (Annabi, 2005). De plus dans les sols sableux, la perte de la matière organique est très importante, du fait qu'ils sont trop aérés et que la matière organique s'y décompose plus rapidement ce qui n'est pas le cas dans les sols argileux qui assurent une protection physique de la matière organique.

#### **III. 2.3.4. Salure**

Dans leur habitat naturel, les micro-organismes sont fréquemment exposés à des variations de pression osmotique du milieu environnant. En effet, la salinité élevée du sol peut interférer avec la croissance et l'activité des bactéries. La concentration de la solution en sels entraîne une augmentation de la pression osmotique. Celle-ci inhibe le développement des microorganismes (Halitim et Dellal, 1992). Une diminution de l'activité microbienne dans les sols salins conduit à une accumulation de la matière organique non dégradée, ce qui agit négativement sur la disponibilité des nutriments nécessaires à la croissance végétale (Zahran, 1997). L'inhibition de l'activité biologique par les sels se traduit par une forte teneur en composés hydrosolubles très mobiles au détriment des composés plus polycondensés.

#### **III. 2.3.5. Température du sol**

La température des sols est également un facteur déterminant dans la distribution et l'activité des micro-organismes, en particulier pour les processus d'ammonification et de nitrification. Cette température affecte non seulement la physiologie des micro-organismes, mais influencent aussi les mouvements d'eau et la diffusion des gaz et des nutriments (Standing et Killham, 2007). Les micro-organismes ne montrent pas tous la même tolérance face à la température, on distingue (cryophiles, psychrophiles, mésophiles, thermophiles, hyper Thermophiles) (Standing et Killham, 2007).

#### **III. 2.3 .6. Facteurs énergétiques**

Les sols nus sont beaucoup plus faibles en biomasse microbienne totale que les sols végétalisés (Boullard et Moreau, 1962). Certains germes réagissent à l'addition au sol par un simple aliment. Pour un temps déterminé ; leur activité est alors stimulée aux dépens des apports énergétiques, néanmoins, dans un écosystème le sol constitue un compartiment recevant la majeure partie de son énergie des plantes vertes (chlorophylliennes ) captée de l'énergie solaire , Ce flux d'énergie arrive

aux microorganismes par différentes voies complexes dont les principales sont constituées par l'apport des débris végétaux (litière des parties aériennes, résidus de racines, exsudats racinaires) et par l'apport de déjections animales ou de cadavres animaux (Sasson, 1967).

La qualité de cette matière organique est très variable, allant de composés facilement dégradables (comme les monomères glucidiques solubles) à d'autres récalcitrants (polymère insolubles comme la lignine). Les caractéristiques de la matière organique peuvent en outre affecter les propriétés physico-chimiques du sol, comme le pH (Karabi *et al.*, 2016).

# **Partie**

# **expérimentale**

# **Chapitre IV**

## **Matériel et méthodes**



### **IV.1.1 Cadre pédologique**

La couverture pédologique de la région de Ouargla se caractérise par des sols légers à prédominance sableuse et à structure particulière, quant à la fraction organique se détermine par un très faible taux de matière organique (inférieure à 1 %), sont très peu fertile et se caractérise aussi par une forte salinité, un pH alcalin et une faible activité biologique, une bonne aération (Rouvilis Brigol, 1975)

Selon (Hamdi\_Aissa *et al.*, 2004), les sols de la région de Ouargla sont de la classe hypogypsique, le pédopaysage de la cuvette est dominé principalement par le caractère salin et prédominé par le caractère d'hydromorphie (Idder *et al.*, 2014).

### **IV.1.2. Cadre climatologique**

Le climat de Ouargla est un climat saharien à hiver doux. L'aridité du climat se présente par un déficit hydrique dû à la faible précipitation, l'évaporation intense, les fortes amplitudes thermiques et la grande luminosité.

### **IV.1.3. Synthèse climatique**

#### **IV.1.3.1. Diagramme ombrothermique de GAUSSEN et BAGNOULS**

La combinaison de température et précipitations, est intéressante dans la mesure où elle permet de déterminer les mois véritablement secs qui correspondent aux mois où le total de précipitations est égal ou inférieur au double de la température moyenne mensuelle, soit  $[P \text{ (mm)} \leq 2 T \text{ } ^\circ\text{C}]$ .

Le diagramme ombrothermique de la région de Ouargla établit à partir des données pluviométriques et thermiques moyennes mensuelles calculées sur une période de 12 ans, et montrent que la période sèche s'étale tout au long de l'année (Figure 07)



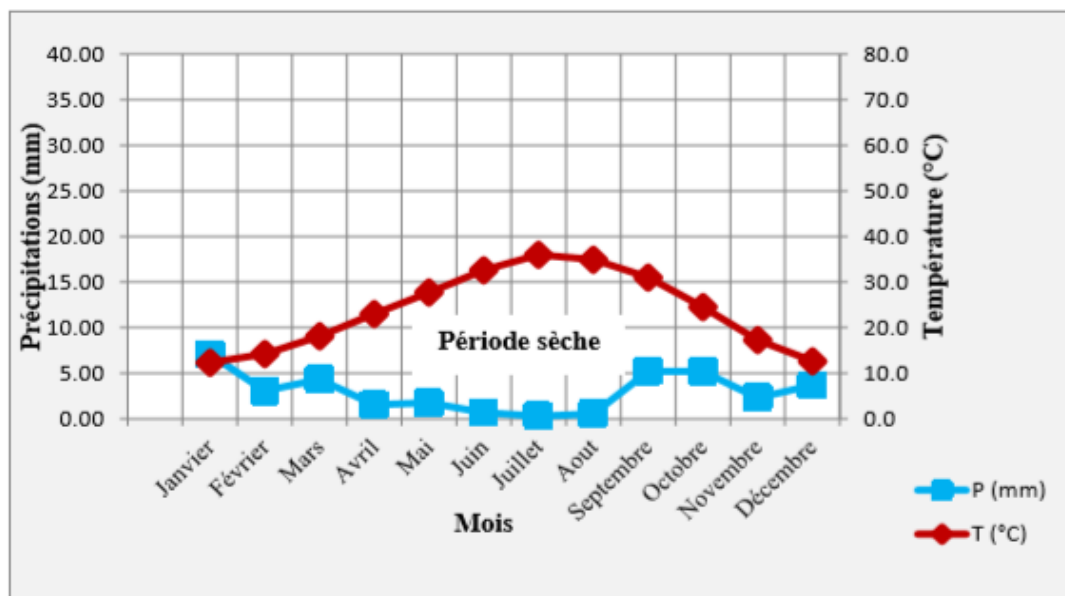


Figure 7. Diagramme ombrothermique de la région de Ouargla 2007-2018

## IV.1.2. Présentation du site expérimental

### IV.1.2.1. Station d'étude

La station d'épuration de Sidi Khouiled, mise en service le 01/12/2008, a été réalisée par la société allemande Dywidag pour le compte de l'ONA.

Les effluents générés par la commune de Sidi Khouiled sont traités à partir d'une station d'épuration de type lagunage aéré.

La filière des traitements est constituée :

- d'un poste de relevage en tête de station
- des prétraitements,
- d'un premier étage de traitement par lagunage aéré,
- d'un second étage de traitement par lagunage aéré,
- d'un troisième étage de traitement par lagunage de finition
- de lits de séchage des boues.

La surface totale de la STEP est de l'ordre de 3,5 ha. La forme géométrique de la STEP s'apparente à un rectangle dont les dimensions sont : largeur environ 130 m, et longueur environ 300 m.

Le site d'implantation est limité :

- à l'est et au nord, par des dunes.
- à l'ouest et au sud, par des palmeraies.

Le piquage sur le collecteur récent (2003) de transfert des eaux usées brutes de Oum Raneb, permettra d'alimenter la station d'épuration via un poste de relevage. Les eaux traitées seront renvoyées dans ce collecteur de transfert vers Oum Raneb (ANNEXE VI).



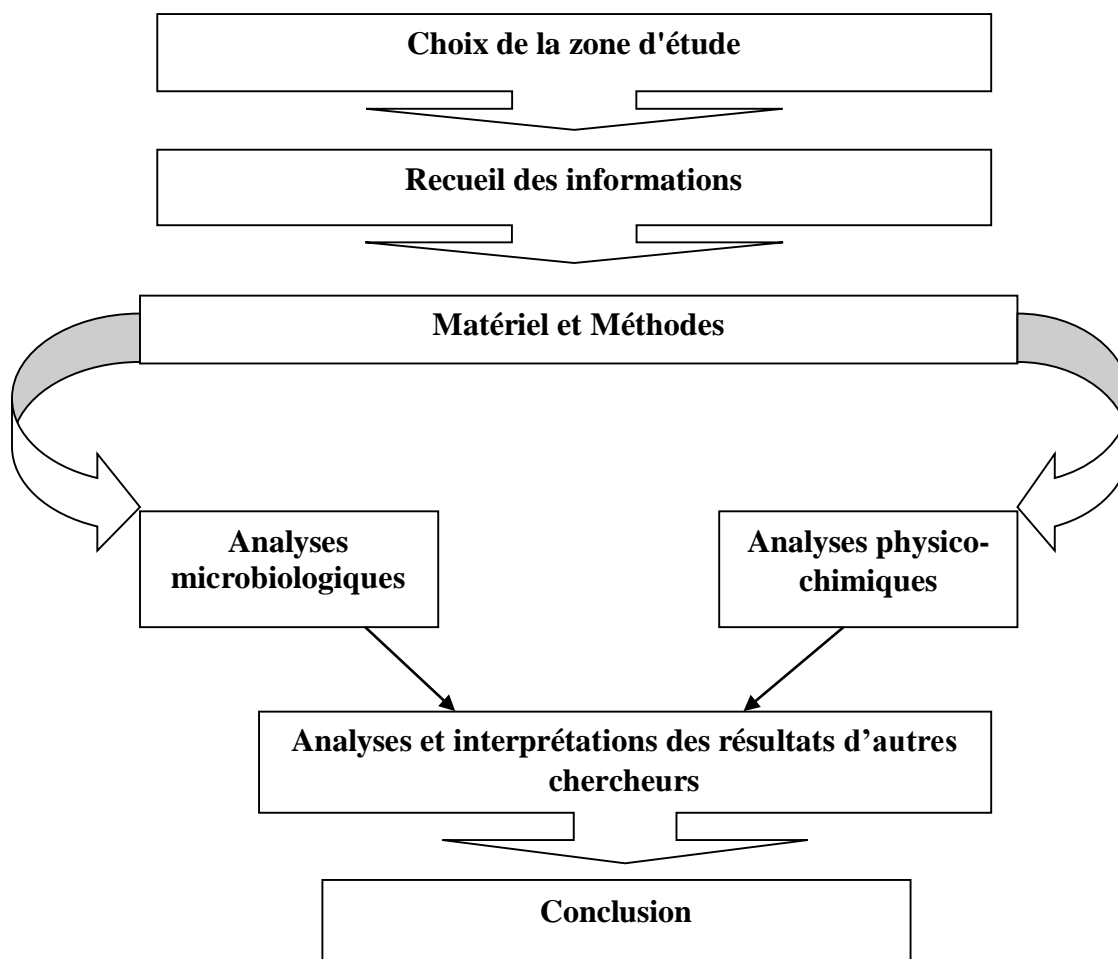
**Photo 1.** Situation géographique de la région de sidi Khouiled (Maps.google, 2020).



**Photo 2.** Station d'étude (les parcelles agricoles) (Google Earth., 2020).

### **Méthodologie de travail**

Pour montrer l'effet de l'irrigation par les eaux usées épurées sur le compartiment microbien du sol, nous avons suivi une démarche (figure 8) qui consiste à comparer l'impact de l'irrigation avec ces eaux sur les microorganismes du sol à savoir la densité bactérienne, la densité fongique et les germes pathogènes par rapport à l'irrigation avec une eau ordinaire. Ainsi, des échantillons de sol ont été prélevés sur des sols irrigués avec des eaux usées épurées et des sols irrigués avec des sols ordinaires. Des analyses physico-chimiques du sol ont été réalisées parallèlement aux analyses microbiologiques.



**Figure 8.** Méthodologie de travail

### **IV.3. Technique d'échantillonnage**

Nous sommes partis sur site pour le but de procéder à des prélèvements. Ainsi nous avons pris 3 échantillons dans trois parcelles différentes, le premier est un sol irrigué par un eau usée épurée, le second un sol irrigué par une eau normale et le troisième il nous sert de sol témoin non irrigué. Les échantillons sont placés dans des flacons stériles et transportés au laboratoire pour procéder à des analyses physicochimique et microbiologique .

Le sol des parcelles expérimentales est de texture grossière à pH neutre. La consistance et la cohésion est très faibles, le sol de la zone d'étude est peu compact, fortement calcaire, pauvre en matière organique et très perméable (Khadraoui, 2007).

### **IV.3.1. Analyses physico-chimiques**

Les caractéristiques physico-chimiques ayant une influence sur les propriétés biologiques des sols qui sont essentiellement déterminées en laboratoire. Des relations étroites ont d'ailleurs été mise en évidence entre les caractéristiques physico-chimiques et biologiques et ceci aussi bien pour la microflore .

#### **IV.3.1.1. Humidité**

L'humidité du sol (ou eau contenue dans le sol) est mesurée par rapport à la quantité de terre sèche contenue dans ce sol, et exprimée en pourcentage. C'est la perte de poids après séchage à 105°C par rapport à la terre séchée à l'air %.

La méthode consiste à sécher les échantillons du sol à l'étuve à 105°C jusqu'à un poids constant, la différence du poids avant et après séchage correspond à la quantité d'eau (ITA., 1975).

$$\text{Humidité du sol \%} = (\text{masse humide} - \text{masse sec}) / \text{masse sec} \times 100\%$$

#### **IV.3.1.2. pH**

La mesure du pH exprime la concentration des ions H<sup>+</sup> libre dans la solution du sol liquide/terre sur un extrait dilué 1/5. La mesure se fait à l'aide d'un pH-mètre (méthode électrique) au laboratoire (Mathieu et pieltain, 2009).

#### **IV.3.1.3. Conductivité électrique (CE)**

Elle permet l'estimation de la teneur globale en sels dissous dans la solution du sol mesurée par un conductimètre sur des extraits dont le rapport (terre/eau) est de 1/5, le plus souvent utilisé (Clement et Francoise, 2009) à une température de 25°C et en dS/m.

#### **IV.3.1.4. Dosage du carbone organique**

Le carbone organique est dosé par la méthode ANNE. La prise d'essai est oxydé par du bichromate de potassium en excès, en milieu sulfurique, excès de bichromate non réduit par le carbone organique est alors titré par une solution de sel de Mohr qui réduit le bicarbonate en présence de

diphénylamine dont la couleur passe du bleu foncé au bleu vert (Soltner, 2005). Pour passer du taux de carbone au taux de matière organique total, on utilise le coefficient de multiplication 1.72 (Baize, 2000).

$$\text{Matière organique} = \text{carbone organique} \times 1.72$$

### **IV.3.2. Analyses microbiologiques**

En 1960 les études ont été accordées aux interactions entre micro-organismes et leur habitat, et en 1980 ils ont commencé à s'intéresser à la densité, la diversité et l'activité microbienne des sols par l'isolement dans des milieux de culture spécifiques (Tortora *et al.*, 2012).

L'estimation de la masse microbienne est indispensable pour étudier les profusions de certains éléments dans le sol tels que le carbone et l'azote.

#### **IV.3.2.1. Techniques d'étude et de dénombrement de la microflore telluriques**

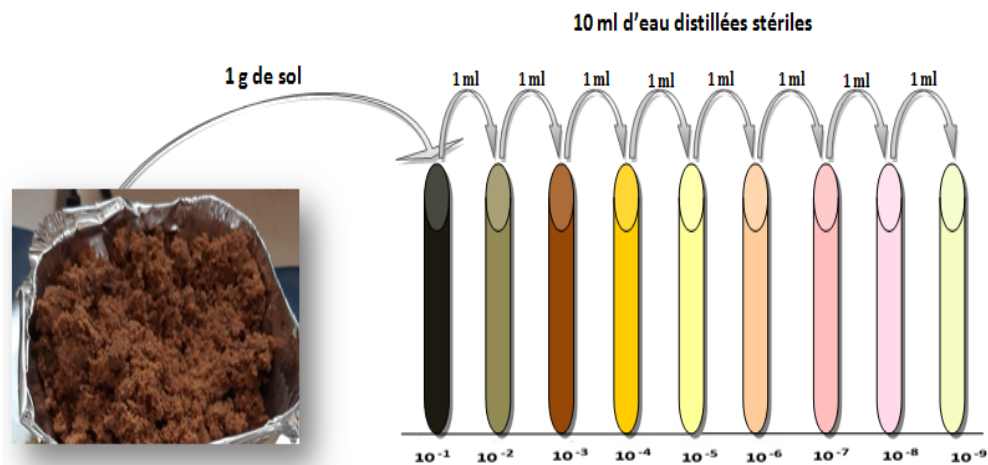
Les méthodes de dénombrement sont les plus anciennes. Le principe de la méthode s'appuie sur des cultures en milieu solide après ensemencement avec des suspensions dilutions du sol.

La population microflore du sol est caractérisée par le nombre des groupes séparés. Il ya deux grands types de méthodes. La première consiste en un comptage indirect sur des milieux de culture (Josephson *et al.*, 2000 in Dassonville et Renault, 2005). La seconde méthode consiste en un comptage direct par observation au microscope. Parmi les méthodes de dénombrement indirectes, les deux méthodes les plus utilisées sont la méthode standard de culture sur boîte de pétri et la technique de dénombrement dite «technique du nombre le plus probable » (MPN) ( Renault Enault *et al.*, 2005).

#### **IV.3.2.2. Préparation des suspensions dilutions**

Pour la numération des germes telluriques il est nécessaire de faire une préparation des suspension dilutions (Davet, 1996). La technique des suspensions-dilutions de sol est une mesure facile à réaliser. Elle consiste à des préparations suspensions dilutions disposées sur un portoir. Une série de 9 tubes stérilisés, numérotés de 1 à 9, et contenant chacun (9ml) d'eau distillée (ou de l'eau

physiologique ). Ensuite peser 1g du sol préalablement tamisé et homogénéisé, le verser dans le tube 1, c'est la suspension dilution  $10^{-1}$  le transférer dans le tube 2 contenant déjà de l'eau distillée (9ml), il s'agit de la suspension dilution  $10^{-2}$ . Agiter vigoureusement et recommencer l'opération pour le restant des tubes en transférant 1ml de solution d'un tube à l'autre, afin de préparer les suspensions dilutions  $10^{-3}$ ,  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$ ,  $10^{-6}$ ,  $10^{-7}$ ,  $10^{-8}$ ,  $10^{-9}$ . Les suspensions dilutions doivent être utilisées aussitôt après leur préparation.



**Figure 9.** Préparation des suspensions dilutions du sol.

### IV 3.2.3. Milieu de culture

#### a. Bactéries

Le milieu de culture utilisé pour le dénombrement de la microflore bactérienne du sol est le milieu de la gélose nutritive (GN) (Annexe I). Il présente l'avantage d'être pas trop riche en éléments nutritifs et n'entraîne pas un développement exagéré des colonies (Oustani, 2006). Les bactéries qui sontensemencées avec des suspensions dilutions allant de  $10^2$  jusqu'au  $10^6$ . La lecture des résultats se fait après incubation pendant 24H.

#### b. Champignons

Le milieu de culture utilisé pour la quantification des champignons est le milieu (OGA) (Annexe I). L'ensemencement avec des suspensions dilutions se fait selon la technique habituelle ; on

inoculera 3 boîtes pour chaque dilution. Les dilutions vont de  $10^3$  à  $10^9$ . L'incubation s'effectue à une température de 24 à 28 °C la température idéale pour les champignons et dure au moins 7 jours pour la lecture des résultats.

**c. Contamination pathogène (*E. coli*, coliformes fécaux et streptocoques fécaux)**

10 g de sol a été dispersée dans 90 ml d'eau distillée stérile. Ils ont ensuite été soumis à une agitation mécanique pendant 2 h, afin d'éliminer les bactéries de leurs substrats organo-minéraux. Enfin, des suspensions de sol ont été utilisées pour la détermination d'*E. Coli*, de coliformes fécaux et de streptocoques fécaux sur des milieux de cultures sélectifs appropriés (Annexe I). La lecture des résultats est faite en utilisant la méthode du nombre le plus probable (NPP) et en suivant le schéma de dilution 3 répétitions  $\times$  5 (APHA, 1998).



# **Chapitre V**

## **Résultats et discussion**

## Chapitre V. Résultats et discussion

Notre expérimentation avait commencé la fin du mois de février 2020. Ainsi, nous avons préparé les milieux de cultures des germes étudiés (bactéries, champignons, germes pathogènes). Nous avons ensuite prélevé nos échantillons selon le protocole décrit précédemment, et nous avons même ensemencé les champignons dans les boîtes de pétri le 08 mars 2020. Malheureusement, suite à la crise sanitaire (Covid-19), toute notre expérimentation a été interrompue le 11 mars 2020 ce qui nous a empêché de faire la lecture des résultats de la biomasse fongique.

Dans la présente étude, nous avons souhaité avoir des résultats similaires aux résultats suivants, qui ont été obtenus à partir de différentes sources d'études qui ont étudié l'influence de l'irrigation avec des eaux usées traitées sur les propriétés physicochimiques et le compartiment microbien du sol et qui ont suivi le même principe et protocole. Ces études ont été réalisées dans des régions arides.

### V.1. Résultats des analyses physicochimiques

#### pH

L'étude réalisée par Fortas et Ghedairi, (2019) dans la même station et sur le même sol montre que le pH des parcelles irriguées par les EUE est supérieur à 7 alors celui du sol témoin est d'une valeur maximale de 7. Une étude similaire réalisée par Ghouli et Maida. (2017) sur l'impact des eaux usées épurée sur les propriétés d'un sol sableux dans la région d'El-oued, montre que le pH des sols irrigués par les eaux usées traitées sont très alcalin situé entre 8.10 et 8.39, et le pH des sols irrigués par les eaux de forage sont alcalin ( $7.64 < \text{pH} < 7.70$ ), alors que les sols témoins ont un pH de 7,4.

En revanche, on peut dire que ces résultats sont en conformité à ceux trouvés par Schipper *et al.* (1996), mentionnés dans les travaux de Tamrabet (2011) ; Gharbi (2008), où ces chercheurs ont déclaré que le pH du sol augmente à la suite de l'irrigation avec les eaux usées épurées. Ils ont attribué cette hausse à la composition chimique des effluents en cations, tels que les  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$  et  $\text{Mg}^{+2}$ .

Cependant, d'après l'étude de AL-Jaboobi *et al.*, (2014) réalisée à Bani-Alharth à Sana'a au Yémen pour évaluer le comportement du sol lors de l'utilisation des eaux usées traitées que le pH du sol

variait de 7,89 à 7,55 dans le sol irrigué avec les EUE, alors que celui du sol irrigué par les eaux souterraines variait de 8,27 à 8,08.

Par rapport aux résultats de Fortas et Ghedairi (2019) ; Ghouli et Maida (2017), dans les parcelles non irriguées le pH est généralement alcalin ( $7 < \text{pH} < 8$ ). Ceci s'explique par la particularité que possèdent les sols des régions arides vis-à-vis le pH qui est majoritairement alcalin (Daoud et Halitim, 1994).

Par opposition, une étude faite au nord de la Tunisie par Hidri *et al.*, (2013) révèle une diminution du pH suite à l'irrigation par les eaux usées sur une période de dix ans. La diminution est due en partie à l'oxydation des composés organiques et à la nitrification de l'ammonium. Ce résultat est en accord avec ceux rapportés par Mohamed et Mazahreh (2003).

Faisant suite à l'étude de Tarchouna et coll (2010) qui ont constaté une réaugmentation du pH durant plusieurs années successives d'irrigation avec des EUE, ils ont attribué cette augmentation du pH à la teneur élevée en cations alcalins tels que Na, Ca et Mg. Les ions bicarbonates et carbonates combinés avec du calcium ou du magnésium précipiteront sous forme de carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ) ou de carbonate de magnésium ( $\text{MgCO}_3$ ). Cela provoquera un effet alcalinisant et augmentera légèrement le niveau de pH. Par conséquent, lorsqu'une analyse de l'eau indique un niveau de pH élevé, cela peut être le signe d'une teneur élevée en ions carbonate et bicarbonate.

### **Conductivité électrique CE**

Les résultats obtenus par Fortas et Ghedairi (2019), montrent que les parcelles irriguées avec les eaux usées traitées ainsi que les sols témoins sont très salés selon l'échelle d'AUBERT (1978), (Annexe II), avec des valeurs qui dépassent 2.4 dS/m dans les sols irrigués avec EUE et de 4.2 dS/m pour le sol témoin. Ces résultats sont presque similaires à ceux trouvés par Gadda (2013) lors d'une étude sur l'impact de l'irrigation par les eaux usées traitées sur les propriétés physicochimiques des sols au niveau de la région de Ouargla, qui a constaté que les parcelles irriguées par les eaux usées traitées sont plus salées par rapport aux sols irrigués avec des eaux conventionnelles d'une valeur estimée à 3,61 dS/m. Quant au sol non irrigué, il est considéré comme extrêmement salé dont la CE présente une valeur de 9,248 dS/m .

AL-Jaboobi *et al.* (2014) ont obtenu une augmentation de la CE de 0,893 à 0,943 dS / m avec une moyenne de 0,921 dS / chez les sols irrigués par EUE, tandis que dans le sol irrigué avec de l'eau souterraine variait de 0,600 à 0,705 dS / m avec une moyenne de 0,657 dS / m. Ces valeurs jugées légèrement normales selon les limites recommandées par la FAO.

En effet, la conductivité électrique définit la quantité totale des sels solubles correspondant à la salinité globale du sol. Elle dépend de la teneur et de la nature des sels présents dans le sol (Guessoum, 2001). L'impact de l'irrigation avec les eaux usées épurées sur les sols est discuté par de nombreux auteurs (Bahri et Houmane, 1987 ; Tamrabet, 2011 ; Ouafae *et al.*, 2012...). Ils ont tous signalé que l'irrigation avec les eaux usées traitées augmente la salinité des sols.

Selon Tamrabet (2011), les sels solubles s'accumulent plus dans les couches profondes, sous l'effet de la lixiviation. L'accumulation des sels dans les sols non irrigués est logique grâce aux conditions du milieu saharien, connu par les grandes évaporations. Tamrabet (2011), a conseillé que la gestion de l'irrigation avec les eaux usées doit considérer leur lessivage au-dessous de la rhizosphère, pour éviter que leurs accumulations dans la couche superficielle du sol n'affectera l'activité microbienne, la croissance de la plante et la productivité du sol.

### **Carbone organique (Matière organique)**

La matière organique est largement considérée comme une composante vitale de la fertilité du sol en raison de son rôle dans les processus physiques, chimiques et biologiques (Rezapour, 2011). Par conséquent il y aurait une stabilité structurale et une bonne porosité et une meilleure aération comme elle joue un rôle important dans la rétention de l'eau (Jaunes et Jacobsen, 2001), et sous l'action des microorganismes du sol, elle libère les éléments minéraux qui sont indispensables à la nutrition et au développement des plants (Bollag *et al.*, 1998).

L'étude de Fortas et Ghedairi (2019), montre que la meilleure quantité de matière organique a été trouvée dans les sols irrigués avec des eaux usées traitées par rapport au sol témoin. Ceci est en accord avec plusieurs études dont celles d'Al-Jaboobi *et al.* (2014), qui ont enregistré un taux de MO de 2 % dans les sols irrigués par les EUE et 0,74 % dans les sols irrigués avec l'eau souterraine. Quant à Gadda (2013), son étude dévoile également que la teneur moyennes en MO dans les sols

irrigués avec EUE est de 2,34%, et 2,07% dans les parcelles irriguées par les eaux conventionnelles. À l'opposé dans les parcelles non irriguées la valeur est de 0.92%.

D'après la classification de l'I.T.A (1975), les sols irrigués par les eaux usées traitées sont moyennement riches en matière organique que les sols non irrigués (Annexe II). D'autre part, les sols des zones sahariennes sont généralement caractérisés par une insuffisance en substrats énergétique, « teneur faible en matière organique » (Dregne, 2002 ; Masse, 2007) ceci explique les carences en matière organique dans les sols témoins non irrigués étudiés par Fortas et Ghedairi (2019) et Gadda (2013).

Conséquemment, l'irrigation avec les eaux usées épurées entraîne une accumulation de MO dans le sol, suite à leur richesse en éléments fertilisants et en oligoéléments, ces derniers favorisent et stimulent l'activité microbologique du sol entraîne de facto la minéralisation du carbone organique du sol (Belaid, 2011).

### **Bilan ionique**

#### **Phosphore (P)**

Le phosphore est considéré comme l'un des éléments nutritifs importants qui a un effet direct sur la croissance et la productivité des plantes (Sacks *et al.*, 2011).

D'après Ghouli et Maida (2017), les valeurs du phosphore sont élevées dans les sols irrigués avec les EUE (53.86%), contrairement au sol irrigué avec de l'eau conventionnelle et le sol non irrigué. Ces résultats se rapprochent de ceux trouvés par AL-Jaboobi *et al.* (2014) qui ont enregistré 27,33 ppm dans les sols irrigués avec des EUE contre 6,22ppm dans les sols irrigués avec des eaux souterraines. Ces résultats corroborent également ceux de Sacks et Akponikpe (2011) montrant que l'irrigation avec les EUE augmente le phosphore du sol.

#### **Azote (N)**

L'azote est un macronutriment important dont les cultures ont besoin pour une croissance suffisante. L'utilisation des eaux usées a permis d'augmenter l'azote total dans le sol selon AL-Jaboobi *et al.* (2014) avec une moyenne de 40,33ppm par rapport à ceux irrigués avec des eaux souterraines de 16 ppm. Des résultats similaires ont été enregistrés par Akponikpe *et al.* (2011).

## Potassium (K)

Le potassium est considéré comme le deuxième macroélément important pour la productivité des sols et des cultures. Pescod *et al.* (1992) disent que « le potassium normalement requis pour la production agricole serait fourni par l'effluent ». Ceci est confirmé par les résultats obtenus par Gadda (2013), Ghouli et Maida (2017) et AL-Jaboobi *et al.* (2014) qui ont trouvé que la quantité de (K<sub>2</sub>O) la plus élevée se situe dans les sols irrigués par les EUE avec une valeur de 52.81 et 51,9 ppm respectivement.

### V.2.Résultats des Analyses microbiologiques

Une étude conduite par Hidri *et al.*, (2013) à Nabeul-Hammamet au nord de la Tunisie sous orangerie irriguées au goutte à goutte depuis 10 ans dans une parcelle irriguée avec des eaux usées traitées et une autre irriguée avec des eaux souterraines, a montré des densités microbiennes différentes dans les deux parcelles.

La densité microbienne dans les différents sols du site étudié a été évaluée en comptant les bactéries et champignons sur des milieux de culture. Le nombre moyen de bactéries dans le sol irrigué avec EUE variait de  $29,72 \times 10^4$  à  $31,35 \times 10^5$  UFC g<sup>-1</sup> de sol et de  $3,53 \times 10^4$  à  $9,16 \times 10^4$  dans le sol irrigué avec des ES. Des différences significatives similaires ont été enregistrées pour les champignons, à la fois entre les différents sols et entre les transects étudiés.

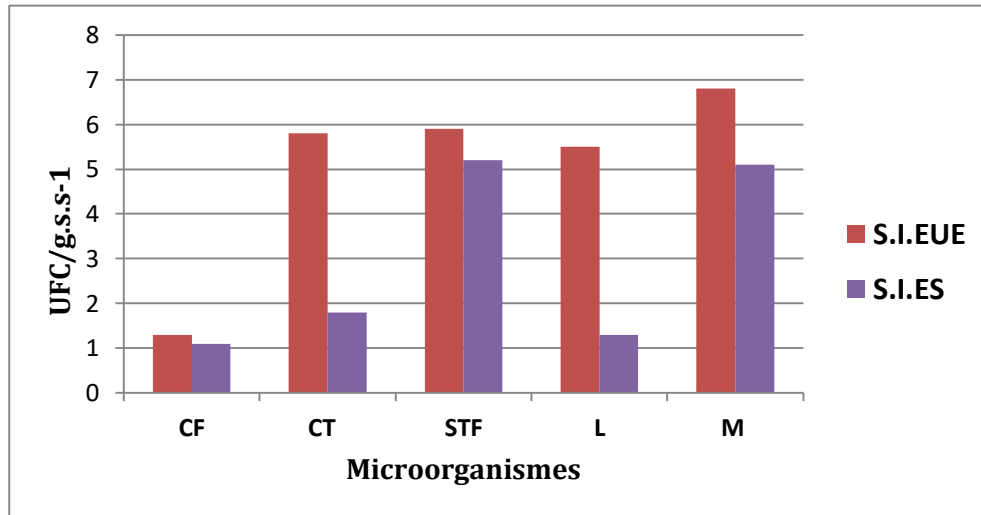
L'étude d'Al-Jaboobi *et al.* (2014) sur des sols irrigués avec eaux usées épurées (EUE) et les sols irrigués avec des eaux souterraines (ES) a enregistré les densités bactériennes et fongiques représentées dans le tableau (04).

**Tableau 3.** Dénombrement des bactéries et des champignons dans les sols irrigués avec eaux usées épurées (EUE) et les sols irrigués avec l'eau souterraine (ES) (AL-Jaboobi *et al.*, 2014).

L'emplacement	Type d'eau	CF UFC/.g.s.s <sup>-1</sup>	CT UFC/.g.s.s <sup>-1</sup>	STF UFC/.g.s.s <sup>-1</sup>	Sal UFC/.g.s.s <sup>-1</sup>	Cl UFC/.g.s.s <sup>-1</sup>	L UFC/.g.s.s <sup>-1</sup>	M UFC/.g.s.s <sup>-1</sup>
Site 1	EUE	1.3x10 <sup>3</sup>	1.8x10 <sup>5</sup>	5.9 x10 <sup>5</sup>	+	+	5.5x10 <sup>4</sup>	5.8x10 <sup>3</sup>
	ES	8.8x10 <sup>2</sup>	3.8x10 <sup>4</sup>	7.0x10 <sup>4</sup>	+	+	1.0x10 <sup>4</sup>	5.1x10 <sup>3</sup>
Site 2	EUE	1.0x10 <sup>3</sup>	1.1x10 <sup>5</sup>	1.7x10 <sup>5</sup>	+	+	1.2x10 <sup>4</sup>	6.8x10 <sup>3</sup>

	<b>ES</b>	1.1x10 <sup>3</sup>	6.4x10 <sup>4</sup>	3.1x10 <sup>4</sup>	+	+	8.1x10 <sup>3</sup>	1.5x10 <sup>3</sup>
<b>Site3</b>	<b>EUE</b>	1.1x10 <sup>3</sup>	9.6x10 <sup>4</sup>	9.8x10 <sup>4</sup>	+	+	9.1x10 <sup>3</sup>	6.5x10 <sup>3</sup>
	<b>ES</b>	3.7x10 <sup>2</sup>	5.8x10 <sup>4</sup>	5.2x10 <sup>4</sup>	+	+	1.3x10 <sup>4</sup>	4.2x10 <sup>3</sup>

**CF** : coliforme fécaux, **CT** : coliforme totaux, **STF** : staphylococcus, **SAL** : salmonella, **CL** : clostridium, **L** : levure, **M** : moisissure  
**UFC/g.s.s<sup>-1</sup>** : Unité formant colonie par gramme de sol sec



**Figure10.** Représentation de la biomasse microbienne dans les sols irrigués par les EUE et dans sols irrigués par les eaux souterraines ES

D'après les résultats du tableau précédent et le graphique ci-dessus, leurs données ont montré que les eaux usées épurées induisent des changements à l'activité microbienne avec un nombre élevé dans les sols irrigués avec les EUE par rapports aux sols irrigués avec les eaux souterraines dans les trois zones étudiées, cela a été confirmé par plusieurs études de Filip *et al.* (2000) et Kanazawa *et al.*,(1999).

Un autre examen microbiologique du sol pour les coliformes fécaux, *Escherichia coli* et streptocoques fécaux a été réalisé par Hidri *et al.*, (2014). La contamination microbienne du sol a été évaluée en mesurant le nombre de coliformes fécaux, d'*E. Coli* et de streptocoques fécaux sur des échantillons prélevés à des profondeurs de 0-20, 20-40 et 40-60 cm, après irrigation

saisonnaire. Les résultats montrent que le sol irrigué par les eaux usées traitées était significativement plus pollué microbiologiquement que le sol irrigué par les eaux souterraines.

Une légère concentration de bactéries coliformes fécales le long du transect étudié (150 cm) a été enregistrée dans le sol irrigué par les eaux usées traitées et atteignant une valeur maximale dans la première couche de sol (0-20 cm) de 3,78 à 22,8 NPP / g poids sec. En tenant compte de la qualité des eaux usées traitées (la concentration de coliformes fécaux était égale à  $1,1 \times 10^3$  NPP / 100 ml) et que l'eau était distribuée quotidiennement à l'orangerie pendant la période d'irrigation (en moyenne 2,46 mm / jour), la contamination mesurée doit être considérée comme très faible. Comme le rapportent Campos *et al.* (2000) 1 jour après l'irrigation, la contamination par les coliformes fécaux dans le sol sera considérablement réduite (une réduction jusqu'à quatre unités logarithmiques) en fonction de la qualité des eaux usées et du type de système d'irrigation. De plus, le sol semble être en mesure de réduire la contamination des bactéries humaines et les risques sanitaires associés suite à l'irrigation des eaux usées. De ce point de vue, l'épandage pourrait être considéré comme un moyen efficace d'évacuation des eaux usées (Campos *et al.*, 2000). En revanche, dans le sol irrigué par les ES, la concentration de coliformes fécaux dans le sol était négligeable (allant de 1,3 à  $<1$  NPP / g de poids sec). Cette faible contamination pourrait être attribuée au pâturage commun dans le site expérimental, et considérée comme une source non ponctuelle (diffuse) de contamination avec les animaux et les oiseaux sauvages errants et le ruissellement des zones agricoles (Palese *et al.*, 2009).

Des concentrations décroissantes ont été observées en fonction de la profondeur du sol et les valeurs mesurées aux niveaux les plus profonds étaient négligeables (allant de 5 à  $<1$  NPP / g de poids sec, ce qui équivaut à aucune contamination). Nous déduisons ce résultat en considérant que la matrice du sol agit comme un filtre, et donc en réduisant la concentration bactérienne dans les couches plus profondes du sol. Ces résultats sont en accord avec les résultats de Palese *et al.* (2009) et Oran *et al.* (2001). En particulier, Oran *et al.* (2001) ont observé une réduction progressive de la concentration de coliformes fécaux à travers le profil du sol de type argileux limoneux, et une disparition complète de la contamination au-delà de la limite de 25 cm, lorsque les eaux usées brutes contenant 1000 UFC de coliformes par 100 ml ont été utilisées pour l'irrigation.



La contamination par *E. coli* a suivi la même tendance dans les eaux usées et les eaux souterraines utilisées pour les sols d'irrigation, même si dans les premiers, elles présentaient des teneurs plus élevées. Cet enrichissement était clairement dû à la répartition des eaux usées qui, pendant la période expérimentale, était égale à  $9,1 \cdot 10^2$  MPN / 100 ml. Une très légère contamination par *E. coli* (allant de 1,3 à  $<1$  MPN / g de sol sec) a été enregistrée dans les sols prélevés sur la parcelle d'eau souterraine.

Comme indiqué pour les coliformes fécaux, *E. coli* était présente en particulier dans les couches supérieures du sol (0-20 cm) avec un pic au point de départ du transect étudié (0 cm / goutteur); dans les autres couches (20-40 et 40-60 cm), la concentration d'*E. coli* avait tendance à diminuer avec la profondeur proche de valeurs négligeables (toujours  $<1$  NPP/ g de poids sec dans les niveaux les plus profonds).

Le filtrage, en fonction des pores du sol et de la taille des bactéries, et l'adsorption sur les particules du sol sont les facteurs les plus importants qui influencent le transport des bactéries dans le sol (Campos *et al.*, 2000; Oran *et al.*, 2001). De plus, la présence de canaux dus aux systèmes racinaires des plantes et aux terriers de vers de terre peut fortement influencer la migration verticale des pathogènes à travers le profil du sol (Joergensen *et al.*, 1998).

D'autre part, la bonne gestion de l'irrigation (par un système goutte à goutte) aide à l'absorption d'eau intense par les racines des arbres et des cultures de couverture, exclu la saturation de l'eau par ruissellement et percolation vers des couches de sol plus profondes évitant la pollution de l'aquifère par des bactéries fécales (Palese *et al.*, 2009).

Une augmentation significative de la concentration de streptocoques fécaux a été enregistrée dans le sol irrigué par les EUE atteignant un maximum au point de départ du transect étudié. Ce résultat reflète probablement le nombre élevé de bactéries fécales présentes dans les eaux usées utilisées pour l'irrigation. On pense que l'utilisation de moins de contaminant des méthodes d'irrigation ou des effluents de meilleure qualité pourraient réduire davantage le risque de transmission de bactéries pathogènes fécales (Al-Lahham *et al.*, 2003). La prévalence des streptocoques fécaux a été détectée en particulier dans la couche supérieure du sol (0-20 cm). Des concentrations décroissantes ont été observées en fonction de la profondeur du sol et des valeurs de streptocoques fécaux mesurées aux niveaux les plus profonds, ce qui est négligeable. La stratification observée

de la biomasse microbienne en fonction de la profondeur du sol correspond et est généralement corrélée à la diminution des teneurs organiques en C et N, comme l'observent classiquement Lejon *et al.* (2007).

En effet, la contamination par les coliformes peut être considérée comme un indicateur de pollution. Selon Al-Jaboobi *et al.* (2014), les sols arrosés avec les eaux usées et les eaux souterraines présentent une augmentation de la concentration en coliformes fécaux de  $1,3 \times 10^3$  UFC/g.s.s dans le sol irrigué avec des EUE et de  $3,7 \times 10^2$  UFC/g.s.s dans le sol irrigué avec des eaux souterraines. Cela était dû à la mauvaise qualité de la source d'eau d'irrigation. La moyenne des coliformes fécaux trouvés est au-dessus des limites recommandées par la FAO et l'OMS pour les légumes à consommer non cuits. (Annexe III).

On ce qui concerne les *Staphylocoques aureus* (tableaux 4) (figure 09), la même étude a montré que la valeur la plus élevée est observée dans le sol irrigué par EUE dans le premier site de  $5,9 \times 10^5$  UFC /g mais la valeur la plus basse de  $9,8 \times 10^4$  UFC / g se trouve dans le troisième site. Cette augmentation est généralement liée aux teneurs organiques en carbone et azote présente dans l'effluent.

On a remarqué aussi la présence de *Salmonella* presque dans tous les échantillons testés (tableau 4). Ceci est confirmé par nombreuses recherches dont la possibilité de transferts de *Salmonella* de l'eau au sol (Jacobsen *et al.*, 2012). De plus, elle est susceptible de survivre dans le sol en grand nombre (Gurtler *et al.*, 2013).

Et dans le cas de *Clostridium perfringens* les résultats ont montré aussi une incidence élevée (tableau 4). D'autres études ont donné des résultats similaires (Mekki *et al.*, 2006) (Gamboa, 2005) qui ont rapporté que ce genre de bactérie est souvent présent lors de l'analyse du sol.

En parallèle, l'incidence des levures dans les sols irrigués avec des EUE est comprise entre  $5,5 \times 10^4$  et  $9,1 \times 10^3$  UFC /g.s.s alors que  $1,3 \times 10^4$  à  $8,1 \times 10^3$  dans les sols irrigués avec des eaux souterraines (Figure 9).

Les levures sont des organismes répandus dans les sols du monde entier. Ils influent sur l'agrégation du sol (Moawad, 1973). Un tel résultat a été obtenu par plusieurs recherches (Yurkov, 2012 ; Pan et Yang, 2009).

D'autre part, la biomasse des moisissures dans les sols irrigués par EUE estimé de  $5,8 \times 10^3$  à  $6,8 \times 10^3$  UCF/g.s.s et dans les sols irrigués par les ES de  $5.1 \times 10^3$  à  $4.2 \times 10^3$  UCF/g.s.s. Au total, on constate que lors de l'irrigation avec les EUE la biomasse fongique augmente ainsi que dans les sols irrigués par les eaux souterraines, mais, en revanche une étude plus approfondie en Tunisie a révélé que les champignons sont beaucoup plus élevés dans le sol traité avec des eaux usées que le sol témoin. En effet, ils ont la capacité de croître à des niveaux riches en matière organique comme les eaux usées (Mekki *et al.*, 2006) (AL-Jaboobi et Tijane , 2013).

# Conclusion

### **Conclusion**

La présente étude a pour objectif la détermination de la qualité microbiologique et physicochimique des sols irrigués avec des eaux usées traitées.

C'est une conclusion théorique. Malheureusement en raison de la pandémie (Covid-19), nous n'avons pas pu obtenir de conclusion concrète à nos données. Ainsi, une synthèse des résultats des travaux de certains chercheurs a été réalisée.

Compte tenu de ces résultats, nous pouvons conclure que l'irrigation avec des eaux usées traitées induit une augmentation de la conductivité électrique par accumulation des sels mais aussi en profondeur sous l'effet de lixiviation (surtout dans un sol sableux), ainsi une augmentation du pH à savoir un pH basique dû à l'accroissement de ces eaux en cation. Les résultats révèlent également une augmentation flagrante de la charge ionique en azote  $\text{NH}^{+4}$ , phosphore  $\text{P}_2\text{O}_5$ , potassium  $\text{K}_2\text{O}$ , qui jouent un rôle important dans la fertilité du sol et la production végétale. Les résultats ont mis en évidence une élévation accrue de la matière organique dans les sols irrigués par les EUE du fait que ces eaux sont pourvues de la MO.

Malgré des niveaux légèrement élevés des paramètres chimiques dans les eaux usées épurées par rapport aux eaux souterraines, la réutilisation de ces effluents à un effet positif sur le développement du sol et même pour l'irrigation des cultures, et peut également fournir des composés organiques facilement biodégradables et facilement absorbables.

D'autre part, l'irrigation avec ces eaux affecte les propriétés microbiologiques du sol dont l'évolution de la biomasse microbienne (bactéries et champignon). Cette croissance de microorganismes pourrait s'expliquer par la source immédiate de composés facilement dégradables dans l'environnement sol oligotrophique apporté presque certainement par l'irrigation des eaux usées. En effet, les microorganismes sont principalement hétérotrophes et limités en carbone dans le sol et les différences observées pourraient être dues à une plus grande disponibilité du carbone fourni par l'irrigation des EUE. Cela conduirait à une augmentation transitoire des microorganismes du sol avec une résilience significative en raison de la diminution rapide du stock de matière organique fraîche.

Les densités microbiennes sont positivement corrélées aux propriétés physico-chimiques du sol telles que le contenu en matière organique, l'humidité du sol, des valeurs de pH ou la texture. Cette densité est d'autant plus faible dans les sols sahariens où les substrats énergétiques et nutritifs sont réduits, combinés aux effets des conditions pédoclimatiques extrêmes. En revanche dans ces zones le développement des plantes constituent un grand problème nécessitant l'intrusion des fertilisants minéraux. Pour atténuer ce problème, le recours à des eaux usées (domestiques) traitées reste efficace et avec un coût symbolique. L'utilisation de ces eaux et la disponibilité de leurs ressources augmentent la biomasse microbienne. Ceci a été confirmé par les résultats trouvés.

La région de Ouargla dispose de grandes potentialités en eaux usées épurées, qui peuvent être utilisées dans différents secteurs, comme le secteur agricole, à condition de mettre en place un suivi rigoureux de son épuration et des études plus approfondies. Avec une gestion correcte des sels, et une bonne technique d'irrigation qui empêche la propagation des polluants. Cependant, des études sur différents types d'eaux usées et de sols sont nécessaires avant que ces résultats puissent être généralisés car les changements dans la communauté microbienne sont également considérablement influencés par le type de sol et certaines pratiques agricoles. D'autre part, ces effluents peuvent contaminés l'environnement avec plusieurs bactéries pathogènes ce qui entraîne des risques potentiels pour la santé des agriculteurs et des consommateurs en plus des risques environnementaux. Actuellement, l'utilisation de ces eaux reste très limitée et anarchique, car elle est effectuée sans précautions et sans règles de réutilisation conseillées par l'O.M.S et la F.A.O, ainsi que la réglementation algérienne concernant ce sujet. Il est donc nécessaire de dessiner comme objectif futur une étude plus approfondie sur les bactéries pathogènes et de trouver une méthode efficace et sensible pour éliminer les bactéries liées à la chaîne alimentaire.



# **Références bibliographiques**



## Reference bibliographiques

### A

- **Asano T., 1998.** Irrigation with reclaimed municipal wastewater: California experiences. CIHEAM Options Méditerranéennes, Bari (Italy).
- **A.N.R.H., 2010.** L'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques de la Wilaya de Ouargla : Rapports techniques.
- **Aulicino E. A., Mastrantonio A., Orsini E., Bellucci C., Muscillo M., Larosa G., 1996.** Enteric viruses in a wastewater treatment plant in Rome. Water, Air, and Soil Pollution.
- **Ayers R.S, Westcot D.W., 1985.** Water quality for agriculture. FAO, Irrigation and drainage paper 29. 174p. Rome, Italy.
- **Ademir Sérgio Ferreira de Araújo.et Wanderley José de Melo., 2010.** Soil microbial biomass in organic farming system. Ciência Rural ISSN: 0103-8478. Universidad Federal de Santa Maria Brasi.
- **Annabi M., Houot S., Francou C., Poitrenaud M., et Le Bissonnais Y., 2005.** Soil aggregate stability improvement with urban composts of different maturities. Soil Sci. Soc. Am. J., 71pp, 413-423.
- **Amir H., Bennaceur M., Laoufi Z., Amir A., Bounaga N., 1985.** Le palmier dattier et la fusariose. XIII. Contribution à l'étude de l'écologie microbienne du sol de 2 palmeraies sahariennes atteintes de bayoud. Revue d'Ecologie et de Biologie du Sol, 22: 313-330p.
- **Akponikpè P.B. I., Wima K., Yacouba H., Mermoud A., 2011.** euse of domestic wastewater treated in macrophyte ponds to irrigate tomato and eggplant in semi-arid West-Africa: Benefits and risks Agricultural Water Management 98 . 834.
- **APHA., 1998.** Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th ed. American Public Health Association, Washington DC
- **Alexander M., 1982:** Introduction to soil microbiology, 2<sup>ème</sup> Edit. J.Wily and sons INC, 467 p.
- **Avella Vasquez A. C., 2010.** Substances polymériques extracellulaires dans les procédés de traitement des eaux usées. Thèse de doctorat en Géosciences. INPL. Univ. Nancy. 218 p.

### B

- **Baumont S., Camard J. P. et Lefranc A., 2009.** Réutilisation des eaux usées épurées : risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France, École nationale supérieure agronomique de Toulouse
- **Baumont S., Camard J.P., Lefranc, A. et Franconi A., 2004.** Réutilisation des eaux usées épurées : risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France.
- **Belaïd N., 2010.** Evaluation des impacts de l'irrigation par les eaux usées traitées sur les plantes et les sols du périmètre irrigué d'El Hajeb-Sfax: salinisation, accumulation et phytoabsorption des éléments métalliques, thèse de doctorat.
- **Benzaria M., 2008.** Approche Méthodologique Pour Les Projets De Réutilisation Des Eaux Usées En Irrigation, Université Du QUÉBEC à MONTRÉAL, p 23 .
- **Boutin C., Hedui A., Helmer J.M., 2009.** Technologies d'épuration en vue d'une réutilisation des eaux usées traitées (REUT) .
- **Baumont S., Camard J.P, Lefranc A., Franconi A., 1998.** Réutilisation des Eaux Usées Epurées : Risques Sanitaires et Faisabilité en Île-de-France, Institut d'aménagement et d'urbanisme de la région Ile-de-France, école national supérieur Agronomique de Toulouse. P. 82.
- **Boumediene M.A, 2013.** Bilan de suivi des performances de Fonctionnement d'une station d'épuration à boues activées, p.12
- **Boulahai, 2014 :** Inventaire des normes existantes en matière de réutilisation des eaux usées en pisciculture
- **Bixio D., De Heyder B., Chikurel H., Muston M., Miska V., Joksimovic D., Schäfer A.I., Ravazzini A., Aharoni A., Savic D. and Thoeys C, 2005.** Municipal wastewater reclamation: where do we stand? An overview of treatment technology and management practice. Water. Science. Technology,
- **Blumenthal U.J., Peasey A., Ruiz-Palacios G. and Mara D.D., 2000.** Guidelines for wastewater reuse in agriculture and aquaculture: recommended revisions based on new research evidence. WELL 128 Study, Task N°. 68 Part 1, London School of Hygiene & Tropical Medicine, UK WEDC, Loughborough University (UK). 67 p.
- **Baize D., 2000.** Guide des analyses en pédologie. INRA Editions, Paris, 257 p.
- **Belnap J., 2005:** Encyclopedia of Soils in the Environment. D. Hillel, editor. London, Elsevier, Crusts Biological, pp: 339-346.

- **Bahria A., Houmane B., 1987.** Effet de l'épandage des eaux usées traitées et des boues résiduelles sur les caractéristiques d'un sol sableux de Tunisie. *SCIENCE DU SOL* 1987 - Vol. 25/4. PLAISIR-FRANCE. pp267-278.
- **Berthelin J., 1999.** Microbiologie. DEA National de Science du Sol. INA, Paris, 237P.
- **Boullard B., Moreau. J., 1962 :** Sol, Microflore Et Végétation. Edit ; Masson ; Paris, 289p
- **Bollag., 1998.** Interaction entre les minéraux des sols, les composés organiques et les microorganismes. Ed. Scientifique, Regist n°404, Synposium n°41.
- **Brouwer C., 1990.** Méthodes d'irrigation, *GESTION DES EAUX EN IRRIGATION*,

### C

- **Coïc Y., Coppenet M., 1989.** les oligo-éléments en agriculture et élevage : incidences sur la nutrition humaine. Ed. INRA, Paris
- **Cauchi, Hyvrard, Nakache, Schwartzbrod, Zagury, Baron, Carre, Courtois, Denis, Dernas, Larbaigt, Derangere, Martigne, Seguret., 1996.** Dossier : la réutilisation des eaux usées après épuration. *Techniques, Sciences et Méthodes*, 2 : 81-118.
- **Condom N., Lefebvre M., Vandome L., 2012.** La réutilisation des eaux usées traitées en Méditerranée : retour d'expériences et aide à l'élaboration de projets. Plan Bleu, Valbonne. (Les Cahiers du Plan Bleu 11). Ed. Centre d'activités régionales du PNUE/PAM avec la Banque européenne d'investissement et l'Agence Française de développement. 67p.
- **Chaouk M. & Aziez Z., 2015.** Étude de La vulnérabilité à la pollution chimique des eaux souterraines (ZNS) de la région d'Ouargla, Sud-Est Algérien. Université Ouargla, p 81.
- **Campos C, Oron G, Salgot M, Gillerman L, Casals G., 2000.** Attenuation of microorganisms in the soil during drip irrigation with waste stabilization pond effluent. *Water Sci. Technol.* 11(42): 387-392.

### D

- **Daddi Bouhoun M. et Hamdi Aissa B., 2008.** Travaux pratiques d'écopédologie. Université Kasdi Merbah Ouargla.
- **Daoud Y., Halitim A., 1994-** Irrigation et salinisation au Sahara Algérien. Sécheresse
- **Davet P., 1996.** La vie microbienne dans le sol et la production végétale, INRA, Edit, Paris, 383 p.

- **De Ruiter P.C., Van Veen J. A., Moore J. c., Brussaard L. et Hunt H. W.,1993.** Calculation of nitrogen mineralization in soil food webs. *Plant and soil* 157,263-273.
- **Djigal D., 2003.** Interactions entre la communauté microbienne du sol (bactéries et champignons mycorhiziens) et les nématodes bactéricivores : effets sur la nutrition minérale et la croissance de différentes plantes. 143 p
- **Dommergues Y., Mangenot F, 1970.** *Écologie microbienne du sol* .Ed. MASSON et Cie, Paris 796p.

### **E**

- **Ecosse D., 2001.** La Réutilisation des Eaux Usées, Mém. D.E.S.S, Fac. Sciences
- **El Alaoui R., Taoussi I., 2013.** L'impact du Chrome VI sur le traitement des eaux usées dans la station d'épuration de Marrakech.
- **El Mehdi Dadi. M, 2010.** L'évaluation de la possibilité de réutiliser en agriculture l'effluent traité de la commune de Drarga. Essai effectué en vue de l'obtention du grade de maître en environnement (M.Env.) Sous la direction d'Alain Berrouard Université de Sherbrooke Avril 2010

### **F**

- **Faby J.A., Brissaud F., 1997.** L'utilisation des eaux usées épurées en irrigation. Office International de l'Eau. 76 pages
- **FAO (2003),** L'irrigation avec des eaux usées traitées : Manuel d'utilisation, p 73.
- **FAO. (1992).** Wastewater treatment and use in agriculture. Bulletin FAO d'irrigation et de drainage
- **Fars S., Bousselhaj K., Nejmeddine A., Ouazzani N. Laghmari A. et Bouadili A., 2003.** Réutilisation d'une eau résiduaire brute et purée en agriculture : Disponibilité de l'azote et trois métaux lourds (Cu, Cd et Cr). Séminaire international : Réutilisation des eaux usées traitées et des sous-produits de l'épuration : optimisation, valorisation et durabilité, septembre 2003, Tunis, Tunisie.
- **Filip Z., Kanazawa S., Berthelin J., 2000.** Distribution of Microorganisms, Biomass ATP, and Enzyme Activities in Organic and Mineral Particles of a Long-Term Wastewater Irrigated Soil. *Journal Plant Nutr Soil Sc.* 163(2000) 143.

- **Fortas A., Ghedairi H., 2019**, L'effet d'utilisation des eaux usées traitées en irrigation sur les propriétés physicochimique du sol dans la cuvette d'Ouargla. Université Ouargla.
- **Fletcher M., Latham M J., Lynch J M., Rutter P R., 1980.**The characteristics of interfaces and their role in microbial attachment. In Microbial adhesion to surfaceces., 67-78p.
- **François Denis.,Marie-Cécile P.,Christian M., Vincent C., 2016.** bacteriologie technique usuelles .Elsevier Masson .3eme édition entièrement refondue.

## G

- **Gadda N.H., 2013.** Impacts des eaux usées épurées sur les propriétés physicochimiques des sols dans la région de Ouargla. Université de Ouargla.
- **Gennaccaro A.L., Mc Laughlin M.R., Quintero-Betancourt W., Huffman D.E., Rose J.B., 2003.** Infectious *Cryptosporidium parvum* oocysts in final reclaimed effluent. Appl. Environ. Microbiol.
- **Gobat . J, Arango . M, Mathey.W., 2003.** Le sol vivant, base de pédologie, biologie des sols ,568p.
- **Ghouli .K et Maida .A, ., 2017.** L'impact des eaux usées épurée sur les propriétés d'un sol sableux – cas de la région d'el-oued.Université El Oued.
- **Gurtler J.B., Douds D.D. J., Dirks B.P., Quinlan J.J., Nicholson A.M., Phillips J.G., Niemira B.A., 2013.** Salmonella and Escherichia coli O157:H7 survival in soil and translocation into leeks (*Allium porrum*) as influenced by an arbuscular mycorrhizal fungus (*Glomus intraradices*). Journal Applied and Environmental Microbiology. 79 pp 1813-20.
- **Gamboa M., Rodriguez E., 2005.** Diversity of mesophilic clostridia in Costa Rican soils. Journal Anaerobe . 11 pp 322-326
- **Guessoum A., 2001.**L'effet de l'irrigation sur la salinité du sol dans la région de Saada - Biskra., Thèse ing, Agro,Univ Batna., 50 P. Institut Technologique Agricole, Mostaganem,78 p.
- **Gausher M., 1968.**Traité de pédologie agricole, le sol et sa caractéristique agronomique, Ed. Paris .par Dunod.

## H

- **Harzallah.B., 2011.** Etude de la biodégradation du 2,5-diméthylphénol par le micro-biote des effluents d'entrée et de sortie de la station d'épuration des eaux usées d'IBN ZIAD. Mém. Magister. Microbiologie Appliquée. Univ. Mentouri Constantine. 102p.
- **Herpin U., Gloaguen T. V., da Fonseca A. F., Montes C. R., Mendonça F. C., Piveli R. P., Breulmann G., Forti M. C. Et Melfi A. J., 2007.** Chemical effects on the soil-plant system in a secondary treated wastewater irrigated coffee plantation- A pilot field study in Brazil. *Agricultural Water Management* 89 pp105 – 115.
- **Hamdi Aissa B., Valles V., Aventurier A., Ribolzi O., 2004.** Soils and Brine Geochemistry and Mineralogy of Hyperarid Desert Playa, Ouargla Basin, Algerian Sahara. *Arid Land Res. Manag.* 18, 103-126.
- **Hidri Y, Fourti O, Jedidi N., Hassen A, 2013.** Effects of ten years treated wastewater drip irrigation on soil microbiological properties under Mediterranean conditions. *frican Journal of Biotechnology.*
- **Helmer J.M., 2009.** Technologies d'épuration en vue d'une réutilisation des eaux usées traitées (REUT) Rapport final, (Convention de partenariat ONEMA-Cemagref 2008), p.45.
- **Mouhanni H., Hamdi H., Bendou A., Benzine L., Cavalli E., 2012.** Impact de la réutilisation des eaux usées épurées en irrigation : analyse ionique des lixiviats, *Revue des sciences de l'eau Journal of Water Science.*p. 69–73.

## I

- **Idder T., Idder A., Tankari Dan-Badjo A., Benzida A., Merabet S., Negais H., Serraye A., 2014.** Les oasis du Sahara algérien, entre excédents hydriques et salinité : l'exemple de l'oasis de Ouargla. *Revue des sciences de l'eau. Journal of Water Science,* 27(2), pp155-164.

## J

- **Jacobsen C. S. , Bech T. B.,2012.** Soil survival of Salmonella and transfer to freshwater and fresh produce. *Food Research International* 45, pp557-566., Issue 2, March 2012 .
- **Joergensen RG, Kuntzel H, Scheu S, Seitz D.,1998.** Movement of fecal indicator organisms in earthworm channels under a loamy arable and grassland soil. *Appl. Soil Ecol.*

**K**

- **Killian C., Feher D., 1939** : Recherches sur la microbiologie des sols désertiques. Paul le Chevalier Editeurs, Paris, 110p
- **Kessira M., 2005**. Gestion de l'irrigation avec les eaux non conventionnelles, CIHEAM / EU DG Research Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens.
- **Karabi M., 2010**. Fonctionnement microbiologique et biochimique des sols sahariens : étude comparative entre sol salés (palmeraie de l'université de Ouargla) et sol alluvionnaire (palmeraie traditionnelle de Guerrara). mémoire magister Université Ouargla, 76p.
- **Karabi M., Hamdi Aissa B., Zenkhri S., Kemassi A., BOURAS N., 2015**. Seasonal variations affect microbiocenose arid soils in the ouargla basin (Algerian sahara). *Ciência e Técnica Vitivinícola* . 30 :0254-0223.
- **Karabi M., 2016**. Fonctionnement microbiologiques des sols oasiens cas de quelques sols de la région de Ouargla. Thèse de doctorat. Université Ouargla.
- **Khadraoui A., 2007**. Sols et hydraulique agricole dans les oasis algériennes. Caractérisation, contraintes et propositions d'aménagement, 317p.

**L**

- **Lunn M., 2001**. The deliberate indirect wastewater reuse scheme at Essex and Suffolk Water. Colloque de Noirmoutier, 4 pages.
- **Lavelle P. et Spain, A. V., 2001**. Soil Ecology. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands. 65 p.
- **Leung K.T, Errampalli, D., Cassidy M., Lee H., Hall B., Trevors J. T, Okamura H. et Bach, H.J., 1997**. A case study of bioremediation of polluted soil: biodegradation and toxicity of chlorophenols in soil. In: Van Eisas J. D, Trevors J. T & Wellington E. M. H. (eds) *Modern soil microbiology*. Marcel Dekker, INC. New York. 577-605
- **Laboratoire Humaux., 2012**. Fiche technique, Milieu de Chapman. indicia production. Version 03.2012.
- **Laboratoire Humeau., 2012**. Fiche technique, Gélose VRBL, indicia production. Version 04.2012

**M**

- **Masséna P.A., 2001.** Valorisation des eaux usées en irrigation localisée. Office International de l'Eau, 14 p.
- **Khechiba I., Mahi A., 2016.** Etude diagnostique de la station d'épuration d'Ain El Houtz : réhabilitation de filières existantes et étude de filières à mettre en place, Projet de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de Master en Hydraulique, p.3.
- **Metahri M.S., 2012.** Elimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées par des procédés mixtes cas de la step est de la ville de tizi-ouzou, thèse de doctorat, spécialité : Agronomie, université mouloud mammeri de tizi-ouzou, pp21- 23.
- **Magesan G.N., Williamson J.C., Yeates G.W.et Lloyd-Jones A.Rh., 2000.** Wastewater C:N ratio effects on soil hydraulic conductivity and potential mechanisms for recovery Bioresource Technology 71, pp 21-27.
- **Miquel G., 2003.** La qualité de l'eau et de l'assainissement en France. Office Parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, Tome I, 198 p.
- **Muchuweti M., Birkett J.W., Chinyanga E., Zvauya R., Scrimshaw M.D.et Lester J.N. (2006),** Heavy metal content of vegetables irrigated with mixtures of wastewater and sewage sludge in Zimbabwe: Implications for human health. Agriculture, Ecosystems and Environment 112,pp 41–48.
- **Mohammad Rusan M..J., Hinnawi S., Rousan L., 2007.** Long term effect of wastewater irrigation of forage crops on soil and plant quality parameters. Desalination 215, 143–152.
- **Morel , 1989.** Les sols cultivés. Tech et Doc .Lavoisier, paris, 272p.
- **Moustefaoui A., Zitouni , A., Bouti K, Boudjilla H.,& Sabaou N. 1998 :** Présence des actinomycètes rares dans les sols du Sahara Algérien : Etude de quelques genres. Séminaire: "Zones arides" Rétrospectives, enjeux et stratégies "Adrar ,90 p.
- **Mekki A., Dhouib A., Sayadi S., 2006.** Changes in microbial and soil properties following amendment with treated and untreated olive mill wastewater. Microbiological Research 16, 13 February 2006, Pages 93-10
- **Muamar AL-Jaboobi, M'hamed Tijane, Shawqi EL-Ariqi, Abdellah El Housni1, Abdelmajid Zouahri1, Mohammed Bouksaim., 2014.** Assessment of the impact of wastewater use on soil properties. Journal Middle-East. Sci. Res. pp 747-752
- **Moawad H., Bab'eva I.P.,1973.** Biodiversity and Ecophysiology of Yeasts,Russ J Soil Sci 8.430p



- **MRE ., 2012.** Ministère des Ressources en Eau, Algérie, 2012
- **Magesan G.N., Williamson J.C., Yeates G.W.et Lloyd-Jones A.Rh., 2000.**Wastewater C:N ratio effects on soil hydraulic conductivity and potential mechanisms for recovery *Bioresource Technology* 71, 21-27.
- **Molope M.B., Grieve I C., 1987.**Contribution by fungi and bacteria to aggregate stability of cultivated soils. *J. Soil. Sci*, 38, pp71-77.
- **Mekki A., Dhouib A., Sayadi S., 2006.** Changes in microbial and soil properties following amendment with treated and untreated olive mill wastewater. *Microbiological Research*. Volume 161, Issue 2, 13 February 2006, Pages 93-10
- **Mazahreh N , Mohamed MJ., 2003.** Changes in soil fertility parameters in response to irrigation of forage crops with secondary treated wastewater. *Comm. Soil Sci. Plant Anal*. 34, pp 1281-1294.
- **Masse D., 2007.** Changements d'utilisation des terres dans les agrosystèmes d'Afrique subsaharienne. Propriétés des sols et dynamique des matières organiques. Mémoire HDR, l'ENSA de Toulouse.
- **Maire, R. M., I. L. Pepper et C. P. Gerba., 2000.** Environmental microbiology, Microorganisms in surface soils. In. Academic press. A Harcourt sciencead technology company. Canada. pp 79-82.

## O

- **Ouafae M., Lahrache A., El Halouani H., 2012.** Etude de plantation de jatropha curcas valorisant les eaux usées de la ville d'OUJDA. *Science Lib. Ed. Mersenne* .Vol 4. 16p
- **O.N.M,** Office National de Météorologique, données climatiques de la station de Ouargla
- **Office national d'assainissement de Saida., 2012.** Document de synthèse préparé par l'ONA de Saida concernant la réutilisation des eaux usées épurées, 21p
- **OMS., 2006.** WHO guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater, volume II, Wastewater use in agriculture, 222p.
- **OMS, 1989.** L'utilisation des eaux usées en agriculture et aquiculture : recommandation a visées sanitaires. Organisation Mondiale de la Santé, Genève.
- **Oustani M., 2006.** Contribution à l'étude de l'influence des amendements organique (fumier de volailles et fumier de bovins) sur l'amélioration des propriétés microbiologiques

des sols sableux non salés et salés dans les régions sahariennes (cas d'Ouargla). Mémoire de magister, Université de Ouargla, 187p.

- **Oron G, Armon R, Mandelbaum R, Manor Y, Campos C, Gillerman L, Salgot M, Gerba C, Klein I, Enriquez C ., 2001.** Secondary wastewater disposal for crop irrigation with minimal risks. *Water Sci. Technol.* 43,pp 139-146.
- **ONA., 2019.** Office Nationale de l'Assainissement, tableau de bord exploitation du mois de Janvier 2019, pp 2-3.
- **Oubrim N., Ennaji M. M., Hajjami K., Bennani M., Hassar M. et Cohen N., 2011.** Microbiological Impact of Treatment Lagoons on The economics of Water for Reuse in Agriculture a Case Study in Morocco (Settat and Soualem Regions). *Cell. Mol. Biol.*, 57p.

## **P**

- **Pan L. X., Yang D.F., Shao L., Chen W.Li, G.G., Liang Z. Q., 2009.** Isolation of the Oleaginous Yeasts from the Soil and Studies of Their Lipid-Producing Capacities. *Biotechnol.* 47 (2) ,pp 215–220.
- **Pekrun, C., Kaul, H.P., Claupein, W., 2003.** Soil tillage for sustainable nutrient management. In El Titi, A. (ed.), *Soil tillage in agroecosystems*, CRC Press, New-York (USA), pp 83-113.
- **Palese AM, Pasquale V, Celano G, Figliuolo G, Masi S, Xiloyannis, 2009.** Irrigation of olive groves in Southern Italia treated municipal wastewater: Effects on the microbiological quality of soil and fruits. *Agriculture Ecosys. and Environ.* 129, pp 43-51.

## **R**

- **Roger P et Garcia J.L., 2001.** Introduction à la Microbiologie du sol. Polycopié de cours. Ecole Supérieure d'Ingénieurs de Luminy, France, 193p.
- **Rezapour S., Samadi A., 2011.** Soil quality response to long-term wastewater irrigation in Inceptisols from a semi-arid environment. *Nutr Cycl Agroecosys* 91. 269p.
- **Rahmani A., 2015.** épuration des eaux usées de la région de N'goussa (Ouargla) par des végétaux performances épuratoires. Mémoire de master en génie de procédés. Ouargla. Université Ouargla.

- **Rattan R.K., Datta S.P., Chhonkar P.K., Suribabu K., Singh A.K., 2005.** Longterm impact of irrigation with sewage effluents on heavy metal content in soils, crops and groundwater—a case study. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 109, pp310–322.
- **Ralmade F., 2002.** Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement, Editions Dunod (2) Paris, 1075 p.
- **Renault –Roger C., 2005.** Enjeux phytosanitaires pour l'agriculture et l'environnement, édition TEC & DOC, Lavoisier, Paris
- **Rouvilis – Brigol M., 1975.** Le pays de Ouargla (Sahara Algérien). Variation et organisation d'un espace rural en milieu désertique. Janvier-juin 1977. *Monde turco-iranien*. 110p.
- **RNDE., 2003.** Réseau national des données sur l'eau. Issue de la loi sur l'eau de 1992.

## S

- **Sheikh B., Cooper R.C. and Israel K.E., 1999.** Hygienic evaluation of reclaimed water used to irrigate food crops: a case study. *Water Science and Technology*, 40(4-5)261-267.
- **Skiredje A., 2005.** Besoins des plantes en eau et en éléments nutritifs. Département d'Horticulture, Maroc, 10p.
- **Saïd. M., 2012.** Élimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées, par des procédés mixtes. Cas de la Step Est de la ville de Tizi-Ouzou. Thèse de doctorat, Université mouloud mammeri de Tizi-Ouzou, 172p.
- **Solis C., Andrade E., Mireles A., Reyes-Solis I.E., Garcia-Calderon N., LagunasSolar M.C., Pina C.U et Flocchini R.G., 2005.** Distribution of heavy metals in plants cultivated with wastewater irrigated soils during different periods of time. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 241, pp 351–355.
- **Soltner D., 2003.** Les bases de la production végétale, Le sol et son amélioration. Tome I, Edit Collection Science Technique Agricole, 472 p.
- **Sacks M., Bernstein N., 2011.** Utilization of reclaimed wastewater for irrigation of field-grown melons by surface and subsurface drip irrigation. *Isrl J Plant Sci.* V 59, pp 159-169.
- **Sasson A., 1967.** Recherches écophysiologicals de la microflore bactérienne des sols des régions arides du Maroc. *Mém Ing, Rabat*, 224 p.

- **Scott CA., Faruqui ni ., Raschid –Sally L., 2007.** Wastewater Use in irrigated agriculture: Management challenges in developing countries. Wastewater Use in Irrigated Agriculture Coordinating the livelihood and environmental realities. Ed. CAB International in association with the International Water Management Institute and International Development Research Centre. pp 6-16.
- **Sharma R, AND Karthikeyan N., 2015.** Role of Microorganisms in Plant Nutrition and Health, c Springer India. pp 125-161.
- **Standing D. et Killham K., 2007.**The soil environment. In Modern soil microbiology. Boca Raton: CRC Press. pp1-21.

### T

- **Tamrabet, L., D., Golea, H., Bouzerzour ., 2002.** La réutilisation des eaux usées en agriculture : insuffisances et solutions des méthodes de traitement des effluents en Algérie. Watmed2002, Monastir, Tunisie.
- **Tamrabet L., 2011.** Contribution A L'étude De La Valorisation Des Eaux Usées En Maraichage, Thèse de Doctorat en sciences.
- **Toze S., 2006.** Reuse of effluent water benefits and risks; Agricultural Water Management United States Environmental Protection Agency (USEPA) (2004). Guidelines for water use. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Center for Environmental Research Information, Cincinnati, Ohio (USA).
- **Tisdall J.M., 1994.** Possible role of soil microorganisms in aggregation in soils. Plant and Soil, 159 pp 115-121 .
- **Tortora G.J., Funke., Case., 2012.**introduction a la microbiologie, 2<sup>ème</sup> Ed. ERPI Sciences / Pearson, Québec, 624 p.
- **Tarchouna LG, Merdy P, Raynaud M, Pfeifer H, Lucas Y., 2010.** Effects of long-term irrigation with treated wastewater. Part 1: Evolution of soil physico-chemical properties. Appl. Geochem. 25: 1703-1710.

### U

- **U.S. Environmental Protection Agency "USEPA"., 2004.**Guidelines for water reuse: U.S. Environmental Protection Agency Document EPA/625/R-04/108, 478 p.

- **Yurkov A.M., Kemler M., Begerow D., 2012.** Assessment of yeast diversity in soils under different management regimes. *Fungal ecology* V5, pp 24-35.
- **Yéli Mariam Sou., 2009.** Recyclage des Eaux Usées en Irrigation : Potentiel Fertilisant, Risques Sanitaires et Impacts sur la Qualité des Sols, thèse de doctorat,
- **Yazid B ., 2014.** Évaluation de la toxicité des eaux usées traitées par la station d'épuration de Guelma et son impact sur l'oignon « *Allium cepa* ». Thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar, 158p.

**W**

- **Wang Z., Chang A.C., Wu L., Crowley D., 2003.** Assessing the Soil Quality of Long-Term Reclaimed Wastewater-Irrigation Cropland, *Geoderma*, Vol 114. pp261-278.
- **w.w.w.traitementdeseaux.fr, juin.2020**

**Z**

- **Zahran, H.H ., 1997.** Diversity, adaptation and activity of the bacterial flora in saline environments. *Biol. Fertil. Soils*. V25,pp 211-223.

# **Annexes**

**Annexes****Annexe I****Milieux de culture****A- Milieu de culture pour les bactéries : Gélose nutritive à l'extrait de terre (POCHON, 1954):**

- Extrait de viande            1g
- Extrait de levure            2g
- Chlorure de sodium        5g
- Peptone                        10g
- Agar-agar                    15g
- Extrait de terre            100ml

Dissoudre les constituants dans 900 ml d'eau distillée, puis dans l'autoclave à 121°C pendant 15 min.

**B- Milieu pour les champignons (O.G.A), (Biokar, 2014)**

- OGA                            30g
- Eau distillé                1000ml

-dissoudre sous un bec bunsen les constituants du milieu dans une petite quantité d'eau distillée puis compléter le volume jusqu'à un litre.

-ajuster le pH du milieu.

-repartir le mélange dans des flacons fermés et autoclaver à 112 °C pendant 20 min.

-conserver le milieu au réfrigérateur jusqu'au moment de l'utilisation

**C- milieu de culture pour *Staphylococcus aureus* (Chapman) :(Laboratoire Humeau, 2012)**

Sa composition, en grammes par litre d'eau distillée, est la suivante :

- Peptones                        11 g
- Extrait de viande            1 g
- Chlorure de sodium        75 g
- Mannitol                        10 g
- Rouge de phénol            0,025 g
- Agar                              15 g
- Eau distillée                1000 mL

### Préparation du milieu

Mettre 111 grammes de milieu déshydraté dans un litre d'eau distillée stérile. Mélanger jusqu'à obtention d'une suspension homogène. Chauffer lentement en agitant fréquemment, puis porter à ébullition jusqu'à dissolution complète. Stériliser à l'autoclave à 121° C pendant 15 minutes. Répartir en boîtes de Pétri ou en flacons.

**D-milieu de culture gélosé VRBL** (milieu lactosé bilié au cristal violet et au rouge neutre) pour les coliformes totaux et thermotolérants : (Laboratoire Humeau, 2012)

#### Composition

- Peptone 7 g
- Extrait de levure 3 g
- Lactose 10 g
- Chlorure de sodium 5 g
- Mélange sel biliaire 1,5 g
- Cristal violet 0,002 g
- rouge neutre 0,03 g
- agar-agar 15 g
- Eau distillée 1 000 mL

pH: 7,4 à 25°C

Pour le milieu déshydraté :

1. Dissoudre 39,5 grammes dans 1 litre d'eau.
2. Chauffer sous agitation fréquente et laisser bouillir 1 minute pour dissoudre complètement la suspension. Ne pas surchauffer et ne pas autoclaver.
3. Bien mélanger, laisser refroidir à 45-50°C et répartir immédiatement en boîtes et laisser solidifier sur une surface froide.

**D-milieu de culture pour *E. coli*** : la gélose éosine bleu de méthylène (EMB) (François *et al.*, 2016)

- Peptone : 10 g
- Lactose : 10 g
- Éosine : 0,4 g
- Bleu de méthylène : 0,06 g
- Hydrogénophosphate de potassium : 2 g
- Agar : 15 g

pH : 6,8



Dissoudre 37,5 g dans 1 litre d'eau distillé et Bien mélanger pour dissoudre complètement la suspension et les autoclaver.

**E-milieu de culture pour les streptocoques :** la gélose Columbia (François *et al.* 2016)

Composition :

- Polypeptones : 17 g/L
- Peptone pancréatique de cœur : 3 g/L
- Amidon de maïs : 1 g/L
- Chlorure de sodium : 5 g/L
- Extrait de levure : 3 g/L
- Agar : 13,5 g/L

pH = 7,3

Dissoudre 42,5 g par 1 litre d'eau distillée et mélanger pour bien homogénéiser la solution Puis répartir le mélange dans des flacons fermés et autoclavés.

**F- milieu de culture pour salmonella :** La gélose *Salmonella-Shigella* (S.S.) (François *et al.*, 2016)

**Composition**

- Protéose peptone 5g
- Citrate ferrique ammoniacal 1g
- Extrait de viande de bœuf 5g
- Thiosulfate de sodium 8,5g
- Lactose 10g
- Rouge neutre 0,025g
- Sels biliaires 8,50
- Vert brillant 0,00033
- Citrate de sodium 8,50
- Agar 13,5

**Pour le milieu déshydraté**

Homogénéiser la poudre contenue dans le flacon. Mettre 56,7 grammes de milieu déshydraté dans un litre d'eau fraîchement distillée. Chauffer lentement en agitant fréquemment, puis porter à ébullition jusqu'à dissolution complète. Laisser refroidir à 45-50°C avant répartition. Répartir en boîtes de Petri ou en flacon.

## Annexe II

**Tableau 01.** Appréciation de la teneur en matière organique (I.T.A, 1975 in HAFOUDA, 2005).

Matière organique %	Nom de classe
Inférieur à 1	Sol pauvre en MO
1à2%	Sol moyennement riche en MO
2à3%	Sol riche en MO
Supérieur à 3%	Sol très riche en MO

**Tableau 02.** Echelle d'interprétation de pH -extrait 1/2,5- (Aubert, 1978)

pH	Interprétation
> 9	Sols très alcalins
8,5<pH<9	Sols fortement alcalins
7,9<pH<8,4	Sols moyennement alcalins
7,4<pH<7,8	Sols légèrement alcalins
6,6<pH<7,3	Sols très légèrement acides
6,H<pH<6,5	Sols légèrement acides
5,6<pH<6	Sols moyennement acides
5,H<pH<5,5	Sols fortement acides
4,5<pH<5	Sols très fortement acides
< 4,5	Sols extrêmement acides

**Tableau03.** Echelle de salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait 1/5 (AUBERT., 1978).

CE (dS/m) à 25°C	Degré de salinité
<0.6	Sol non salé
0.6<CE<2	Sol peu salé
2<CE<2.4	Sol salé
2.4<CE<6	Sol très salé
CE>6	Sol extrêmement salé

## Annexe III

Tableau 04. Valeurs limites des rejets dans un milieu récepteur (OMS, 2013)

Paramètres	Normes de l'OMS
Coliformes totaux	500 CT / 100 ml
Coliformes fécaux	2000 CF / 100 ml
Streptocoques fécaux	1000 SF / 100 ml
Clostridium sulfite-réducteur	/

Tableau 05. Normes de rejets des eaux usées appliquées en Algérie

Paramètres	Unités	Valeurs limites	Tolérance des valeurs limites des anciennes installations
Température	C°	30	30
pH	-	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5
MES	Mg/l	30	40
Azote	Mg/l	30	40
Phosphore total	Mg/l	10	15
DCO	Mg/l	90	130
DBO5	Mg/l	30	40
Aluminium	Mg/l	3	5
Substance toxique bioaccumulable	Mg/l	0,005	0,01
Cyanures	Mg/l	0,1	0,15
Fluore et composés	Mg/l	15	20
Indice de phénol	Mg/l	0,3	0,5
Hydrocarbures totaux	Mg/l	10	15
Huiles et graisses	Mg/l	20	30
Cadmium	µg/l	0,2	0,25
Cuivre total	µg/l	0,5	1
Mercuré total	µg/l	0,01	0,05
Plomb total	µg/l	0,5	0,75
Chrome total	µg/l	0,5	0,75
Manganèse	µg/l	1	1,5
Nickel total	µg/l	0,5	0,75
Zinc total	µg/l	3	5
Fer	µg/l	3	5

Source : journal officiel de la république algérienne (2006)

## Annexe IV

Tableau 06. Données de bases de la STEP (ONA, 2010).

Procédé de traitement	Lagunage aéré			
Nature des eaux brutes	Domestique et Industriel (quelques usines)			
Temps de séjour	08 jours			
05 bassins		Capacité (m3)	Superficie (m2)	Profondeur (m)
	Bassin d'aération (A1)	3300	1179	2,8
	Bassin d'aération (A2)	3300	1179	2,8
	Bassin d'aération (B1)	2200	880	2,5
	Bassin d'aération (B2)	2200	880	2,5
	Bassin de finition (F2)	3282	2188	1,5
Nombre de lits de séchage	04 lits			
Surface totale de lits (m2)	1800			
Volume journalier (m3/J)	1064			
Equivalent habitant (EQH)	7165			

## Résumé

Les eaux usées récupérées pour l'irrigation sont une opportunité de valorisation de cette ressource naturelle. L'irrigation par les eaux usées épurées est une aubaine pour les pays en voie de développement, du fait de l'indigence, la rareté et le manque d'eau dû à une pluviométrie capricieuse.

Le souci de cette étude est de déterminer la qualité microbiologique et physicochimique des sols irrigués avec des eaux usées traitées. Une synthèse des résultats des travaux de certains chercheurs a été réalisée. Ces travaux ont relevé que l'irrigation a un effet positif sur le développement de la qualité des sols du fait de la richesse en matière organique et en éléments fertilisants  $NH^+$ <sub>4</sub>,  $P_2O_5$ ,  $K_2O$ , d'une part, et d'autre part, des décomptes de population de la microflore (bactéries et champignons) qui jouent un rôle important dans la fertilité du sol et la production végétale. En contrepartie, des effets négatifs à savoir la salinisation des sols et des agressions par des germes pathogènes (*Salmonella*, *E coli*, ...etc.) qui peuvent contaminer l'environnement.

Il a été constaté que le type de sol et la présence de la matière organique et certaines pratiques agricoles et le type d'eau d'irrigation ont plus d'influence sur l'activité microbiologique du sol.

**Mots clé : impact, eaux usées épurées, microorganismes, irrigation, Ouargla-Algérie.**

## Effect of the use of treated wastewater in irrigation on the microbiological properties of the soil in the Ouargla area.

### Abstract

Wastewater recovered for irrigation is an opportunity to valorize this natural resource. Irrigation with treated wastewater is a godsend for developing countries, due to the indigence, scarcity and lack of water due to capricious rainfall.

The aim of this study is to determine the microbiological and physicochemical quality of soils irrigated with treated wastewater. A summary of the results of the work of certain researchers has been produced. These works have noted that irrigation has a positive effect on the development of soil quality due to the richness in organic matter and nutrients  $NH^+$ <sub>4</sub>,  $P_2O_5$ ,  $K_2O$  and on the other hand the population counts of the microflora (bacteria and fungi) which play an important role in soil fertility and plant production. In return, negative effects, namely soil salinization and attacks by pathogenic germs (*Salmonella*, *E coli*, etc.) which can contaminate the environment. It was found that the type of soil and the presence of organic matter and certain agricultural practices and the type of irrigation water have more influence on the microbiological activity of the soil.

**Keywords: impact, treated wastewater, microorganisms, irrigation, Ouargla-Algeria.**

### تأثير استخدام المياه العادمة المعالجة في الري على الخصائص الميكروبيولوجية للتربة في منطقة ورقلة.

#### ملخص

تعد المياه العادمة المستعادة لأغراض الري فرصة لتأمين هذا المورد الطبيعي. الري بمياه الصرف الصحي المعالجة هبة للبلدان النامية، بسبب العوز والندرة ونقص المياه بسبب هطول الأمطار المتقلبة.

إن اهتمام هذه الدراسة هو تحديد الجودة الميكروبيولوجية والفيزيوكيميائية للتربة المروية بمياه الصرف الصحي المعالجة. تم إنتاج ملخص لنتائج دراسات بعض الباحثين، وقد أظهرت هذه الدراسات أن للري تأثير إيجابي على تطوير جودة التربة نتيجة لغناها بالمواد العضوية وعناصر التسميد  $NH^+$ <sub>4</sub> ،  $P_2O_5$  ،  $K_2O$  من ناحية ومن ناحية أخرى ، تعداد الكائنات الحية الدقيقة (البكتيريا والفطريات) التي تلعب دوراً مهماً في خصوبة التربة والإنتاج النباتي. في المقابل، هناك آثار سلبية، وهي تملح التربة وهجمات الجراثيم المسببة للأمراض (السالمونيلا، والبكتيريا القولونية ، إلخ) التي يمكن أن تلوث البيئة.

وجد أن نوع التربة ووجود المواد العضوية وبعض الممارسات الزراعية ونوع مياه الري لها تأثير أكبر على النشاط الميكروبيولوجي للتربة.

**الكلمات المفتاحية: تأثير، مياه الصرف الصحي المعالجة، الكائنات الحية الدقيقة، الري، ورقلة الجزائر**