

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA
Faculté Des Sciences De La Nature Et De La Vie
Département Des Sciences Biologiques



Mémoire En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Science de la Nature et de la Vie

Filière : Science Agronomique

Spécialité : protection des ressources Sol, Eau et Environnement

Présente par : Melle FORTAS Afaf

Melle GHEDAIRI Hadjer

Thème

L'effet d'utilisation des eaux usées traitées en irrigation sur certaines propriétés physico-chimique de sol dans la cuvette d'Ouargla

Soutenu publiquement

Le : 02 /07/2019

Devant le jury :

<i>M.IDDER</i>	<i>M T</i> (MCA)	Président	UKM Ouargla
<i>M .SAGGAI</i>	<i>M M</i> (MCA)	Examineur	UKM Ouargla
<i>M.KHAMGANI</i>	<i>A M</i> (MCA)	Promoteur	UKM Ouargla

Année universitaire : 2018/2019

Remerciements

Avant tout, Mercie notre Dieu de nous avoir donné le courage et la foi.

Nous tenons à remercier Mr. Khamgani Abed el Masek, notre promoteur Pour son suivi, sa patience, son conseils de ce mémoire.

Nous remercions les honorables membres du jury qui nous ont font l'honneur de corriger et juger notre travail : Mr Saggai Mounir et Mr Idder Taher

Tout le personnel de la station d'épuration de Sidi Khouiled et Said Otba :

Mr : mekholofi Ismail directeur de STEP de Said Otba.

Mr : chettouh Abdsalam directeur de STEP de Sidi Khouiled

Mr : Haider Mohammed assistant de maintenance de STEP de Sidi Khouiled

Nos remerciements vont également à tous les enseignants qui ont contribué à notre formation ainsi qu'à tout le personnel du département de science de la vie et la nature.

Nous tenons enfin à exprimer notre reconnaissance à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de

Ce modeste travail ainsi qu'à toute personne qui fera l'effort de lire ce document

Dédicace



Dédicace

Je dédie ce mémoire

*A celle qui m'a transmis la vie, l'amour, le courage, toutes mes joies :
à toi chère Maman.*

A qui a été toujours au près de moi, avec ces conseils : à toi mon père.

A qui je souhaite un avenir radieux plein de réussite :

A mes chers frères,

A mon bonheur, mon fiancé

A mon binôme et ma chère amie fortas Afafe

A toute mes amies ; et a tous mes camarades de ma promotion

Protection des ressource eau, sol et envirenment 2019



Hadjer

Dédicace



Dédicace

Je dédie ce mémoire

Aux deux être les plus chère au monde a mes parents la source d'affection qui ont tout fait pour n'aidera vivre cette joie de fin d'étude supérieur.

A ma grand mère Fatima

A mon frère Aissa et sa marié Siham et mes sœurs Samiha, Halima et Rokai pour leur soutien moral et leur affection durant tout ce temps

A mon binôme et ma chère amie Ghedairi Hadjer

Ames amie et mes camardes de ma promotion protection des ressources de sol, eau et environnement 2019



Liste des abréviations

Afaf

ONA	Office nationale d'assainissement
EU	Les eaux usées
REU	Réutilisation des eaux usées
RE UT	Réutilisation des eaux usées traitées
TWR	Treated wastewater reuse
MRE	Ministère des Ressources en Eau
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations (Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture).
EM	Eléments métalliques
IUSS	L'Union International de la Science du sol
D.A.T	Direction de l'aménagement des terres
CaCO₃	Carbonate de calcium
MgCO₃	Carbonate de Magnésium
pH	Le potentiel hydrogène
CE	La conductivité électrique
CFC	La capacité à fixer de cation
CEC	La capacité d'échange cationique
SAR	Sodium Adsorption Ratio
A.N.D.I	Agence nationale de développement de l'investissement
STEP	Station d'épuration des eaux usées
DBO₅	Demande biologique en oxygène
DCO	Demande Chimique en Oxygène
MES	Matières En Suspension
EH	Equivalent habitats

Liste des figures

Figure 1: la situation géographique de cuvette d'Ouargla (IDDER et al, 2014).....	35
Figure 2: Coupe hydrogéologique à travers le Sahara (d'après UNESCO 1972)	37
Figure 3: Diagramme ombrothermique de Gaussen de la région d'Ouargla (2009-2018).	42
Figure 4: Climagramme d'Emberger de la région d'Ouargla (2009-2018).	43
Figure 5: Evolution du pH du sol des parcelles dans le temps	61
Figure 6: Variation de la CE du sol des parcelles dans le temps	62
Figure 7: Evolution du MO dans les sols des parcelles	64
Figure 8: Evolution du CaCO ₃ dans les sols des parcelles	65
Figure 9: Evolution du HCO ₃ dans les sols des parcelles.....	66
Figure 10: Evolution du Cl dans les sols des parcelles.....	67
Figure 11: Evolution du SO ₄ ⁻² dans les sols des parcelles	67
Figure 12: Evolution du ca ⁺² dans les sols des parcelles	68
Figure 13: Evolution du Na ⁺ dans les sols des parcelles	69
Figure 14: Evolution du K ⁺ dans les sols des parcelles	69

Liste des tableaux

Tableau I: Données climatiques de la région d'Ouargla (moyennes enregistrées sur une période de dix ans de 2009 à 2018).	40
Tableau II: Résultats d'analyses des eaux usées traitées dans la station de Sidi Khouiled. (STEP sidi Khouiled 2019).....	51
Tableau III: Résultats des analyses physique et chimique du sol de profil	60
Tableau IV: résultats d'analyse granulométrique du sol des parcelles.....	63
Tableau V: résultats de suivi de la culture	71

Liste des photos

Photo N° 1: Situation géographique de la région de sidi Khouiled (Maps.google, 2019).	45
Photo N° 2: station d'étude (les parcelles agricoles) (Google Earth., 2019).	45
Photo N° 3: Le dégrilleur.....	47
Photo N° 4: Le déssableur	47
Photo N° 5: Lagune aéré.....	48
Photo N° 6:Aérateur.....	48
Photo N° 7: la sortie des eaux épurées.....	49
Photo N° 8: Bassin de finition	49
Photo N° 9:Les parcelles expérimentales avant la mise on culture	50
Photo N° 10: Les parcelles mises en culture et irriguées.....	50
Photo N° 11: Une tarière.....	53
Photo N° 12:Un vibreur	54
Photo N° 13:Dosage de matière organique.....	55
Photo N° 14: Dosage de chlorures.....	55
Photo N° 15: dosage de sulfate	55
Photo N° 16: dosage carbonate et bicarbonate	56
Photo N° 17:Spectrophotomètre à flamme.	56
Photo N° 18: pH-mètre	57
Photo N° 19: Conductimètre.....	57
Photo N° 20: Dosage de Calcaire totale.....	58

Sommaire

Liste des abréviations.....	III
Liste des figures.....	V
Liste des tableaux.....	V
Liste des photos.....	VI
Sommaire.....	VII
Introduction.....	1
Chapitre I : Les eaux usées.....	5
1.1. Définition des eaux usées.....	5
1.2. Origine des eaux usées.....	5
1.2.1. Les eaux usées domestiques.....	5
1.2.2. Les eaux usées industrielles.....	5
1.2.3. Eaux de pluie.....	6
1.2.4. Eaux agricoles.....	6
1.3. Composition.....	6
1.4. Voies d'élimination des eaux usées épurées:.....	7
1.4.1. Rejet des eaux usées épurées dans le milieu naturel.....	7
1.4.1.1 Impacts de rejet des eaux usées épurées sur les milieux naturels.....	8
1.5. La réutilisation des eaux usées traitées.....	8
1.5.1. Modes de Réutilisation des eaux usées épuré.....	9
1.5.2. Les différents types de Réutilisation des eaux usées épurées.....	9
1.5.3. Impacts de la réutilisation des eaux usées épurées.....	11
1.5.3.1. Avantages environnementaux.....	11
1.5.3.2 Impacts négatifs et risques de la réutilisation des eaux usées épurées.....	12
1.5.4. Réutilisation des eaux usées épurées en Algérie.....	14
1.5.4.1. Situation actuelle des ressources en eau.....	14
1.5.4.2. Situation actuelle de la réutilisation des eaux usées.....	14
1.5.4.3. La réutilisation des eaux usées traités en agriculture.....	15
Chapitre II : Généralité sur le sol.....	17
2.1. Caractéristiques générales.....	17
2.1.1. Granulométrie du sol.....	17
2.1.2. La texture du sol.....	17
2.1.3. La structure.....	17

2.1.4. Tenure en matières organiques	18
2.1.5. Les sels peu solubles.....	18
2.2. Caractéristiques physico-chimiques	19
2.2.1. Le pH	19
2.2.2. La conductivité électrique.....	19
2.2.3. La capacité d'échange cationique (CEC).....	20
2.2.4. Les sels solubles.....	20
Chapitre III : Généralité sur l'orge et l'irrigation.....	23
3.1. Généralités sur la culture d'orge.....	23
3.1.1. Caractéristiques botaniques	23
3.1.1.1. Systématique.....	23
3.1.2. Morphologie.....	23
3.1.3. Système racinaire.....	24
3.1.4. La tige	24
3.1.5. Les feuilles.....	24
3.1.6. Inflorescence.....	24
3.1.7. Le grain.....	24
3.2. Exigences de la culture	25
3.2.1. Exigences climatiques.....	25
3.2.2. Les exigences édaphiques.....	25
3.2.3. Exigences hydriques	25
3.2.4. Les exigences culturales	25
3.3. Le cycle de développement de la culture d'orge.....	26
3.3.1. Période végétative.....	26
3.3.1.1 Germination	26
3.3.1.2 Levée.....	26
3.3.1.2 Tallage	26
3.3.2 Période reproductive	27
3.3.2.1 Phase montaison	27
3.3.2.2 Phase Gonflement.....	27
3.3.2.3. Phase d'épiaison	27
3.3.2.4. Phase fécondation – floraison.....	27
3.3.2.5. Maturation des grains.....	27
3.4. Les composantes déterminantes du rendement.....	27
3.4.1. Le nombre d'épi par m ²	27

3.4.2. Le nombre de grain par épi	28
3.4.3. Poids de mille grains	28
4. Généralité sur L'irrigation	28
4.1. Définition	28
4.2. Différentes techniques d'arrosage	28
4.2.1. L'irrigation gravitaire	29
4.2.2. L'irrigation par aspersion.....	29
4.2.3. L'irrigation goutte à goutte	30
4.3. Les avantages et les inconvénients de l'irrigation de surface.....	30
4.3.1. Les avantages	30
4.3.2. Les inconvénients	30
4.4. La fréquence d'irrigation	31
4.5. La Dose d'irrigation	31
Conclusion	31
Chapitre I : Matériel d'étude.....	34
1.1. Présentation de la région d'étude.....	34
1.1.1. Situation géographique	34
1.1.2. Cadre Géologique	35
1.1.3. Cadre Hydrogéologie.....	36
1.1.3.1. Nappe phréatique	36
1.1.3.2. Nappe du Complexe Terminal.....	36
1.1.3.3. Nappe du Continental Intercalaire	37
1.1.4. Cadre Géomorphologique.....	38
1.1.4.1. Plateau de la région.....	38
1.1.4.2. Les glaciers	38
1.1.4.3. Chott et Sebkha.....	38
1.1.4.4. Dunes de sable	38
1.1.5. Cadre Hydrographiques	38
1.1.5.1. Oued M'ya	39
1.1.5.2. Oued N'sa et Oued M'Zâb.....	39
1.1.6. Cadre Pédologique	39
1.1.7 Contexte climatique	39
1.2. Station d'étude	43
1.2.1. Présentation de la station d'étude.....	43
1.3. Le réseau d'assainissement de la ville de Sidi Khouiled	46

1.4. La filière de traitement.....	46
1.4.1. Prétraitements	46
1.4.2. Traitement secondaire.....	48
1.4.3. Lits de séchage.....	49
1.5. Matériels	49
1.5.1 Le Site expérimental	49
1.6. La Culture	50
1.7. L'irrigation.....	50
Chapitre II : Méthode d'étude.....	53
2.1. Méthode de prélèvement (échantillonnage).....	53
2.1.1 Matériels utilisé sur le terrain	53
2.2.2. Méthodes d'analyses des sols	54
Troisième partie : Résultats et discussion.....	60
3.1. Etude du sol	60
3.1.1. Résultats analytiques.....	60
3.1.1.1. Résultat des analyses physiques et chimiques du sol des parcelles.....	60
3.1.1.2. Etude des caractéristiques physico-chimiques du sol	61
3.1.2. Etude des caractéristiques physiques du sol	63
3.1.3. Etude Les sels solubles dans le sol	66
3.2. Suivi du la culture d'orge.....	70
3.2.1. Caractères morphologiques.....	70
3.2.2. Les composantes des rendements	71
Conclusion	73
Références bibliographiques.....	76
Annexes	

INTRODUCTION

Introduction

L'eau est une ressource vitale et l'un des principaux facteurs de production agricole dans les régions sahariennes. Elle est une ressource naturelle très limitée dans les régions arides et semi-arides (TAMRABET, 2011). Elle est également indispensable pour les activités industrielles, touristiques et environnementales.

La croissance démographique et le développement économique exercent une pression sans précédent sur les ressources en eau, renouvelables mais limitées, notamment dans les régions arides (FAO, 2007).

La réutilisation des eaux usées (REU) consiste en l'utilisation des eaux usées traitées dans un objectif de valorisation (usage bénéfique). Les projets de réutilisation des eaux usées traitées (REUT) participent à la gestion intégrée des ressources en eau et à la préservation de l'environnement. Ils sont particulièrement stratégiques dans les pays arides et semi-arides de la région méditerranéenne où la pression sur les ressources en eau est forte et qui connaissent des situations de concurrence entre les différents usages de l'eau (CONDOM, et al 2012).

La situation en Algérie se caractérise par une demande en eau croissante, alors que les ressources hydriques se raréfient d'une manière permanente pour l'agriculture. En revanche, la production des eaux usées s'accroît, et leur réutilisation se présente alors comme une première réponse à cette situation de pénurie d'eau pour l'irrigation (ZELLA, 1991).

L'Algérie rejette chaque année 600 millions de m³ d'eaux usées qui sont non seulement perdues mais qui accentuent la dégradation de l'environnement déjà bien fragile. En revanche, à l'instar d'un grand nombre de pays du bassin méditerranéen, elle accuse un déficit hydrique très inquiétant et se situe parmi les pays les plus pauvres en matière de potentialités hydriques, qui sont en dessous du seuil théorique de rareté fixé par la banque mondiale à 1000 m³ par habitant et par an. Cette disponibilité décroît de 1500 m³ en 1962 à 500 m³ en 2009, et ne sera plus que de 430 m³ en 2020 (OUANOUDI et al. 2009).

Parmi les domaines de réutilisation possible des eaux usées épurées, l'irrigation constitue le secteur le plus intéressant. En fait, l'agriculture consomme plus 70 % des ressources en eau notamment dans les pays en développement tels que les pays arabes (HAMOUDA, 2004).

Ces eaux procurent à l'agriculture une ressource précieuse et renouvelable et libèrent un volume supplémentaire d'eau de bonne qualité pour des utilisations prioritaires. Elles constituent en outre, une alternative aux rejets dans les milieux récepteurs qui peuvent

présenter des capacités d'absorption limitées (PAPAIACOVOU, 2001).

La dégradation de la qualité des sols par l'irrigation constitue un danger sérieux pour la durabilité de ce système d'exploitation des terres. Il est bien connu que la mise en valeur agricole sous irrigation dans les zones semi-arides et arides conduit le plus souvent à la dégradation de la qualité des sols (BELAID, 2010).

L'étude que nous présentons est une contribution à l'évaluation de l'impact de l'irrigation par les EUT au niveau des parcelles irriguées de la région de sidi khouiled. L'objectif de travail c'est évaluer de l'impact des eaux usées épurées sur certaines propriétés physico-chimiques du sol.

Le travail est scindée en trois parties, La première partie présente un aperçu bibliographique sur les eaux usées et leur réutilisation et des généralités sur les propriétés physico-chimiques des sols et comporte aussi des généralités sur la culture d'orge et l'irrigation, la seconde partie présente les caractéristiques générales de la région et du site d'étude, puis l'étude expérimentale suivie, de l'indication des différentes approches adoptées et des protocoles d'analyses utilisés. Les résultats des différentes analyses des sols sont présentés dans la troisième partie, ainsi que leurs interprétations, accompagnées d'une conclusion.

PREMIÈRE PARTIE

SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I

GÉNÉRALITÉS SUR LES EAUX USÉES

Chapitre I : Les eaux usées

L'eau est le dissolvant universel, elle est utilisée et ensuite rejetée, contenant souvent des polluants en suspension, flottants et dissous. Suite à la croissance et l'expansion des secteurs industriels, l'assimilation de ces polluants par des processus naturels d'épuration dans les rivières et les lacs ne peut pas suffire pour éviter l'accroissement de la pollution. La qualité de l'eau constitue donc aujourd'hui un enjeu Environnemental primordial (RODRIGEZ-GARCIA., 2004).

1.1. Définition des eaux usées

Les eaux usées, ou les eaux résiduaires, constituent l'ensemble des déchets liquides provenant de l'activité humaine, industrielle et agricole. Les eaux usées sont généralement chargées de débris divers de matières minérales dissoutes et produits minéraux et organiques en suspension (THOMAS, 1995 in BOUKHRIIS, 2012; BOUZIANI 2000; DER HOEK, 2007).

1.2. Origine des eaux usées

1.2.1. Les eaux usées domestiques

Les eaux usées domestiques comprennent les eaux ménagères (eaux de toilette, de lessive, de cuisine) et les eaux vannes (urines et matières fécales), dans le système dit « tout-à-l'égout » (BAUMONT et al, 2004).

1.2.2. Les eaux usées industrielles

Leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre. En plus des matières organiques azotées ou phosphorées, elles peuvent aussi contenir des produits toxiques des solvants, des métaux lourds, des micropolluants organiques, des hydrocarbures...ect.

Avant d'être rejetées dans les réseaux de collecte, les eaux usées industrielles doivent faire l'objet d'un traitement. Elles ne sont mélangées aux eaux domestiques que lorsqu'elles ne présentent plus de danger pour les réseaux de collecte et ne perturbent pas le fonctionnement des stations d'épurations. (METAHRI, 2012).

1.2.3. Eaux de pluie

Ce sont des eaux de ruissellement qui se forment après une précipitation. Elles peuvent être particulièrement polluées, surtout en début de pluie, par deux mécanismes :

- ❖ Le lessivage des sols et des surfaces imperméabilisées: Les déchets solides ou liquides déposés, par temps sec, sur ces surfaces, sont entraînés dans le réseau d'assainissement par les premières précipitations qui se produisent;
- ❖ La remise en suspension des dépôts des collecteurs: Par temps sec, l'écoulement des eaux usées dans les collecteurs du réseau est lent, ce qui favorise le dépôt des matières décantables. Lors d'une précipitation, le flux d'eau, le plus important permet la remise en suspension de ces dépôts (RODRIGEZ-GRACIA, 2004).

1.2.4. Eaux 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 chargés d'engrais nitrés 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 ou des retenues. (METAHRI, 2012).

1.3. Composition

Les composés que l'on retrouve dans les eaux usées sont très nombreux et variés en fonction de leur origine (industrielle, domestique, agricole). Elles peuvent contenir de nombreuses substances, sous formes solides ou dissoutes, ainsi que de nombreux microorganismes. En fonction de leurs caractéristiques physiques, chimiques, biologiques et du danger sanitaire qu'elles représentent, les substances contenues dans les eaux usées peuvent être classées en quatre groupes:

- ✓ **Les microorganismes:** Les eaux usées contiennent tous les microorganismes excrétés avec les matières fécales. La microflore 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 (BELAID, 2010).

- ✓ **Les matières en suspension:** Les matières en suspension peuvent être d'origine minérale (sables, limons, argiles, ...) ou organique (produits de la décomposition des matières végétales ou animales, acides humiques ou fulviques par exemple). A ces composés s'ajoutent les micro-organismes, tels que bactéries, planctons, algues et virus (DEGREMONT, 2005).

Les matières colloïdales (moins de 1 micron) sont des MES de même origine que les précédentes, mais de plus petite taille, dont la décantation est excessivement lente. Elles sont génératrices de turbidité et de couleur (DEGREMONT, 2005).

- ✓ **Les éléments traces minéraux ou organiques (micropolluants) :** Le terme micropolluant désigne un ensemble de substances qui en raison de leur toxicité, de leur persistance et de leur bioaccumulation sont de nature à engendrer des nuisances, même lorsqu'elles sont rejetées en très faibles quantités (LARKEM et BACEL, 2005).

Les principaux micropolluants sont :

- ❖ Certains métaux lourds et métalloïdes (Cd, Pb, Cr, Cu ...Hg);
- ❖ Composés phénoliques, organohalogéniques, organophosphorés et hydrocarbures aromatiques polycycliques (MIZI, 2006).
- ✓ **Les substances nutritives :** 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. Ces éléments se trouvent en quantités appréciables, mais en proportions très variables, que ce soit dans les eaux usées épurées ou brutes (BELAID, 2011).

1.4. Voies d'élimination des eaux usées épurées:

Après leur épuration, les eaux usées épurées gagnent une des deux destinations : soit elles vont être rejetées dans le milieu naturel ou bien elles vont être réutilisées dans différents domaines (agricole, industriel, municipal...etc.).

1.4.1. Rejet des eaux usées épurées dans le milieu naturel

Dans le cas de rejet, les eaux usées épurées sont déversées dans le milieu naturel (cours d'eau, plans d'eau, chotts et sebkhas...etc.).

En Algérie les eaux usées épurées sont rejetées soit au niveau de la mer, les chotts et les sebkhas ou les barrages par le biais des cours d'eau (annexe 01,02).

1.4.1.1 Impacts de rejet des eaux usées épurées sur les milieux naturels

a) Impacts positifs

Le rejet des eaux usées épurées peut avoir des impacts positifs que nous citons, entre autres :

- ✓ l'alimentation des zones humides;
- ✓ le soutien d'étiage des cours d'eau (BRL, 2011).
- ✓ la création de zones humides surtout en régions arides et semi-arides.

b) Impacts négatifs

Les rejets des eaux usées même épurées dans certains milieux sensibles peuvent causer des problèmes environnementaux graves, parmi lesquels, nous citons :

- ✓ l'eutrophisation des écosystèmes aquatiques causée par l'excès de l'azote et du phosphore.
- ✓ l'augmentation de la turbidité des eaux réceptrices (ADLER, 2005).
- ✓ la contamination des zones destinées à la baignade par des microorganismes pathogènes ou par des substances chimiques (IFREMER, 2002).
- ✓ la pollution des sols par l'accumulation des éléments traces métalliques à long terme
- ✓ la salinisation ou la sodisation des sols si l'eau usée épurée rejetée est salée ou présente un pouvoir alcalinisant élevé.
- ✓ la génération des certaines nuisances si les sols récepteurs présentent un pouvoir faible à épurer les matières organiques.

1.5. La réutilisation des eaux usées traitées

La réutilisation est une action volontaire et planifiée qui vise la production des quantités complémentaires en eau pour différents usages afin de combler des déficits hydriques. C'est un enjeu politique et socio-économique pour le développement futur des services d'eau potable et d'assainissement à l'échelle mondiale. Elle est adoptée de plus en plus par son avantage majeur d'assurer une ressource alternative à moindre coût permettant de

limiter les pénuries d'eau, de mieux préserver les ressources naturelles et de contribuer à la gestion intégrée de l'eau (CAHIER DU PLAN BLEU, Mars 2012).

1.5.1. Modes de Réutilisation des eaux usées épuré

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

1.5.2. Les différents types de Réutilisation des eaux usées épurées

✓ Usage agricole

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

Les eaux usées contiennent des éléments fertilisants (azote, phosphore, 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.

✓ Usage industrielle

La réutilisation industrielle des eaux usées et le recyclage interne sont désormais une réalité technique et économique dans le monde. Pour certains pays et types d'industries, l'eau recyclée fournit 85 % des besoins globaux en eau (OMS, 1989).

Les plus grands secteurs consommateurs de l'eau sont les centrales thermiques et nucléaires (eau de refroidissement) et les papeteries. La qualité de l'eau réutilisée est réglementée et dépend du type d'application ou de production industrielle (USEPA, 2004).

✓ Usage urbain et périurbain

Les usages urbains et périurbains des eaux usées correctement traitées se développent rapidement et deviennent un élément fondamental de la politique de gestion intégrée de l'eau dans les grandes agglomérations (RENAUD et al, 1997).

Les bénéfices obtenus sont importants. Il faut noter en premier, la réduction de la demande en eau potable qui peut atteindre 10-15 %, voire 40 % dans les zones résidentielles avec beaucoup d'espaces verts. Les usages les plus courants sont l'irrigation d'espaces verts (parcs, golfs, terrains sportifs), l'aménagement paysager (cascades, fontaines, plans d'eau), le lavage des rues ou des véhicules et la protection contre l'incendie. Une autre application importante est le recyclage en immeuble avec, par exemple l'utilisation de l'eau ménagère traitée pour le lavage des sanitaires. Les normes qui régissent la qualité des eaux usées destinées à de tels usages sont très sévères et voisines à celles en vigueur pour l'eau potable (WRIGHT, 1995).

✓ Usage en aquaculture

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

✓ La recharge de la nappe

Selon l'agence Française de développement (2011), la principale motivation concernant la recharge de la nappe est la dégradation de sa qualité environnementale et/ou la diminution de sa réserve en eau. Ce mode de réutilisation a lieu essentiellement dans des zones arides qui doivent faire face à des problèmes d'assèchement de nappes, ou dans des zones côtières où les nappes sont envahies par l'eau de mer. On poursuit plusieurs objectifs à savoir :

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

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

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

1.5.3. Impacts de la réutilisation des eaux usées épurées

1.5.3.1. Avantages environnementaux

Du point de vue environnemental, la récupération et la réutilisation de l'eau usée urbaine traitée pour l'irrigation constituent probablement l'approche d'élimination la plus sûre et la plus réaliste (FAO, 2003).

De même, pour l'OMS (1989), qui juge que du point de vue de la protection de l'environnement, la réutilisation des eaux usées est souvent la meilleure méthode d'évacuation.

Également, selon la FAO (2003), lorsque l'eau usée est utilisée correctement à des fins agricoles, plutôt que toute autre utilisation, l'environnement peut être amélioré. Voici quelques avantages environnementaux :

- ✓ La suppression de rejet en eaux de surface, prévient l'éventualité de situations esthétiques désagréables, de conditions anaérobies dans les cours d'eau et l'eutrophisation des lacs et réservoirs.
- ✓ La sauvegarde des ressources en eaux souterraines dans les zones de surexploitation de ces ressources par l'agriculture. Cette surexploitation pose le problème de l'épuisement et de l'intrusion du biseau salin ;
- ✓ La possibilité de conservation des sols et de leur amélioration par apport d'humus sur les terres agricoles et de prévention de l'érosion (FAO, 2003).
- ✓

1.5.3.2 Impacts négatifs et risques de la réutilisation des eaux usées épurées

a) Risques sanitaires

Le lien entre eaux usées et risques sanitaires est essentiel. Il porte sur les contaminations que peuvent engendrer, soit le contact direct avec des eaux usées, soit l'ingestion de produits alimentaires ayant été en contact avec des EU ; ces risques de contamination sont d'ordre microbiologique ou chimique (BRL, 2011).

Du point de vue microbiologie, des maladies peuvent être causées par les bactéries pathogènes, les virus, les protozoaires ou par les helminthes contenus dans les eaux usées épurées (OMS, 1989).

D'autre part, l'irrigation à partir des eaux usées épurées, peut apporter des éléments toxiques 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 (BELAID, 2010).

Ces substances toxiques peuvent, à travers les produits irrigués avec des eaux usées, entrer dans la chaîne alimentaire. Cependant, le risque est extrêmement petit lors d'un usage des eaux usées domestiques (BENABDALLAH et NABEURT, 2003).

b) Risque environnemental

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

✓ Effets sur les eaux souterraines

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

✓ **Effets sur les eaux de surface**

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

✓ **Effets sur les cultures**

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

✓ **Effet sur le sol**

❖ **La salinisation du sol**

La salinisation du sol par une eau d'irrigation est une caractéristique physico-chimique produit par l'irrigation à cause des effets combinés de plusieurs facteurs (climat, caractéristiques du sol, topographie du terrain, techniques culturales, conduite des irrigations). En effet, chaque facteur va contribuer, selon son état, à l'accentuation ou à l'atténuation de la salinisation du sol (BELAID, 2010).

❖ **Qualité d'eau d'irrigation**

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

❖ **Mode d'irrigation**

Lorsque l'eau est de mauvaise qualité, le mode, la dose et la fréquence d'irrigation ont une influence directe sur le processus de salinisation du sol. Dans ces conditions, une dose supérieure aux besoins du sol est favorable à une lixiviation (lessivage) des sels. Ce qui permet de maintenir la salinité du sol à un niveau raisonnable surtout si le drainage interne et externe est convenable (BELAID, 2010).

❖ Nature de sol

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

Les sols à texture argileuse sont imperméables ou moyennement perméables et sont les plus vulnérables à la salinisation (MIYAMOTO et CHACON, 2006).

❖ Accumulation de métaux dans le sol

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

L'accumulation d'éléments métalliques (EM) suite à l'irrigation avec des eaux usées brutes est souvent constatée. Ainsi on a constaté une augmentation des teneurs en EM dans les horizons de surface des sols irrigués par des eaux usées brutes durant des périodes de temps plus ou moins importantes. Les teneurs trouvées dans les horizons de surface sont largement supérieures à celles trouvées dans les horizons de Subsurface (MAPENDA et al., 2005 in BALAID, 2010).

1.5.4. Réutilisation des eaux usées épurées en Algérie

1.5.4.1. Situation actuelle des ressources en eau

Les ressources en eau en Algérie sont limitées, vulnérables et inégalement réparties. Pour une population de 35 millions d'habitants, les ressources renouvelables en eau sont de 550 m³/an par habitant. Cette moyenne est très faible comparée à la moyenne mondiale qui est de 7,500 m³. Le seuil de la rareté de l'eau est de 1000 m³/an/habitant, de ce fait, l'Algérie est un pays où l'eau est rare (TAMRABET et al., 2002).

1.5.4.2. Situation actuelle de la réutilisation des eaux usées

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

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

Le réseau national d'assainissement totalise un linéaire de 27000 kilomètres. Le taux de recouvrement est, hors population éparsée, de 85%. Le volume global d'eaux usées rejetées annuellement est évalué à près de 600 millions de m³, dont 550 pour les seules agglomérations du nord. Ce chiffre passerait à près de 1150 millions de m³ à l'horizon 2020 (MRE, 2012)..

1.5.4.3. La réutilisation des eaux usées traitées en agriculture

L'utilisation des eaux usées domestiques pour l'irrigation des terres agricoles est une pratique ancienne dans nombre de pays du monde (SCOTT *et al*, 2007 ; CONDOM *et al*, 2012).

Elle est connue depuis la fin du 19^{ème} siècle (FAO., 2003).

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).

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

Les modalités de mise en œuvre pour l'usage des REUE sont multiples, il existe des périmètres irrigués exclusivement avec des EUT, d'autres périmètres mixtes (ROTBARDT, 2011).

La réutilisation des eaux usées en agriculture présente un intérêt certain, des risques de réutilisation ainsi que des impacts positifs notamment négatifs sur les sols et les cultures (annexe 03, 04,05).

CHAPITRE II

GÉNÉRALITÉS SUR LE SOL

Chapitre II : Généralité sur le sol

Le sol est la couche superficielle meuble de la lithosphère terrestre, présentant une épaisseur variable de quelques centimètres à plusieurs mètres. Il est constitué par un mélange de matériaux minéraux et organiques, qui sert de support et milieu naturel pour la croissance des plantes (POTATO, 1965;LEGROS ,2007). Qui est dénommée couverture pédologique, il est la résultante au cours du temps de plusieurs facteurs génétiques :

- La roche-mère sur laquelle s'est développé
- Environnementaux tels que le climat, le relief et la végétation (DUCHAUFOR, 1984; BOULAINÉ ,1989).

2.1. Caractéristiques générales

2.1.1. Granulométrie du sol

L'analyse granulométrique a pour but de déterminer quantitativement la distribution des particules de sol par classes de diamètres. Le nombre et la grandeur de classes de diamètres dépendront de l'objectif suivi (ASTM, 1974) (annexe 06).

2.1.2. La texture du sol

La texture indique l'abondance relative dans le sol, de particules de dimensions variées : sable (50- 2000 μm), limon (2 - 50 μm) ou argile (< 2 μm).

La texture de sol a des effets sur la densité, sur la porosité, sur la circulation de l'eau et de l'air et sur la rétention de l'eau (BITTELLI et al, 1999; in GOBAT et al, 2010).

2.1.3. La structure

La structure c'est un état du sol qui varie avec le temps selon la texture mais aussi selon le taux d'humidité, l'état des colloïdes et la présence de matière organique,... (GOBAT et al, 1998).

Elle correspond au mode d'assemblage de ses particules. Lorsque celles-ci s'agglutinent en agrégats, elles sont à l'état flocculé et la structure est grumeleuse. Lorsqu'elles demeurent indépendantes les unes des autres, la structure est dite particulaire. Texture et structure commandent la porosité totale, ou pourcentage d'espace vide par unité de volume du

sol, et la circulation de l'eau de l'air et des gaz ; selon les cas, le sol sera bien aéré ou au contraire asphyxiant (BAISE, 2000).

2.1.4. Tenure en matières organiques

Les matières organiques sont le substrat énergétique des organismes hétérotrophes du sol (BALESDENT, 1996).

Ces sont des matières résiduelles carbonées produites par des êtres vivants, des végétaux, des animaux ou des micro-organismes (M.D.D.E.P, 2012). Elles constituent l'une des composantes essentielles de la fertilité des sols (CHRISTEN, 2008).

Ainsi, elles incluent tous les organismes vivants du sol, ainsi que les restes d'organismes morts, dans leurs divers degrés de décomposition (SOCO, 2009 ; GIVA, 2011).

La matière organique est un élément et produit majeur des processus biogéochimiques (LABANOWSKI, 2004). Elle est un indicateur général de la qualité du sol (D.A.T, 2001) (annexe 07).

2.1.5. Les sels peu solubles

✓ Teneur en gypse

Le gypse est un sel soluble (sulfate de calcium hydraté). Il constitue la forme la plus répandue du sulfate de calcium dans le sol (ESWARAN et al, 1981).

Le gypse est un élément très fréquent dans les sols salins et dans les formations des régions arides et semi-arides, il est soluble que le calcaire et le bicarbonate de calcium. Cependant, quant les particules de gypse sont présentes dans la couche superficielle, leur type, leur quantité, et leur degré de cristallisation à un impact profond sur les propriétés physiques et physico-chimiques du sol et sur la croissance des plantes (F.A.O, 1990).

Sa solubilité est non négligeable, sa densité est plus faible que celle des constituants minéraux habituels des sols (CLEMENT et PIELTAIN, 2003) (annexe 08).

✓ Teneur en carbonates de calcium

Le calcaire est une roche sédimentaire, composé majoritairement de carbonate de calcium CaCO_3 , mais aussi de carbonate de magnésium MgCO_3 . Le calcaire est facilement soluble dans l'eau. (BARMA, 2013).

Le calcaire joue un rôle essentiel dans la nutrition des plantes mais encore dans la pédogenèse, comme les différents éléments chimiques qui entrent dans la composition du sol. Les sols calcaires ne sont pas des sols salés, même si le carbonate de calcium est un sel comme un autre au plan chimique (LEGROS, 2007) (annexe 09).

2.2. Caractéristiques physico-chimiques

2.2.1. Le pH

Le pH, abréviation de "potentiel hydrogène" est l'acidité, la neutralité ou l'alcalinité d'une solution aqueuse peut s'exprimer par la concentration des ions hydrogène. De manière à faciliter cette expression, on utilise logarithme décimal de l'inverse de la concentration en ions H^+ (CLEMENT et PIELTAIN, 2003).

Dans les zones arides, la gamme relative aux sols s'étant d'un pH légèrement inférieur à 7 à un pH d'environ 9 (BUCKMAN et *al.* 1965 in BACI., 1982).

Le pH du sol est un indicateur des conditions physico-chimiques de la solution du sol. Il exerce un effet direct sur l'activité microbienne du sol ainsi que sur la biodisponibilité des nutriments, à travers des phénomènes de solubilisation et d'insolubilisations propres à chaque élément (ITAB, 2002).

En particulier, un pH acide peut bloquer la disponibilité d'éléments minéraux tels que le phosphore (BOYER, 1982) (annexe 10).

2.2.2. La conductivité électrique

La conductivité électrique d'une solution du sol permet d'obtenir une estimation de la teneur globale en sels dissous dans ce sol. Elle exprime approximativement les concentrations des solutés ionisables présents dans l'échantillon c'est-à-dire son degré de salinisation (CLEMENT et PIELTAIN, 2003).

En science du sol, la conductivité électrique (CE) est exprimée à une température de 25°C (annexe 11).

2.2.3. La capacité d'échange cationique (CEC)

La capacité d'échange cationique (CFC) est la capacité à fixer de façon réversible les cations échangeables (Li^+ , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Al^{3+}) (BAIZE, 2004).

Les cations sont liés aux feuillets d'argile par des forces de nature électrostatique et possèdent la propriété d'être échangeables. Ces cations échangeables se fixent à la surface des feuillets et assurent la liaison entre eux. L'intensité de ces liaisons dépend de la valence de ces cations, qui est probablement le facteur déterminant dans la capacité d'échange ou de remplacement des cations plus élevés qui peuvent remplacer facilement les cations de valeurs plus faibles (CALVET, 2003).

Par ordre de capacité de remplacement croissante, les ions se classent comme suit :



D'après cette série, le lithium est le plus facile à remplacer alors que l'aluminium est le plus difficile (CALVET, 2003).

2.2.4. Les sels solubles

Les sels solubles englobent une large gamme d'anions et de cations présents dans le sol soit sous forme cristallisée, soit sous forme dissoute dans la solution du sol, soit sous forme adsorbée sur la surface des colloïdes (DOUAIK, 2005).

Ils sont constitués principalement par le calcium, le magnésium, le sodium et le potassium pour les cations et par les chlorures, les sulfates, les carbonates et les bicarbonates et nitrates pour les anions (CHESWORTH, 2008).

Plusieurs processus géochimiques peuvent avoir lieu comme conséquence à l'action des sels solubles dans le sol. Le processus suivant lequel le sol s'enrichit en sels solubles est la salinisation (IPTRID, 2006).

L'autre processus qui est l'alcalinisation se produit lorsque le pH du sol augmente à des valeurs supérieures à 8,5 (USSSL, 1954).

Ce processus est souvent accompagné du processus de sodisation lorsque le sodium échangeable est l'élément majoritaire adsorbé sur le complexe colloïdal (IRD, 2008).

Le SAR donne des indications sur le degré d'alcalinisation du milieu. L'alcalinisation est basse si SAR <4, faible si SAR est compris entre 4 et 8, moyenne si $4 < \text{SAR} < 8$, forte si SAR est entre 12 et 18 et très élevés si SAR >18 (SEVANT et al.1966 in BOUTELLI, 2012).

CHAPITRE III

GÉNÉRALITÉS SUR L'ORGE ET L'IRRIGATION

Chapitre III : Généralité sur l'orge et l'irrigation

3.1. Généralités sur la culture d'orge

L'orge est une céréale à paille cultivée principalement pour son grain, classée au quatrième rang des céréales pour la production en grain après le blé, le maïs, et le riz (AIT RACHID, 1991).

L'orge est la céréale la plus rustique, elle présente une germination rapide et un système racinaire plus important que celui de blé (résistance à la sécheresse). Sa culture prédomine dans les régions arides et semi arides (CLEMENT-GRANDCOURT, 1971).

3.1.1. Caractéristiques botaniques

3.1.1.1. Systématique

L'orge appartient à la famille des graminées qui englobe environ 450 genres et 600 espèces (MISSAOUI, 1991).

Selon la nomenclature de ZUTIN et *al* (1980), l'orge cultivée appartient :

- Règne : Végétale
- Embranchement : Spermaphytes.
- Sous/Embranchement: Angiospermes
- Classe: Monocotylédones.
- Ordre: Glumales.
- Famille: Graminées.
- Sous/Famille: Poacées.
- Tribu: Hordées.
- Genre: Hordeum.
- Espèce: *Hordeum Vulgare L.*

3.1.2. Morphologie

L'orge se présente comme une plante herbacée annuelle à multiplication sexuée (BENAITI, 1989).

C'est une plante à feuille assez étroite de couleur verte claire, un épi de 6 rangs et d'un tallage herbacé important supérieur à celui du blé. Elle présente un chaume plus gros mais

faible et versant plus facilement par rapport au blé, le système racinaire fasciculé est plus superficiel que celui du blé (MOSSAB, 1991).

3.1.3. Système racinaire

L'orge a un système racinaire fasciculé dont la racine principale ressemble aux racines secondaires, ce système est plus superficiel que celui du blé et ne peut aller au delà d'un mètre vingt de profondeur. On estime que 61% du poids des racines se trouve dans les vingt cinq premiers centimètres du sol. (BENAITES, 1989).

3.1.4. La tige

La tige est creuse et formée d'entre-nœuds, séparées par des nœuds, zones méristématiques à partir desquelles s'allongent les entre-nœuds et se différencient les feuilles. Chaque nœud est le point d'attache d'une feuille. La hauteur de la tige varie selon les espèces, les variétés, et les conditions de culture. L'orge (*Hordeum vulgare*L.) s'étend entre 60 cm à 150 cm (SOUILAH, 2009).

3.1.5. Les feuilles

Les feuilles sont alternes, distiques non léguées à couleur verte claire (MOSSAB, 1991). Les feuilles sont longues, étroites et à nervures parallèles. Chaque feuille comprend deux parties : une portion inférieure enveloppant l'entre-nœud correspondant à la graine, et une portion supérieure, le limbe (SOLTNER, 1990).

3.1.6. Inflorescence

Le type d'inflorescence est un épi, constitué d'un ensemble d'unités appelées : épillets. Chaque épillet est une petite grappe de une à cinq fleurs, enveloppées chacune par deux glumelles (inférieures et supérieures). Les fleurs sont attachées sur le rachis (rameau partant de l'axe principal de l'inflorescence) (BOULAL et al. 2007).

3.1.7. Le grain

Les grains sont de formes différentes, en effet ceux qui sont placés à l'extérieur de chaque coté du rachis sont légèrement dissymétriques alors que le grain central est symétrique, ce caractère permet de reconnaître assez facilement une orge à six rangs d'une orge à deux rangs.

3.2. Exigences de la culture

Rapidité de croissance entraîne la nécessité pour celle-ci de bénéficier de favorables conditions édapho-climatiques.

3.2.1. Exigences climatiques

Le zéro de végétation de l'orge est voisin de 0°C. Il est plus sensible au froid que le blé, les dégâts foliaires apparaissent vers -8°C et le seuil thermique de mortalité varie entre -12 et -16°C. La somme de température exigée est de l'ordre de 1600 à 1700°C pour l'orge de printemps dont le cycle de développement est de 110-120 jours ; pour l'orge d'hiver, dont la durée du cycle est de 250 jours, celle-ci est de 1900 à 2000°C (MOSSAB, 1991).

3.2.2. Les exigences édaphiques

L'orge donne évidemment les meilleurs résultats dans les meilleures terres qui sont riches en humus et en éléments nutritifs (CLEMENT et PRATS J, 1971).

Les moins bons résultats sont obtenus dans les terres très argileuses, mal drainées, les terres très calcaires et les terres trop sableuses, acides (SOLTNER, 1990).

3.2.3. Exigences hydriques

Les exigences en eau sont légèrement plus réduites et surtout importantes au début de la Végétation qu'elle devient ensuite au contraire relativement peu sensible à la sécheresse. Les besoins en eau d'une culture d'orge produisant 40 quintaux de grain et 30.5 tonnes de pailles par hectare sont de l'ordre de 450 à 500 mm/cycle SIMON et al (1989).

3.2.4. Les exigences culturales

- a) **Préparation du Sol** : L'orge nécessite un sol bien préparé et ameubli sur une profondeur de 20 à 25 cm, une structure fine en surface pour permettre un semis régulier et peu profond (ANONYME, 1993).
- b) **semis** : Le semis peut commencer dès la fin d'octobre avec un écartement entreligne de 18 à 20 cm et une profondeur de 3 à 4 cm. La dose de semis varie entre 140 à 160 Kg/ha en fonction des paramètres climatiques, la grosseur des grains, la faculté germinative et la fertilité du sol (TOUTAIN, 1977).

- c) **la fertilisation** : La fertilisation azoto-phosphorique est très importante dans les régions sahariennes face à des sols squelettiques, elle sera fonction des potentialités de la variété, le fractionnement de l'azote est une nécessité du fait de la grande mobilité de cet élément. Les besoins en potassium sont peu importants, on estime que l'eau d'irrigation et le sol sont suffisamment pourvus. L'orge tolère très bien le calcium et se développe normalement en sols calcaires (MISSAOUI, 1991).

3.3. Le cycle de développement de la culture d'orge

Le cycle biologique de l'orge est annuel constitué d'une série de stades qui peuvent être divisés en deux périodes distinctes :

- La période végétative durant laquelle la plante développe des feuilles et de racines.
- la période reproductive durant laquelle se forment l'épi et les grains.

3.3.1. Période végétative

Période débute par la germination et se termine par le levé au stade tallage.

3.3.1.1 Germination

La germination de la graine dépend de trois facteurs importants, l'eau, l'aération et la température (optimum de la germination se situe entre 15 et 25 °C, au dessous de 0 °C il n'y a pas de germination) (SOLTNER, 1980).

3.3.1.2 Levée

La date de levée est définie par l'apparition de la première feuille qui traverse la coléoptile, graine rigide et protectrice enveloppant la première feuille (GATE, 1997).

3.3.1.2 Tallage

Le tallage est caractérisé par l'entrée en croissance de bourgeons différenciés de chacune des premières feuilles pour donner de nouvelles pousses ou tige secondaires (les talles). chaque talle primaire donne des talles secondaires qui apparaissent alors à partir de la base du plateau de tallage. Le tallage dépend la variété utilisée, du climat, de l'alimentation azotée et de la profondeur de semis (DJELLOUT, 2001).

3.3.2 Période reproductive

C'est une période où l'orge acquiert une certaine rusticité, elle comprend plusieurs phases:

3.3.2.1 Phase montaison

Durant cette phase l'allongement des talles s'accélère et les talles qui n'ont pas monté régressent et finissent par mourir. Au cours de cette période de production, on distingue les phases correspondantes à la différenciation des ébauches de l'inflorescence.

3.3.2.2 Phase Gonflement

La gaine de la dernière feuille se trouve gonflée par l'épi encore dans la tige. Durant ce stade, la méiose pollinique commence et les grains de pollen s'élaborent.

3.3.2.3. Phase d'épiaison

Cette phase correspond à l'apparition de l'épi à partir de la graine de la feuille drapeau ou de la dernière feuille quand 50% des épis sont sortis. La vitesse de croissance de la plante est élevée et on estime que la plante élabore les trois quarts de sa matière sèche totale entre le tallage et la floraison. La durée de la phase d'épiaison est en moyenne de 32 jours (PRATS et al, 1971).

3.3.2.4. Phase fécondation – floraison

Cette phase se caractérise par la formation des organes floraux. La floraison correspond à la sortie des étamines, lorsque les anthères sortent des glumelles, cette phase correspond au début de la formation des graines.

3.3.2.5. Maturation des grains

C'est la dernière phase du cycle de développement l'amidon est accumulé dans les grains qui perdent leur humidité et passent du stade rayable à l'ongle (20% d'humidité) au stade cassant sous la dent (15% à 16%) ce qui rend le grain mûr pour la récolte (SOLTNER, 1988).

3.4. Les composantes déterminantes du rendement

3.4.1. Le nombre d'épi par m²

Les recherches ont démontré qu'il n'existe pas de proportionnalité entre la densité de peuplement et le nombre d'épis par m² puisque le coefficient de tallage diminue quand la densité de peuplement augmente.

Le nombre d'épis est surtout influencé par la dose et la date de semis, les conditions édapho-climatiques joueront un rôle déterminant sur ce paramètre.

3.4.2. Le nombre de grain par épi

Le nombre de grain par épi est fonction d'épillets par épi et du nombre de grain par épillet, l'augmentation de la densité de semis influence négativement ce facteur.

3.4.3. Poids de mille grains

C'est la dernière composante formée, elle est dépendante du nombre de grains formés. Le poids de mille grains varie essentiellement en fonction des conditions culturales, soit les conditions climatiques (chaleur, humidité) durant la maturation et la conduite de la nutrition azotée jusqu'à la maturation.

4. Généralité sur L'irrigation

L'irrigation joue un rôle essentiel dans l'accroissement et la stabilité des rendements des cultures. Dans les régions arides et semi-arides, l'irrigation est essentielle pour une agriculture économiquement viable, alors que dans des régions semi-humides l'irrigation est souvent apportée sur certaines cultures en complément de la pluviométrie (FAO, 2003).

4.1. Définition

L'irrigation est l'opération consistant à apporter artificiellement de l'eau à des végétaux cultivés pour en augmenter la production et permettre leur développement normal en cas de déficit d'eau induit par un déficit pluviométrique, un drainage excessif ou une baisse de nappe, en particulier dans les zones arides et semi-arides (EL-ASSLOUJ et al,2007).

4.2. Différentes techniques d'arrosage

Les techniques d'arrosages peuvent être rangées en trois (03) classes soit (SAIYOURI, 2012):

- ❖ L'irrigation gravitaire
- ❖ L'irrigation par aspersion
- ❖ L'irrigation localisée ou micro irrigation.

4.2.1. L'irrigation gravitaire

C'est le système d'irrigation où l'eau s'écoule par gravité dans le sol, du point haut vers le bas. Le mode d'irrigation gravitaire comprend : une prise d'eau, une tête morte ou canal d'aménée, un ou plusieurs canaux secondaires qui repartissent l'eau entre les divers secteurs d'irrigation (MIDEKOR et WELLENS, 2009).

✓ Irrigation par planche (par ruissèlement)

Consiste à faire couler une mince couche d'eau sur un sol incliné de 0,2 à 3%. Le débit à déverser est fonction de la pente, de la largeur et de la longueur de la planche. Cette méthode est de loin la plus difficile car il faut ajuster le débit d'irrigation de chaque planche avec toutes les autres variables. (AZOUGGAGH, 2001).

✓ L'irrigation par submersion

Elle se pratique en recouvrant le sol avec une couche d'eau épaisse qui séjournera le temps nécessaire pour qu'elle s'infilte à la profondeur utile. Cette méthode reste valable dans le cas des terrains perméables et de pente inférieure à 2 (AZOUGGAGH, 2001).

✓ L'irrigation par infiltration

L'eau coule dans les fossés, rigoles ou raies et s'infilte latéralement dans le sol jusqu'aux racines des plantes.

4.2.2. L'irrigation par aspersion

La technique d'irrigation par aspersion est conçue sur le modèle de la pluie naturelle. L'eau est refoulée sous pression dans un réseau de conduites, ensuite elle est diffusée par des asperseurs rotatifs sous la forme d'une pluie artificielle. (FAO, 1990).

4.2.3. L'irrigation goutte à goutte

L'irrigation goutte à goutte consiste à amener l'eau sous pression dans un système de canalisations, généralement en PVC; cette eau est ensuite distribuée en gouttes au champ par un grand nombre de goutteurs répartis tout le long des rangées des plantations. La zone humidifiée du sol est celle située au voisinage immédiat des racines des plantes. Par conséquent, cette méthode d'irrigation a un haut degré d'efficacité de distribution d'eau. L'irrigation au goutte à goutte est aussi appelée micro-irrigation (FAO, 1990).

4.3. Les avantages et les inconvénients de l'irrigation de surface

4.3.1. Les avantages

- ✓ Coût d'investissement est relativement faible
- ✓ Besoin en énergie faible ou nul
- ✓ Technique éprouvée
- ✓ Insensibilité au vent
- ✓ Bonne adaptation à l'épandage d'eaux usées
- ✓ Possibilités d'utiliser les eaux salées (en pratiquant le lessivage de sol)
- ✓ Les végétaux ne sont pas mouillés, ce qui est favorable sur le plan phytosanitaire.

4.3.2. Les inconvénients

- ✓ Besoin important en main d'œuvre (sauf système moderne)
- ✓ Efficacité d'arrosage à la parcelle généralement faible sauf système sophistiqué avec recyclage des eaux de colature
- ✓ Inadaptation aux sols très filtrants
- ✓ Planage nécessaire à la parcelle
- ✓ Desserte de la parcelle en générale assurée par des canaux, qui viennent cloisonner et figer les parcelles. (cet inconvénient disparaît dans le cas des dessertes par canalisations enterrées à basse pression)
- ✓ Pertes d'eau dans les réseaux de canaux (dépendant à la présence ou l'absence de revêtement et la qualité de régulation de niveau et débit).

- ✓ Surface consommée par les canaux et rigoles.

4.4. La fréquence d'irrigation

La fréquence d'arrosage c'est la période entre deux irrigations, elle dépend de la technique d'irrigation, des caractéristiques physiques du sol et de la demande climatique. Elle peut aller de 1 à 2 jours pour le système goutte à goutte et le pivot et aller à 10 jours pour l'aspersion. (MEZGHICHE, 1990 cité par BORNI et SAAD, 2006).

4.5. La Dose d'irrigation

La dose d'irrigation est la quantité d'eau nécessaire pour assurer le déficit de l'humidité des plantes pendant la période de végétation dans la couche végétale du sol, pour garantir un rendement fixe dans les conditions de l'année de probabilité fixe. Elle est exprimée en m³/ha ou en mm. (1mm = 10m³ / ha) (in ABIBSI ,2011).

Conclusion

Jusqu'à présent l'irrigation reste le seul moyen d'augmenter les rendements et de les régulariser dans bien des régions du monde. En effet, selon les espèces et variétés cultivées, selon les terres, et selon les techniques utilisées, l'irrigation peut permettre d'obtenir de deux à cinq fois plus de production (et même dix en zone aride) (PLAUCHU, 2004).

DEUXIÈME PARTIE

MATÉRIEL ET MÉTHODES

CHAPITRE I

MATÉRIEL D'ÉTUDE

Chapitre I : Matériel d'étude

1.1. Présentation de la région d'étude

1.1.1. Situation géographique

La ville d'Ouargla est l'une des principales oasis du Sahara algérien, elle est située au Sud- Est de l'Algérie, à une distance de 850 Km de la capitale Alger. Elle couvre une superficie de 163.233Km²

Les coordonnées géographiques de la cuvette d'Ouargla sont comprises entre :

- ❖ Les longitudes 5°15' et 5°25' Est.
- ❖ La latitude 31°55' et 32°00' Nord (A.N.R.H, 2010).

Elle est limitée :

- ✓ Nord par les wilayas de Djelfa, Biskra et d'El-Oued
- ✓ Est par la Tunisie
- ✓ Sud par les wilayas de Tamanrasset et d'Illizi.
- ✓ Ouest par la wilaya de Ghardaïa (**ANDI, 2014**).

La ville d'Ouargla occupe le centre d'une cuvette endoréique dans la basse vallée d'Oued Mya (134 m d'altitude), appelée : Cuvette de Ouargla. Elle s'étend sur une longueur de 45 km dans la direction sud-nord, et une largeur de 2 à 5 km dans la direction ouest-est.

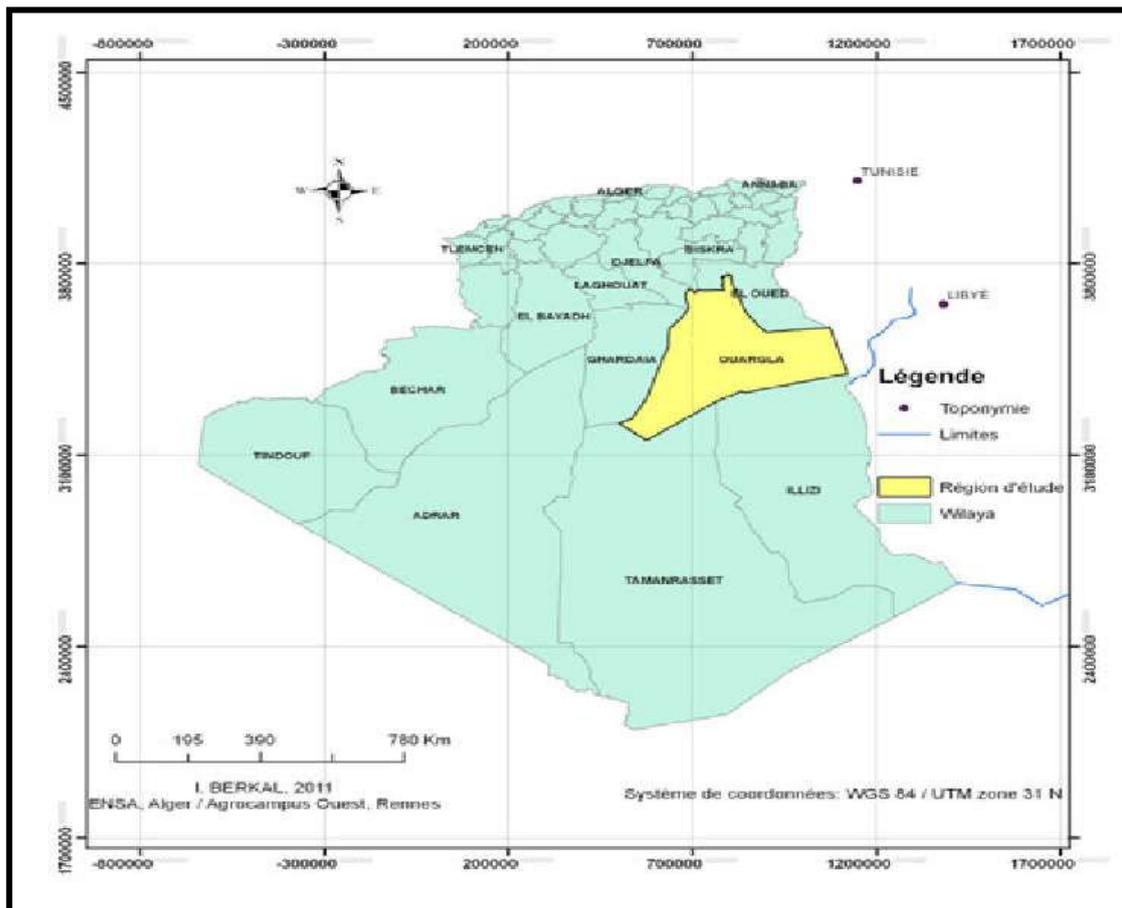


Figure 1: la situation géographique de wilaya d'Ouargla (IDDER et al, 2014)

1.1.2. Cadre Géologique

La vallée d'Ouargla est creusée dans les formations continentales du Mio-Pliocène. Il s'agit des sables rouges et de grès tendres à stratifications entrecroisées, avec nodules calcaires, entrecoupés de niveaux calcaires ou gypseux que l'on voit affleurer sur ses bords Est et Ouest.

Au-dessous du fond de la vallée, les puits et les sondages ont mis en évidence, sous quelques mètres de sable :

- ✓ Une alternance de niveaux formés de calcaires, de calcaires marneux, de sables argileux et de grès tendres se terminant à la base par des argiles sableuses vers 30 à 45m de profondeur.
- ✓ Des sables fins et gros se terminant par des argiles sableuses à leur base vers 55 m à 80 m.
- ✓ Les calcaires du Sénonien (jusque vers 250 m)

- ✓ Un épais horizon d'argiles à évaporites (jusque vers 650 à 700 m)
- ✓ Une centaine de mètres d'évaporites massives
- ✓ Des argiles à évaporites plastiques, jusque vers 1050 – 1100 m de profondeur
- ✓ Des sables et grès de l'Albien se trouvant entre 1050 – 1100 m et 1350 - 1400 m de profondeur.

1.1.3. Cadre Hydrogéologie

Les formations géologiques de la région d'Ouargla contiennent, en plus de la nappe superficielle, deux grands ensembles de formations aquifères bien connus : le Continental Intercalaire (CI) à la base, qui s'étend sur tout le bassin sédimentaire du Sahara septentrional, et le Complexe Terminal (CT) au sommet. Ce dernier renferme sur le territoire algérien, deux formations aquifères distinctes. La première est contenue dans les sables du Mio-pliocène, tandis que la seconde se trouve dans le Sénonien supérieur (KHADRAUI, 2006 ; IDDER, 2007).

1.1.3.1. Nappe phréatique

Cette nappe est contenue dans les alluvions de la vallée de l'oued M'ya. Elle couvre pratiquement toute la cuvette de Ouargla (HAMDI AÏSSA, 2001 ; SLIMANI, 2006). Cette formation n'est pas utilisée ni pour l'alimentation en eau potable ni pour l'irrigation. Son inutilisation est justifiée par la teneur élevée en sels (généralement 10 à 15 g/l de résidu sec. Son niveau d'eau est proche de surface et il est devenu gênant pour la population et l'agriculture. (KHADRAOUI, 2006).

1.1.3.2. Nappe du Complexe Terminal

Le système aquifère du complexe terminal couvre la majeure partie du bassin oriental du Sahara septentrional sur environ 350000 Km² (SLIMANI., 2006).

Ce complexe est représenté par deux aquifères: le premier est contenu dans les sables du mio-pliocène et le deuxième dans le sénonien (IDDER., 2007).

- ✓ **Le moi-pliocène:** Cette aquifère fut à l'origine des palmeraies irriguées dans la région de Ouargla .Elle s'écoule du sud-ouest vers le nord-est, en direction du chott Melghir à une profondeur qui varie entre 30 et 65 m. La conductivité électrique des eaux de la nappe du mio-pliocène varie de 3 ms/cm à 6.4ms/cm (A.N.R.H., 2008).

- ✓ **Le sénonien:** cet aquifère est mal con, elle est exploitée à des profondeurs allant de 20 à 40 environ. Malgré la bonne qualité de ses eaux, son faible débit limite son utilisation. Les eaux de la nappe sénonienne sont moins chargées, leur conductivité ne dépassant généralement pas la valeur de 3mS.cm-1. Les profils ioniques montrent que les eaux de la première nappe sont à dominance chlorurée sodique et ceux de la deuxième sont à dominance sulfato-sodique (IDDER., 2007).

1.1.3.3. Nappe du Continental Intercalaire

Cette nappe (Albien) est captée à une profondeur de 1500m (Ouargla), elle se distingue par un débit important (200 l/s), la salinité relativement faible, inférieure à 2g/l de résidu sec (KHADRAOUI, 2006).

Actuellement il existe 5 forages albien dans la cuvette de Ouargla réparties comme suite ,3 forages à Rouissat, 1 à Ain Beida et 1 à N'Goussa, les débits exploités sont 245 l/s fin 2012 (D.P.A.T., 2012). Le premier forage à l'Albien exécuté à Ouargla remonte à l'année 1957 creusé à El Hadeb à l'Est de la région, actuellement, il est non exploité (SLIMANI, 2006).

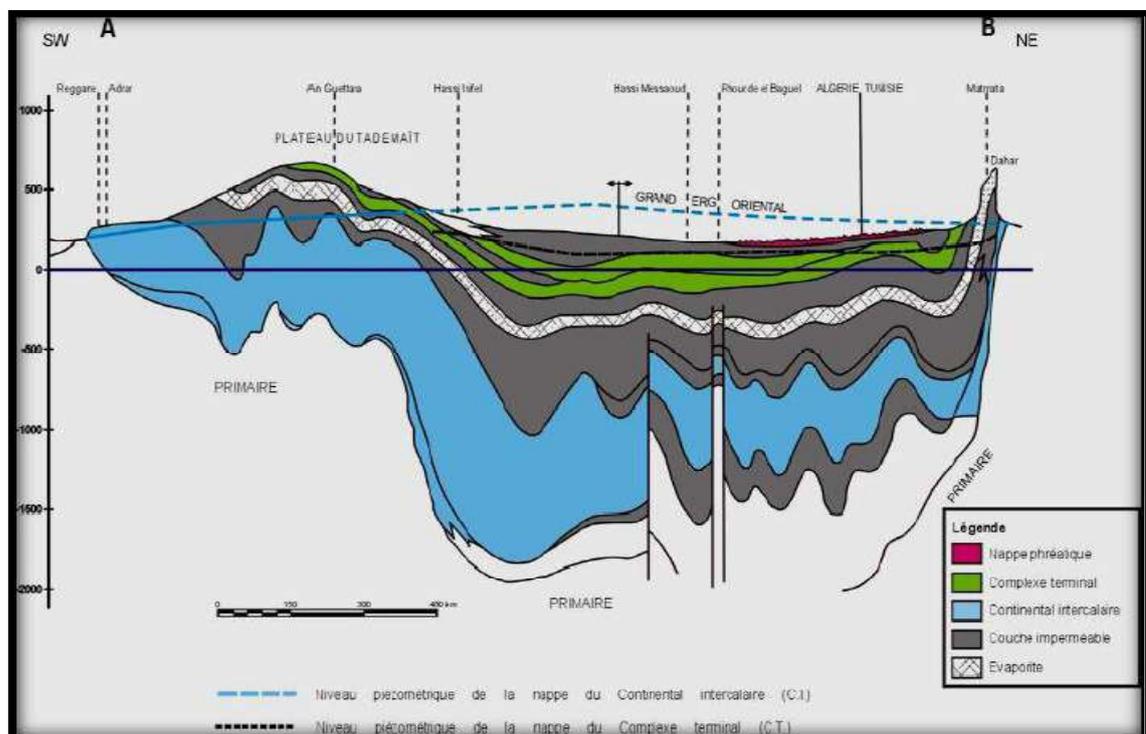


Figure 2: Coupe hydrogéologique à travers le Sahara (d'après UNESCO 1972)

1.1.4. Cadre Géomorphologique

De l'ouest à l'est, on distingue quatre ensembles géomorphologiques dans la cuvette (HAMDI AISSA, 2001):

1.1.4.1. Plateau de la région

A l'ouest la vallée est limitée par le plateau de la hamada pliocène de 200 à 250m d'altitude, il s'abaisse dans le paysage une série de butte témoins.

1.1.4.2. Les glacis

Le versant Ouest de la cuvette, présente quatre niveaux étages de glacis, le plus ancien recoupe le sommet de la bordure du plateau en buttes, son altitude s'abaisse de 225 m à l'Ouest jusqu'à 200 m environ à l'est.

Les glacis de 180m et 160m plus visibles se caractérisent par l'affleurement du substrat gréseux du Moi-pliocène, le glaciés de 160m a été fortement démantelé lors de la formation du dernier glacis de 140m d'altitude environ.

1.1.4.3. Chott et Sebka

Constituent les niveaux les plus bas du paysage (131à 103m), le chott qui correspond aux bordures de la Sebka est constitué de sable siliceux et/ou gypseux et des sols gypseux à des croûtes gypseuses de surface et de subsurface, en aval de Ouargla, en direction SSE-NNO, diverses Sebkas alternant avec les massifs dunaires jusqu'à Sebka Sefioune.

1.1.4.4. Dunes de sable

Formation éoliennes récentes en petit cordes, d'environ 150m d'altitude, elles occupent l'Est et le Nord-est de Ouargla et bordent les sebkhas le long de la vallée de l'oued M'ya.

1.1.5. Cadre Hydrographiques

Les réseaux hydrographiques constituent les eaux de surface. Selon HAMDI- AISSA. (2001), différents bassins versants (M'ya, M'Zab et N'sa) forment le réseau hydrographique qui aboutit à la Sebka Sefioune, au Nord de la cuvette de Ouargla.

1.1.5.1. Oued M'ya

Il draine le versant Nord-est du plateau de Tademaït. Le bassin de l'Oued M'ya est en forme d'une vaste gouttière relevée du sud (800 m) avec une inclinaison très faible (0,1 à 0,2 %) vers le Nord-est, il s'étend sur 19 800 Km² (DUBIEF, 1953).

1.1.5.2. Oued N'sa et Oued M'Zâb

A l'inverse de l'Oued M'ya qui est considéré comme fossile ; ces deux Oueds sont fonctionnels, ils peuvent avoir une ou deux crues par an. Ils s'atteignent la cuvette de Ouargla que lorsque la crue est importante. Ils drainent le versant des piémonts

Sud-est de l'Atlas saharien (la dorsale mozabite) ; ils coulent donc de l'Ouest vers l'Est-Sud-est jusqu'à la sebkhet de Sefioune (HAMDI- AISSA, 2001).

1.1.6. Cadre Pédologique

Au Sahara, la couverture pédologique présente une grande hétérogénéité et se compose des classes suivantes : sols minéraux bruts, sols peu évolués, sols halomorphes et sols hydro-morphes (DUTIL, 1971).

La fraction minérale est constituée dans sa quasi- totalité de sable. La fraction organique est très faible (inférieure à 1%) et ne permet pas une bonne agrégation. Ses sols squelettiques sont très peu fertiles car leur rétention en eau est très faible, environ 8% en volume d'eau disponible, plus d'autres facteurs qui interviennent dans ce phénomène (DAOUD et HALITIM, 1994).

1.1.7 Contexte climatique

Le climat d'Ouargla est particulièrement contrasté malgré la latitude relativement septentrionale. Son climat sec, désertique possède une aridité bien exprimée par des précipitations faibles et irrégulières et une sécheresse permanente (ROUVILLOIS-BRIGOL, 1975).

A. Données météorologiques:

Tableau I: Données climatiques de la région d'Ouargla de 2009 à 2018.

paramètres mois	Températures (°C)			Humidité(%)	Vent (m/s)	Précipitation (mm)	Insolation (h/mois)	Evaporation (mm)
	Max	Min	Moy					
Janvier	19,5	5,2	12,4	56	8,2	7,9	248,4	97,9
Février	21,2	7,0	14,1	48	9,2	3,7	237,4	120,7
Mars	25,7	10,7	18,2	42	9,7	5,1	266,8	180,6
Avril	30,8	15,4	23,1	36	10,3	1,5	285,3	231,3
Mai	35,3	20,0	27,7	31	10,6	2,1	316,3	302,6
Juin	40,4	24,8	32,6	27	10,0	0,8	229,3	366,9
Juillet	44,0	28,1	36,1	23	8,9	0,4	317,5	447,2
Août	42,4	27,3	34,9	27	8,9	0,4	341,4	388,0
Septembre	38,1	23,5	30,8	35	9,1	4,8	268,1	266,8
Octobre	31,8	17,1	24,5	41	7,9	3,8	270,7	207,6
Novembre	24,6	10,5	17,6	51	7,3	2,8	248,2	124,5
Décembre	19,8	5,9	12,9	58	6,9	3,7	239,0	86,2
Moyenne	31,1	16,3	23,7	40	8,9	/	272,4	235,0
Cumul	/	/	/	/	/	36,8	3268,5	2820,2

(ONM OUARGLA, 2019).

✓ **Températures**

Dans cette région l'hiver est trop froid, comportant d'importants risques de gelées et pendant l'été, le climat est trop chaud. La région d'Ouargla est caractérisée par une température très élevée et une température moyenne annuelle de 23.7 °C pour la période 2009-2018. La moyenne des du mois le plus chaud est atteinte au mois de juillet avec 36, 1°C et un maxima moyen de 44 °C. La moyenne des du mois le plus froid est enregistrée au mois de janvier (12, 4°C), avec un minima moyen de 5.2 °C.

✓ **Précipitations**

Les précipitations sont faibles et irrégulières pour la période 2009-2018, elles sont très faibles au mois de juillet et aout, avec 0.4 mm, atteignant leur maximum au mois de janvier avec 7.9mm. Le volume du cumul annuel des précipitations est de l'ordre de 36.8mm.

✓ **Insolation**

La région d'Ouargla est caractérisée par ses fortes insolation. La durée moyenne de l'insolation est de 272.375 heures/mois, avec un maximum de 341.4 heures par mois en aout et un minimum de 229.3heures par mois en juin.

✓ **Les vents**

Les vents sont fréquents toute l'année, durant la période 2009-2018.L'office national de la météorologie a enregistré une vitesse moyenne annuelle de 8.9 m/s. un maximum de 10.6 m/s en mai et un minimum de 6.9m/s en décembre .La direction dominante des vents dans la région de Ouargla est Nord-Nord Ouest.

✓ **Humidité relative**

L'humidité de l'air est très faible. La moyenne annuelle est de 40%. Elle varie sensiblement en fonction des saisons de l'année. En effet, pendant l'été, elle chute jusqu'à 23% au mois de juillet, sous l'action d'une forte évaporation, et des vents chauds, alors qu'en hiver, elle s'élève et atteint une moyenne maximale de 58% au mois de décembre.

✓ **Evaporation**

L'évaporation est un paramètre climatique important qui permet d'apprécier les pertes en eau dans l'atmosphère, la région d'Ouargla est caractérisée par une évaporation très importante, son intensité étant renforcée par les vents chauds. La moyenne annuelle est 235 et la quantité maximale évaporée 447.2 mm au mois de Juillet par contre la quantité minimale avec 86.2 mm au mois de Décembre, le cumule annuel est de 2820,2 mm.

B. Synthèse climatique

✓ **Le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson**

Ce diagramme permet de déterminer les périodes sèches et humides d'une région donnée. Il est obtenu en portant en abscisse les mois de l'année et en ordonnées les températures d'un côté et les précipitations de l'autre, tout en considérant l'échelle des précipitations comme étant le double de celle des températures (DAJOZ, 1982).

Le diagramme ombrothermique de la région d'Ouargla indique que de 2009 à 2018, la période sèche s'étale sur toute l'année avec un maximum en été (figure03).

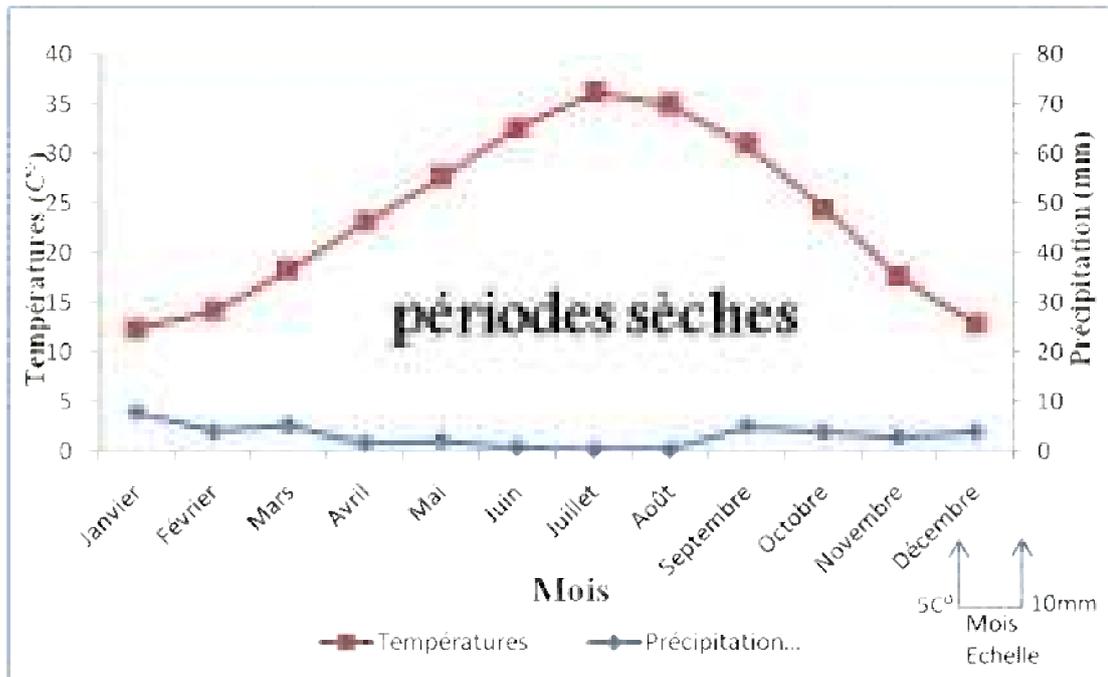


Figure 3: Diagramme ombrothermique de Gaussen de la région d'Ouargla (2009-2018).

✓ Climagramme d'EMBERGER:

Le quotient pluviométrique d'EMBERGER (Q_2) élaboré en 1930 modifié par STEWART, (1969) est spécifique au climat méditerranéen et tient compte des précipitations et des températures. Il permet de connaître l'étage bioclimatique de la région d'étude.

$$Q_3 = 3,43 \times P / (M-m)$$

Avec:

- Q_3 : coefficient pluvio-thermique.
- P : précipitations moyennes annuelles en mm.
- M : moyenne des maxima du mois le plus chaud en °C.
- m : moyenne des minima du mois le plus froid en °C.

Pour la région d'Ouargla, le Q_3 est de 3,27, ce qui situe notre région d'étude dans l'étage bioclimatique saharien à hiver doux, comme le montre la figure 04.

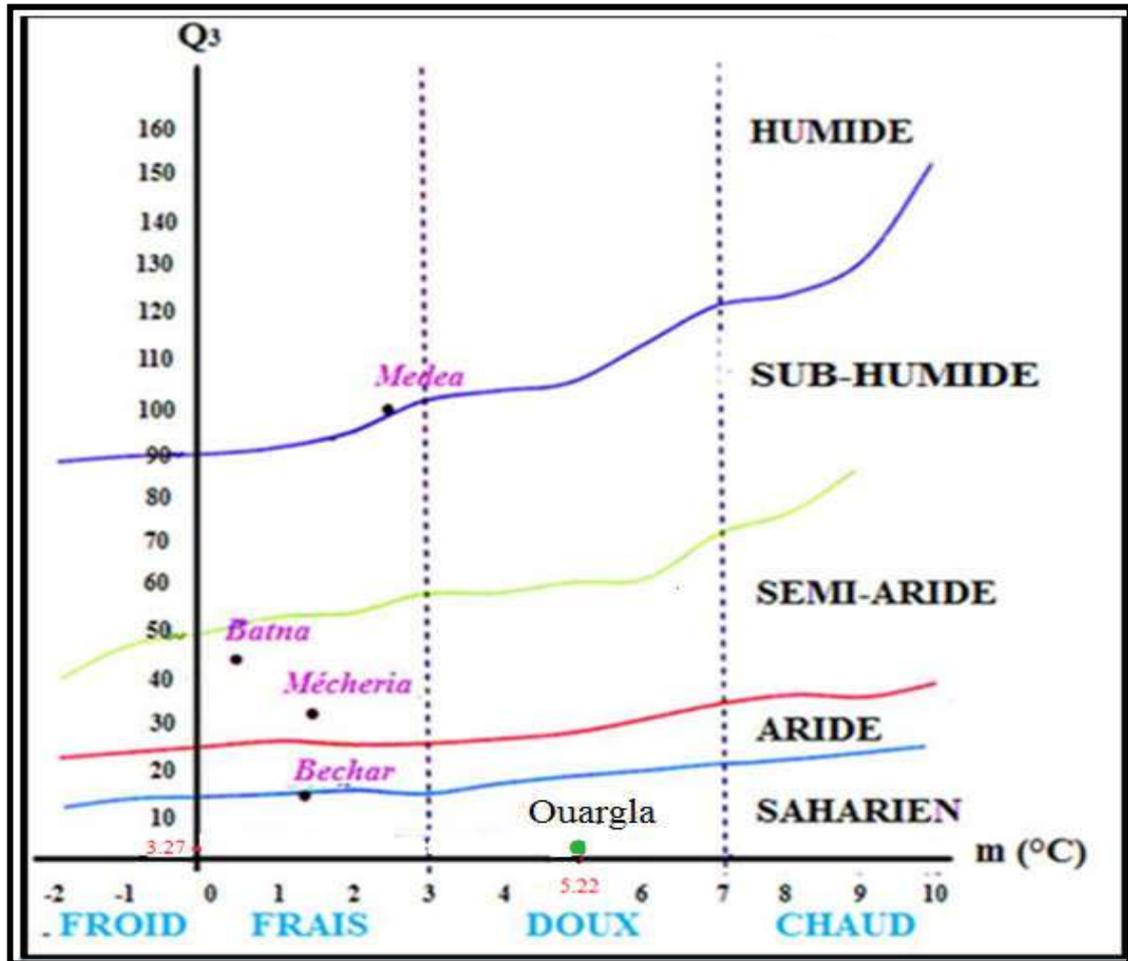


Figure 4: Climagramme d'Emberger de la région d'Ouargla (2009-2018).

1.2. Station d'étude

1.2.1. Présentation de la station d'étude

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

La solution retenue pour l'épuration des effluents générés par la commune de Sidi Khouiled consiste à traiter l'ensemble des eaux usées à partir d'une station d'épuration de type lagunage aéré.

La filière de traitement retenue 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 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 retenu pour la mise en place de la future station d'épuration est situé à proximité du point de rejet actuel du réseau d'eaux usées de l'autre côté de la route de Sidi Khouiled vers Hassi Ben Abdelah.

Le site d'implantation est limité :

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

Un piquage sur le collecteur récent (2003) de transfert des eaux brutes vers 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.

(Voir annexe12).



Photo N° 1: Situation géographique de la région de sidi Khouiled (Maps.google, 2019).



Photo N° 2: station d'étude (les parcelles agricoles) (Google Earth., 2019).

1.3. Le réseau d'assainissement de la ville de Sidi Khouiled

Avant la mise en place du nouveau projet d'assainissement et de lutte contre la remontée de la nappe phréatique, le réseau d'assainissement urbain de Sidi Khouiled, de type unitaire, s'étendait sur une longueur totale de 28,9 Km. Sur ce réseau une station de relevage a été installée afin de surmonter les contraintes topographiques, (A.D.E, 2015).

Tout d'abord, il est apparu 81 ,63% des habitations de l'agglomération étaient raccordées au réseau. Les autres disposent de systèmes d'assainissement autonome, (ONA, 2015).

Le taux de branchement au réseau d'eau potable et le taux de raccordement au réseau d'assainissement (égout et assainissement autonome) pour en sortir avec ce qui suit : la population raccordée à l'égout rejette annuellement 383 mille m³, la population assainie de manière autonome alimente la nappe phréatique par un volume 698 mille m³, donnant un rejet des eaux usées dans le milieu récepteur de 1,08 millions m³ (ONA, 2015). (annexe 13).

1.4. La filière de traitement

1.4.1. Prétraitements

A partir du poste de relevage, les eaux brutes débouchent dans un canal regroupant le dégrillage et le dessablage.

- ❖ Un dégrilleur de type automatique (espaces inter barreaux de 25 mm) associé à une grille manuelle (espaces inter barreaux de 40 mm) de sécurité en cas de by-pass.
- ❖ ouvrages de dessablage statique de type chenal.

a) Dégrillage

Le système comprend un ensemble de deux dégrilleurs automatiques (espace entre barreaux de 25 mm) (photo 03), disposés en parallèle. Un canal de secours équipé d'une grille statique (espace entre barreaux de 40 mm) disposé en parallèle permet de by-passer complètement l'ensemble des prétraitements, en cas de mise hors service des dégrilleurs automatiques .Les refus de l'ensemble des dégrilleurs sont acheminés au moyen d'une vis de convoyage vers une benne à déchets. Cette vis assure également un compactage des refus et permet ainsi de réduire le volume des déchets.



Photo N° 3: Le dégrilleur

a) Le dessablage

Le dessablage permet la décantation des résidus les plus denses (sable). L'élimination du sable évite l'ensablement des bassins. Le dessablage est réalisé à partir d'un bassin dans lequel se produit une décantation des sables. Les sables décantent et sont concentrés en fond d'ouvrage au niveau d'une fosse à sable. Une pompe assure l'extraction des sables vers un classificateur qui permet l'égouttage des sables avant stockage dans une benne (photo 04). Les ouvrages de dessablage sont de type statique et ils sont dimensionnés sur la base des critères suivants :

Vitesse d'entraînement des particules 0,30 m/s.

Vitesse de sédimentation 60 m/h .



Photo N° 4: Le désableur

1.4.2. Traitement secondaire

A la suite de ces prétraitements, la filière est constituée de deux étages d'aération et d'un étage de finition. Les effluents sont répartis entre les deux lagunes du premier étage grâce à 1 répartiteur. Les eaux en cours de traitement transitent de façon gravitaire de la lagune aérée1 vers la lagune aérée 2, puis vers la lagune de finition. Il est prévu, à la sortie de chaque lagune, un ouvrage muni d'une crête déversant permettant de contrôler le niveau d'eau dans la lagune.

L'étage aéré n°2 est constitué de 2 lagunes. L'étage de finition est constitué d'une lagune. La liaison entre les deux lagunes se fait grâce à des canalisations gravitaires de liaison.

Les eaux épurées (sortie de la lagune de finition) seront reprises par un collecteur de restitution auquel sera raccordé à l'ouvrage de sortie.

En entrée et sortie, un canal venturi associé à une sonde ultrason de mesure de la hauteur d'eau en amont permettra de mesurer de manière continue les débits.

Les lagunes d'aération sont pourvues d'un système d'aération artificielle qui assure l'oxygénation des eaux usées ; il s'agit d'aérateurs flottants.



Photo N° 5: Lagune aéré



Photo N° 6: Aérateur



**Photo N° 7: la sortie des eaux
épurées**



Photo N° 8: Bassin de finition

1.4.3. Lits de séchage

La déshydratation sur lits de séchage est une technique de déshydratation naturelle, nécessitant des surfaces relativement importantes mais compatibles avec le site retenu. Le système consiste à sécher les boues à l'air libre sur des lits constitués d'une couche de sable lavé surmontant une couche de granulométrie plus importante, incluant le réseau de drainage.

Dans la STEP de Sidi Khouiled, le séchage s'effectue au moins dans quatre (04) lits dont la hauteur de remplissage est de 0.5 m et la surface par lit est de 525m². Le transport des boues du fond des lagunes vers les lits de séchage est réalisé par des conduites flexibles.

Les boues exposées à l'air libre subissent une double déshydratation par drainage et évaporation. Les eaux drainées sont récupérées à l'aide de drains PVC de diamètre nominal 200 mm posés en fond de lits et sont renvoyées en tête de station vers le poste de refoulement

1.5. Matériels

1.5.1 Le Site expérimental

Notre étude à été menée au niveau de la station d'épuration des eaux usées du sidi Khouiled .On à ménagé 4 parcelles de 1.4m x 4.5 m (6.3m²) de dimensions (Photo 09), pour être utilisée par la suit dans notre expérimentation.



Photo N° 9: Les parcelles expérimentales avant la mise en culture

1.6. La Culture

On a choisit la culture d'orge (variété Saida) comme spéculation pour notre étude. La date de semis est 22/11/2018 et la dose de semis est 126g par parcelle (soit 200qx/h).



Photo N° 10: Les parcelles mises en culture et irriguées

1.7. L'irrigation

Le système d'irrigation utilisée c'est la submersion .Ce le système qui disponible dans la station du sidi Khouiled avec un débit égale 0.5 l/s (annexe 14).

La qualité des eaux usées traité qui utilisé pour l'irrigation présenté dans le tableau d'analyse (tableau II).

**Tableau II: Résultats d'analyses des eaux usées traitées dans la station de Sidi Khouiled.
(STEP sidi Khouiled 2019).**

Date de Prélèvement	Lieu de Prélèvement	PH	Salinité	CE	O2 dissous	T° C	DCO	DBO5	MES
		/	g/l	µs/cm	mg/l	C°	mg O2/l	mg O2/l	mg/l
21-11-2018	Entré	8.38	2.70	5050	0.60	23.30	404.00	160.00	104.00
	Sorté	7.96	3.00	5620	2.50	21.90	122.00	32.00	74.00
26-12-2018	Entré	7.87	2.80	5300	2.60	15.90	587.00	180.00	212.00
	Sorté	7.63	2.90	5560	3.60	14.70	101.00	24.00	61.00
26-01-2019	Entré	7.87	2.80	5300	2.60	15.90	587.00	180.00	212.00
	Sorté	7.63	2.90	5560	3.60	14.70	101.00	24.00	61.00
05-02-2019	Entré	8.18	3.20	5970	2.41	16.20	187.00	85.00	177.00
	Sorté	7.89	2.90	5630	8.37	7.70	187.00	50.00	67.00
05-03-2019	Entré	8.63	3.00	5590	0.30	16.40	320.00	140.00	103.00
	Sorté	8.47	2.70	5230	5.34	14.30	126.00	25.00	84.00
16-04-2019	Entré	8.65	2.80	5370	0.39	18.40	420.00	150.00	/
	Sorté	8.47	2.90	5390	5.45	19.70	98.10	28.00	/

CHAPITRE II

MÉTHODES D'ÉTUDE

Chapitre II : Méthode d'étude

2.1. Méthode de prélèvement (échantillonnage)

L'échantillonnage (voir annexe15) a été effectuée sur 4 parcelles qui sont cultivées en orge et irriguées par les eaux usées traitées, en plus d'un profil qui est non irrigué et non cultivé (témoin), qui se situe à près de 50 m de parcelles expérimentales.

Dans chaque parcelle en deux points de prélèvement d'une manière aléatoire, pour avoir des échantillons homogènes de sol. La prise d'échantillons se fait sur trois profondeurs dans (0-20cm), (20-40cm) et (40-60cm). La fréquence de l'échantillonnage était chaque mois, avec un premier échantillonnage juste avant la mise en culture des parcelles (T0). Au total, on a sept prélèvements (T0, et T1, T2, T3, T4, T5), constituant le suivi du sol irrigué, en plus un échantillon témoin (le sol non irrigué). Le dernier échantillonnage a été fait juste avant la récolte c'est le T5.

2.1.1 Matériels utilisés sur le terrain

- Sonde du profil pédologique (tarière) au minimum de 120cm ;
- Bâche sèche et propre d'environ 2m².
- Sacs en plastique.
- Etiquettes et stylo à bille ou crayon gras (vérifier que l'écriture ne disparaît pas avec l'humidité du sol) (MATHIEU et al, 2009).



Photo N° 11: Une tarière

2.2.2. Méthodes d'analyses des sols

✓ **Granulométrie**

La distribution de la taille des particules (aussi appelée composition granulométrique) est une des plus importantes caractéristiques du sol. Les propriétés agricoles aussi bien que scientifiques sont largement déterminées par la texture du sol. La distribution de la taille des particules a un effet sur beaucoup de propriétés du sol telles que la facilité du travail du sol, la conductivité capillaire d'un sol, l'humidité disponible, la perméabilité, le tassement, etc. La granulométrie d'un sol sableux est souvent indiquée sur les cartes lors de travaux d'étude de sols. En outre, la détermination de la taille de grain (granulométrie) est essentielle pour l'évaluation de la disponibilité de substances pour la flore et la faune, le comportement d'une substance et la détermination de la qualité du sol (cibles et valeurs d'intervention pour ces paramètres sont calculées sur la base de la fraction d'argile. L'utilisation de ce set permet de déterminer la distribution de la taille des particules des échantillons de sols pour classer ces sols sur la base des normes internationales. La composition granulométrique de l'échantillon représentatif peut être déterminée à l'aide d'un vibreur (photo 12). Les tamis grillagés en acier inox conviennent pour des tamisages secs et humides.



Photo N° 12:Un vibreur

✓ **Dosage de matière organique**

Il consiste à doser le carbone organique par la méthode de Anne. Il s'agit de l'oxydation du carbone organique par le bichromate de potassium en milieu acide sulfurique avec source de chaleur. Le bichromate ($K_2Cr_2O_7$) doit être en excès, la quantité réduite est en principe proportionnelle à la teneur en carbone organique.

L'excès de dichromate de potassium est titre par une solution de sel de MOHR, en présence de diphénylamine dont la couleur bleu vert (BAIZ, 2000 in BOUHANNA, 2011).



Photo N° 13: Dosage de matière organique

✓ **Dosage des sels solubles**

a) Dosage des anions solubles

- Cl^- déterminés par la méthode de MOHR basée sur la tétration de l'extrait de sol par AgNO_3 (0,1N) en présence de chromate de potassium jusqu'à l'apparition de couleur rouge (AUBERT, 1978).
- SO_4^{2-} il s'agit de la méthode gravimétrique, elle consiste à précipiter les sulfates sous forme de sulfate de baryum par le chlorure de baryum.
- Bicarbonate (HCO_3^-) effectué par titrimétrie à H_2SO_4 (0,1N) en présence des indicateurs (Phénolphtaléine et orange de méthyle). La fin de la réaction est indiquée par l'apparition de la couleur rosâtre.



Photo N° 14: Dosage de chlorures



Photo N° 15: dosage de sulfate



Photo N° 16: dosage carbonate et bicarbonate

b) Dosage des cations solubles

Na⁺, K⁺, Ca²⁺ on a dosé par spectrophotomètre à flamme.



Photo N° 17: Spectrophotomètre à flamme.

✓ **Le pH**

La mesure de PH eau a été effectuée sur des extraits dont le rapport sol/eau de dilution égale 1/5, la mesure ce fait par pH mètre (MATHIEU et *al*, 2009).



Photo N° 18: pH-mètre

✓ **Conductivité électronique**

Elle a été obtenue à partir d'extraits de solution aqueuse de rapports sol/eau de dilution égale 1/5, la mesure a été effectuée à l'aide d'un conductimètre à 25°C. (MATHIEU et *al*, 2009).



Photo N° 19: Conductimètre

✓ **Dosage Du Calcaire Totale**

Le dosage du calcaire est effectué à l'aide d'un appareil c'est le Calcimétrie de Bernad (la méthode gazométrique). Il s'agit de comparer le volume de CO₂ dégagé par le contact d'HCl avec un certain poids connu de terre à analyser, avec celui dégagé par le contact d'HCl avec CaCO₃ pur et sec en quantité connue. Les conditions de température et de pression restent inchangées. Le dioxyde de carbone CO₂ dégagé est dosé par gazométrie. (MATHIEU et *al*, 2009).



Photo N° 20: Dosage de Calcaire totale

TROISIÈME PARTIE

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Troisième partie : Résultats et discussion

3.1. Etude du sol

3.1.1. Résultats analytiques

3.1.1.1. Résultat des analyses physiques et chimiques du sol des parcelles

Tableau III: Résultats des analyses physique et chimique du sol de profil

Caractéristiques		Les couches			
		Couche1	Couche2	Couche3	Couche4
Profondeur (cm)		0-50	50-70	70-120	>120
Calcaire total(%)		4,23	4,08	4,43	3,98
pH		6,9	6,93	6,91	6,89
C.E (dS /m)		2,65	3,21	4,23	4,6
MO(%)		1,4	1,71	1,29	1,5
Granulométrie(%)	Sable grossier	39.5	2.1	1.3	1.5
	Sable moyen	22.5	25	24.3	20.1
	Sable fin	19.2	39,2	37.5	22.9
	Sable très fin	10.3	24,6	25.8	39,5
	Limon grossie	7.2	7,5	8.2	12.5
	Limon+argile	0.8	1,1	2,1	3,2
Classe texturale		Sableuse	Sableuse	Sableuse	Sableuse
	HCO₃⁻	10	5	20	25
Bilan ionique	Cl⁻	17,5	42,5	72,5	85,3
(meq/l)	SO₄²⁻	37,7	17,67	37,66	29,96
	Na⁺	116,55	109,29	163,94	91,16
	K⁺	10,91	9,39	11,6	9,05
	Ca²⁺	50,79	53,3	53,8	54,31

A partir des résultats des analyses du sol de profil, le sol présente majoritairement une texture sableuse. La classe la plus abondante est le sable fin par contre un faible fraction de limon + argile.

Ce type de texture engendre un lessivage et surtout en présence des teneurs faible en argile et l'absence de la matière organique selon l'observation visuelle. On effet la granulométrie permet d'évaluer la stabilité structurale du sol.

3.1.1.2. Etude des caractéristiques physico-chimiques du sol

Les résultats de la caractérisation physico-chimique des échantillons de sols sont représentés par les graphes suivants :

✓ pH

La variation des valeurs du pH dans le sol du suivi de la culture en T0 jusqu'a T5 sont représentées dans le graphique ci-dessous (fig 05) en fonction de la profondeur du sol.

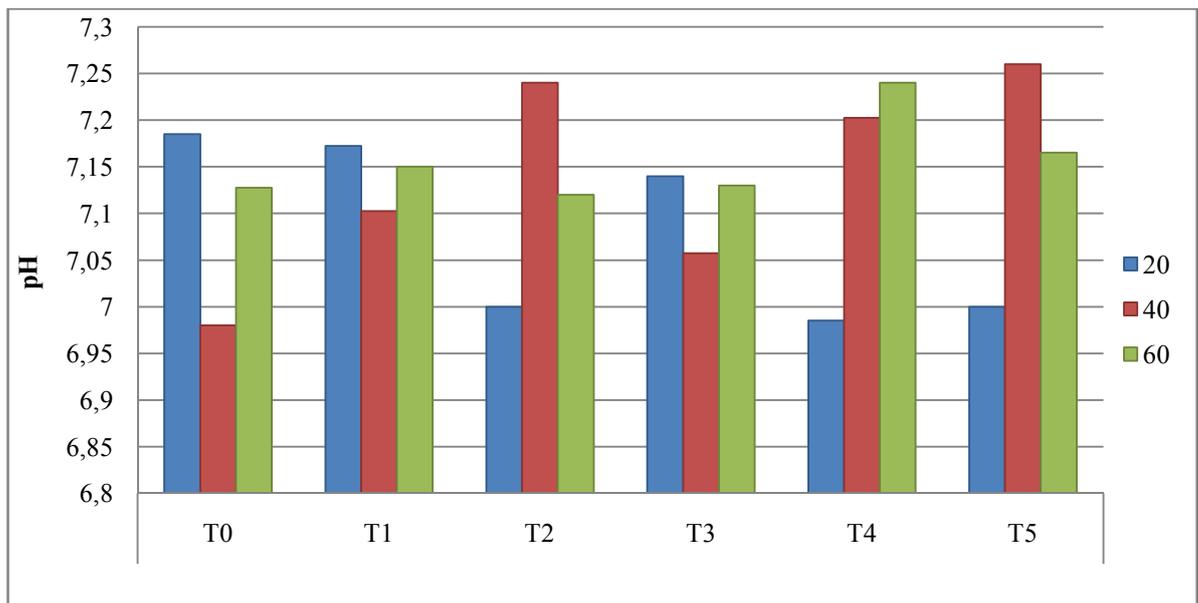


Figure 5: Evolution du pH du sol des parcelles dans le temps

Du graphique ci-dessus on remarque que le pH du sol décroît avec le temps pour la couche superficielle (20 cm), avec des valeurs qui varient de 7.2 à 7 d'une manière générale. On note aussi une légère augmentation du pH du sol dans les couches 40 et 60 cm. Le pH du sol des parcelles irriguées par les eaux usées traitées (T0-T1-T2-T3-T4-T5) est supérieur à 7, alors celui du sol témoin est d'une valeur maximale de 6.93 dans la deuxième couche du profil.

En revanche, on peut dire que nos résultats pour les profondeurs 40 et 60 cm 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 Na^+ , Ca^{+2} et Mg^{+2} .

✓ **Conductivité électrique**

Les valeurs de la mesure de la CE du sol étudié sont représentées dans la figure 06

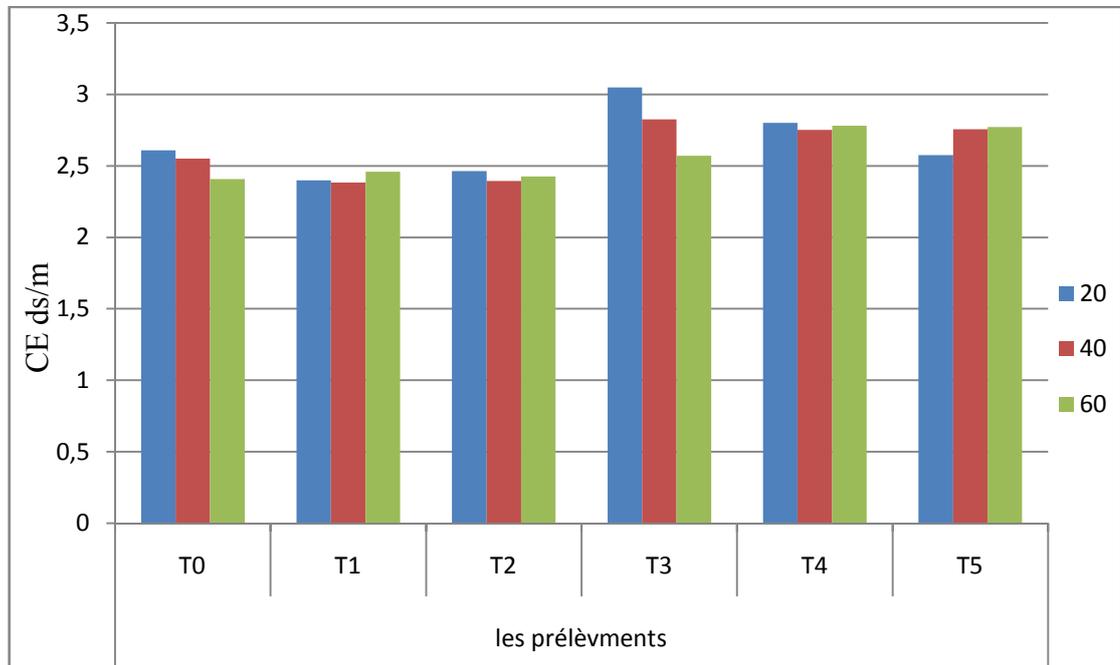


Figure 6: Variation de la CE du sol des parcelles dans le temps

Les résultats obtenus montrent que le sol irrigué par les eaux usées traitées, ainsi que le sol témoin sont très salés selon l'échelle d'AUBERT., 1978 (annexe11), avec des valeurs qui dépassent 2.4 dS/m pour l'ensemble des prélèvements. Les valeurs de la CE sont peu variables d'une manière générale, avec des valeurs plus élevées en surface (0-20 cm) dans T0, T2, T3 et T4. La CE du sol témoin très élevée dans la troisième couche du profil (70-120 cm), et elle est égale à 4.2 dS/m.

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. Les résultats illustrés indiquent l'existence d'une tendance à l'accumulation des sels en profondeur à partir de T3.

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.

3.1.2. Etude des caractéristiques physiques du sol

✓ Granulométrie

Tableau IV: résultats d'analyse granulométrique du sol des parcelles

profondeur fraction	20	40	60
Sable grossier	2.2	2	1.5
Sable moyen	49.2	58.4	54.6
Sable fin	26	23	25.4
Sable très fin	39	1.9	9.9
Limon grossier	15.2	15.4	7.7
Limon+argile	1.1	0.7	0.5
Classe texturale	Sableuse	sableuse	sableuse

✓ Le carbone organique (matière organique)

Les teneurs de MO dans chaque échantillon étudié sont représenté dans la figure suivant :

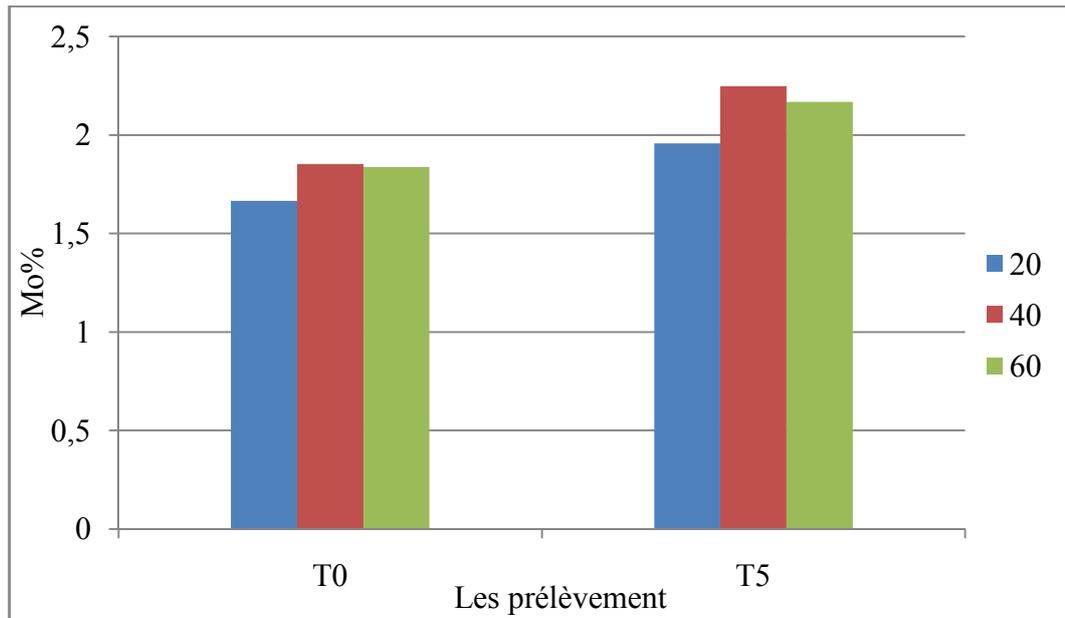


Figure 7: Evolution du MO dans les sols des parcelles

Le graphe suivant montre que les teneurs moyennes de MO dans le sol à T0 égal 1.66% dans la profondeur 0-20cm, 20-40 et 40-60cm est 1.83%.on observé augmentation du teneurs de MO dans chaque profondeur du T5 qui égal 2.2% par contre dans les déférents couche du profil est faible.

D'après la classification de l'I.T.A (1975), les sols sont moyennement riches en matière organique dans les sols irrigués par les eaux usées traité épurées, et faibles dans les sols non irrigués (le profil).

En effet, l'irrigation avec les eaux usées épurées entraîne une accumulation de MO dans le sol, suite à leurs richesse en éléments fertilisants et en oligoéléments, et elles stimulent l'activité microbologique du sol (MAGESAN et *al*, 2000 ; RAMIREZ-FUENTES et *al*, 2002 *in* BELAID, 2010), favorisant ainsi la minéralisation du carbone organique du sol.

✓ **Calcaire total**

Les résultats des analyses du calcaire total effectuées sur les échantillonnes du sol (T0-T5) sont représentés dans la figure :

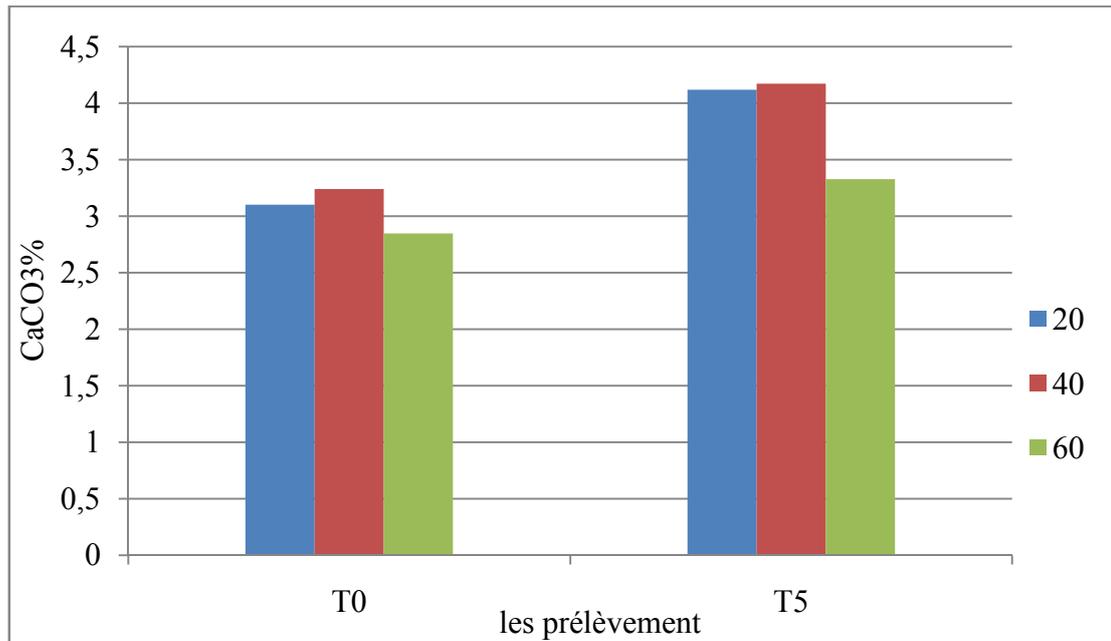


Figure 8: Evolution du CaCO₃ dans les sols des parcelles

Selon le graphique le taux de calcaire totaux montre une légère variabilité entre les différents échantillons des sols étudiés dans T0 à profondeur 0-20cm est 3,1%, 20-40 égal 3,2 % et 2,8% dans 40-60. Les taux de CaCO₃ sont élevée dans les échenillions final du sol (T5) que le T0.

Dans le sol, le calcaire est la source la plus fréquente de calcium, celui-ci étant fixé sous forme d'ions sur le complexe adsorbant. C'est un élément favorisant la stabilité de la structure et la perméabilité, fournissant, d'autre part, aux végétaux le calcium nécessaire à l'édification de leurs tissus (MATHIEU et PIELTAIN, 2009).

D'après l'échelle d'interprétations BAISE (2000), le sol des trois échantillons étudiés est faible en calcaires. Les taux de CaCO₃ sont moins importants dans les sols irrigués par les eaux usées traité que le sol non irrigué. Selon (KHADRAOUI, 2004), dans la cuvette de Ouargla, aussi bien en surface qu'profondeur, ne contiennent que de faibles taux de calcaire, car les roches parentales ne sont généralement pas ou peu calcaires.

3.1.3. Etude Les sels solubles dans le sol

a) Les anions :

✓ Carbonate et bicarbonate

D'après l'analyse du carbonate et bicarbonate dans les échantillons étudiés le carbonate n'existe pas mais le bicarbonate est présenté dans le graphique ci-dessous :

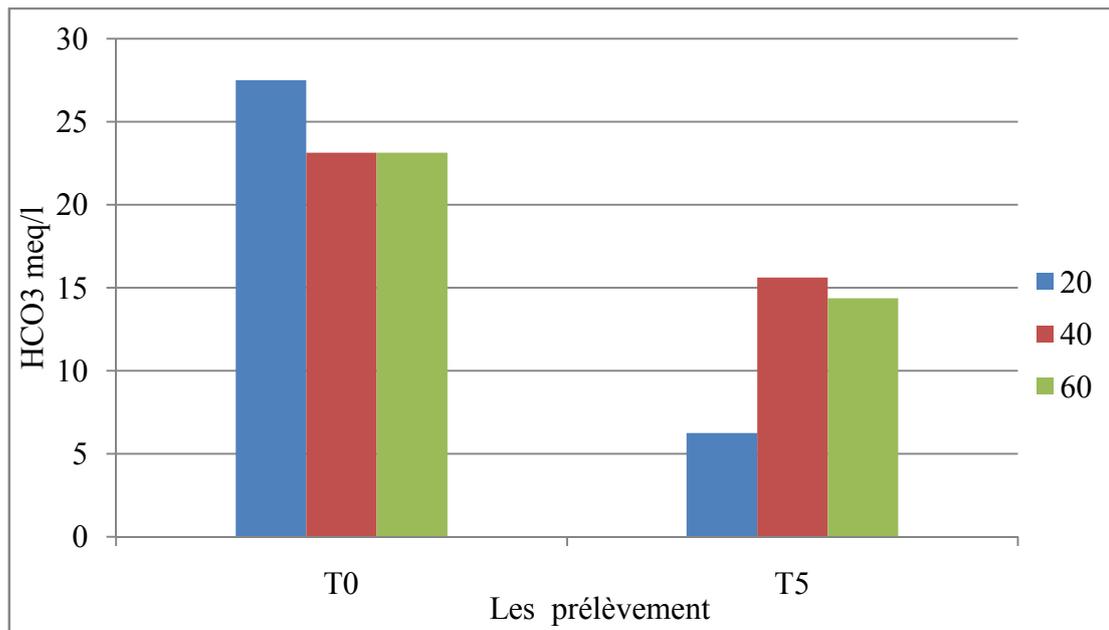


Figure 9: Evolution du HCO₃ dans les sols des parcelles

En remarquant à partir du graphique suivant la teneur maximum du HCO₃ est de 27.5 meq/l dans T0 (0-20cm) en suite dans le profil qui égale 23 meq/l à la dernière couche, mais dans T5 la teneur du HCO₃ est faible surtout dans le premier horizon (0-20cm) qui égale 6.25 meq/l.

✓ Le chlore

Après les analyses des échantillons du sol le résultat du chlore est exprimé dans la figure suivante :

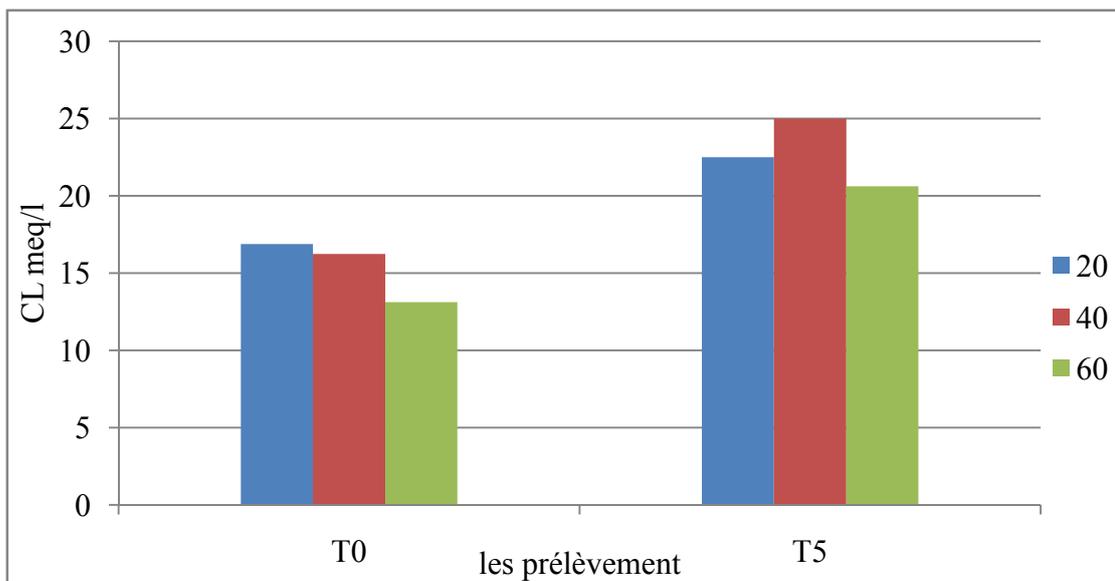


Figure 10: Evolution du Cl dans les sols des parcelles

Le graphique ci-dessus montre la teneur maximale (112.5meq/l) du chlore dans le profil à profondeur >120 et diminué ver le surface (0-50) est 17.5meq/l mais dans T0et T5 est plus faible qui égale 13.12 meq/l (40-60cm).

✓ **Le sulfate**

La graphique au-dessous présente la quantité du sulfate qui existé a chaque échantillons du sol :

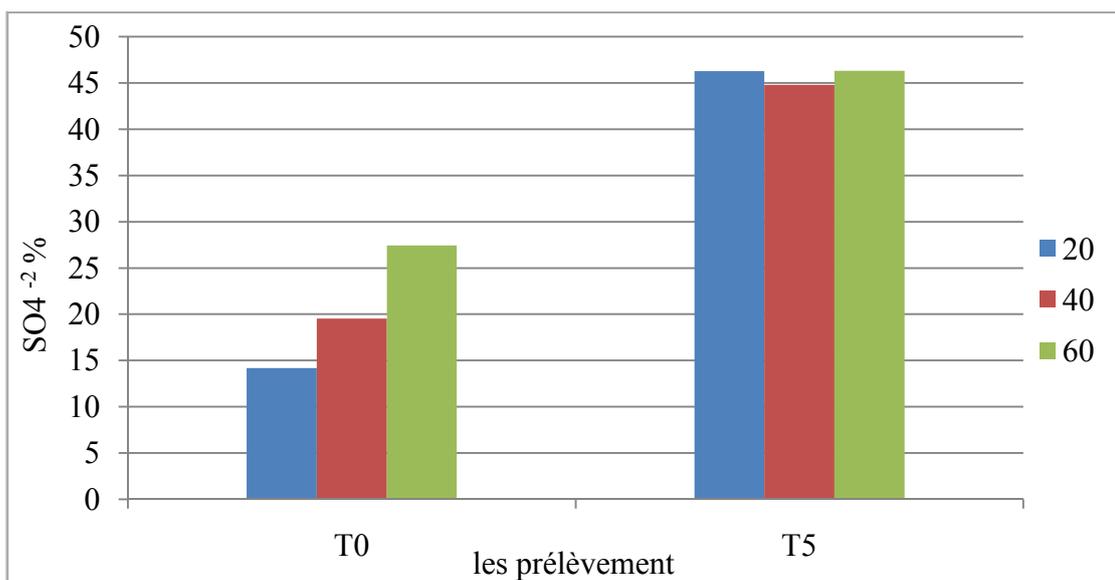


Figure 11: Evolution du SO_4^{2-} dans les sols des parcelles

A partir le graphique la tenue du SO₄ est plus élevé dans les échantillons du sol T5 qui varié entre 44-46 meq/l mais faible à T0 égal 14.16 (0-20cm) et 27.44 meq/l(40-60cm) .la tenue du SO₄ à le profil est variable entre les valeur suivant : 17,67 -37,66 et 29,96 meq/l.

b) les cations :

✓ **le calcium**

La quantité du calcium qui existé a chaque échantillons du sol présenté dans le graphique au-dessous. :

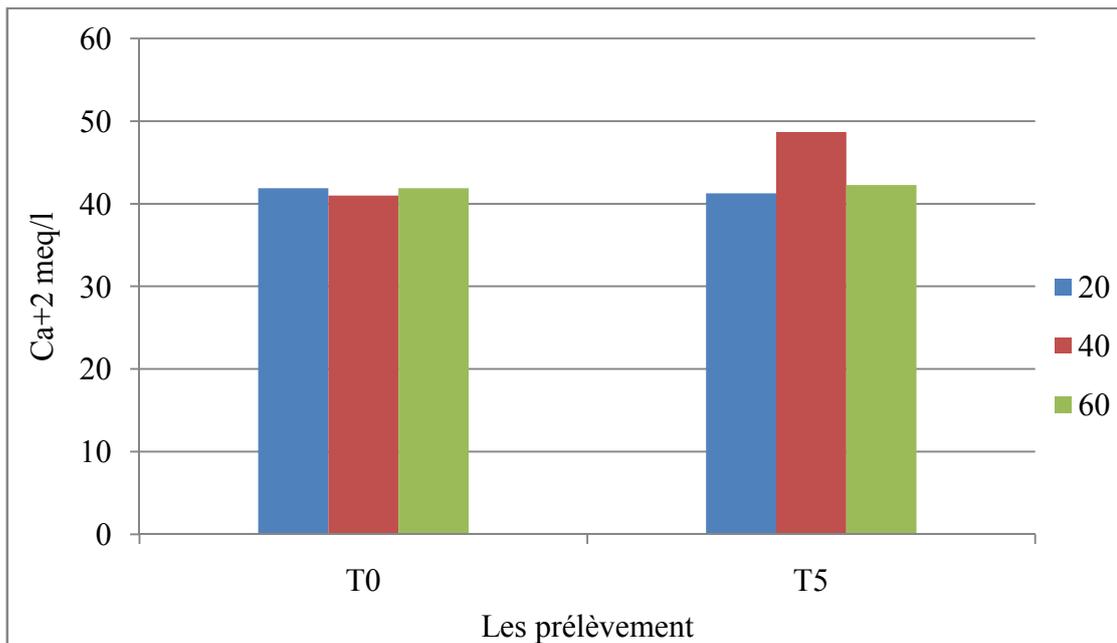


Figure 12: Evolution du ca⁺² dans les sols des parcelles

La quantité du calcium dans le sol irrigué par les eaux usées épuré est faible à T0 qui varié entre 41 et 41.88 meq/l mais élevée à T5 égale 48.66 meq/l (20-40cm). l'ion du Ca⁺ est élevé dans le profil par rapport le T0 et T5.

✓ **Le sodium**

Le graphique au-dessous présente la quantité du sodium qui existé a chaque échantillons du sol :

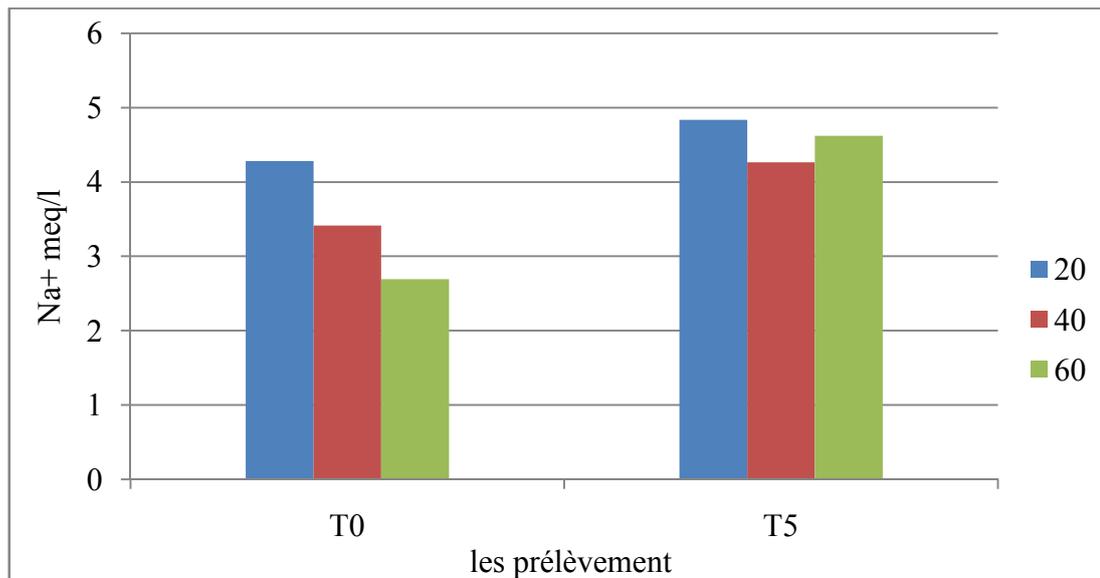


Figure 13: Evolution du Na⁺ dans les sols des parcelles

A partir des résultats obtenus, l'ion sodium est élevé dans le sol de témoin à 70- 120 cm (163.94 meq/l), alors que elle est de 94.85 meq/l pour les sols irriguées à T5 .sa teneur diminue en profondeur (45.12 meq/l). Ceci montre une augmentation de la teneur en sodium dans les sols irrigués, qui était de 34.24 à 60.15 meq/l.

✓ **Le Potassium**

Après les analyses des échantillons du sol le résultat du potassium est exprimé dans la figure suivant :

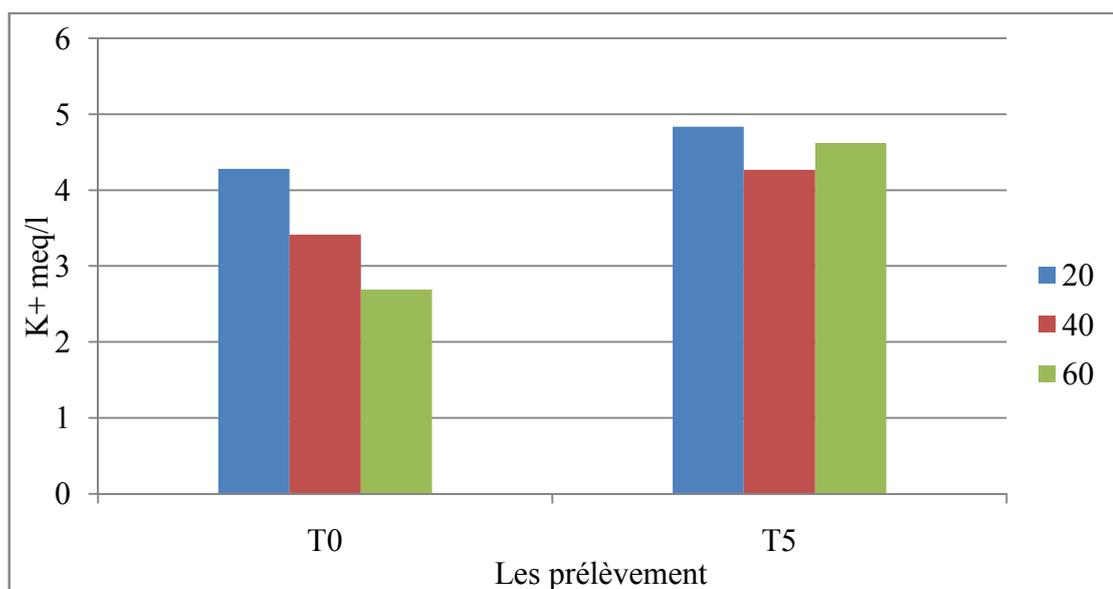


Figure 14: Evolution du K⁺ dans les sols des parcelles

On observé a partir le graphique que la quantité du potassium est faible à tout les échantillons étudié qui varié entre 2.6et4.28 meq/l à T0 et à T5 entre 4.26 et 4.68 meq/l mais dans le profil est augmenté a les autre échantillons qui égale 11.60 meq/l (70-120cm)

Les teneurs des ions hydrosolubles trouvés dans les sols étudiés pour les échantillons du sol T0 la composition ionique est :



Pour les sols irrigués par les eaux usées épurées T5, la composition ionique est :



Pour les échantillons du sol de profil la composition ionique est :



On conclue que les teneurs de sel soluble est important a tout les sols étudié.

L'irrigation par les EUE enrichit les sols par les ions hydrosolubles BLAID (2010) Concernant la composition en ions hydrosolubles des sols, les Na^+ et Ca^{+2} pour les cations, et les Cl^- et SO_4^{-2} pour les anions, sont les ions les plus présents dans les sols étudiés. Cela peut s'expliquer par la nature de la composition géochimique des eaux d'irrigation ainsi que la nature des sols, généralement les sols salins.

Selon OUAFAE et *al.* (2012), une irrigation à long terme par des EUE, possédant des concentrations élevées en sels solubles, en particulier en sodium, se traduit par une augmentation de la salinité des sols, et peut avoir des conséquences néfastes sur la production végétale et les propriétés physico-chimiques des sols.

3.2. Suivi du la culture d'orge

3.2.1. Caractères morphologiques

Les résultats de suivi de la culture d'orge irrigué par les eaux usées traitées sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau V: résultats de suivi de la culture

Caractères morphologiques	résultat
Nombre des talles	3.18
Longueur de tige	52.3cm
Longueur d'épis	4.5cm
longueur de la barbe	8.3cm

3.2.2. Les composantes des rendements**Le rendement théorique**

- ✓ **Nombre d'épis par m²** : Cette composante est influencée directement par le taux de tallage, donc la valeur moyenne enregistrée est de 221 épis.
- ✓ **Nombre des graines par épis :**

Le nombre de grains par épi dépend de la disponibilité de l'eau pendant la phase végétative et pendant la phase d'élongation de la tige (GARCIA DEL MORAL et RAMOS, 1992 in BOUZIANE, 2001). Cette composante influençant le rendement. Pour notre cas le nombre de grain par épis est de 21.

- ✓ **Poids de 1000 grains** : Le poids de 1000 grains est l'un des facteurs importants dans l'équation des composantes du rendement. Le poids de 1000 grains pour notre cas est de 27.7g.

Après l'obtention de toutes les composantes principales du rendement, on va appliquer la formule suivante pour déterminer le rendement (SOLTNER, 1986) :

- Rendement (g/m²) = Nombre d'épis/m² × Nombre de grains/épi × poids d'un grain (g)
- Rendement (Qx/ha) = Rendement (g/m²) / 10
- Rendement (g/m²) = 274 x 21 x (27.7/1000) = 159.38/m²
- Rendement (Qx/ha) = 159.38 g/m²/10 = 15.938 Qx/ha

CONCLUSION

Conclusion

De part sa situation géographique, l'Algérie est un pays sec, aux faibles ressources hydriques. Les projets de réutilisation des eaux usées traitées (REUT) participent à la gestion intégrée des ressources en eau. L'épuration de l'eau usée et son utilisation en irrigation est une option attrayante, en particulier dans les zones arides et semi-arides, car elle représente une source d'eau et d'éléments fertilisants additionnels renouvelables.

La région d'Ouargla dispose de grandes potentialités en eaux usées épurées, qui peuvent être utilisées dans différents secteurs, comme le secteur agricole pour l'irrigation des cultures, à condition de mettre en place un suivi rigoureux de son épuration et des études plus approfondies. 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.

A travers ce travail, on a essayé d'étudier l'impact de l'utilisation des eaux usées traitées sur les paramètres physico-chimiques d'un sol cultivé en orge, dans la station de l'ONA de Sidi Khouiled.

Le sol de cette station est un sol à texture grossière, filtrant, ayant un pH neutre, un faible taux de calcaire total et présentant une salinité élevée.

Les résultats du présent travail de recherche indiquent que l'utilisation des eaux usées et traitées en irrigation a induit une augmentation de la conductivité électrique du sol, en profondeur, sous l'effet de lixiviation des sels en profondeur par les doses d'eau appliquées. Les résultats ont mis en évidence une augmentation de la teneur en matière organique, surtout dans les horizons profonds du sol. La charge ionique est élevée, vue les grandes teneurs en chlorure et sulfate et sodium dans les horizons de profondeur.

En ce qui concerne la culture d'orge, on peut dire que cette culture a bien réussi, après avoir été irriguée par des eaux usées épurées. Ceci a été exprimé par le bon développement et croissance de la culture durant la période de suivi, ainsi que les rendements obtenus.

L'ensemble des résultats obtenus constitue une étape vers la compréhension des effets affectant les sols irrigués par la EUE dans la région d'Ouargla.

Enfin, l'utilisation des eaux usées traitées en irrigation semble être encourageante, mais, il est important de signaler qu'un projet de valorisation agricole des eaux usées traitées dans la région d'Ouargla doit prendre en considération, en plus de toutes les contraintes liées à l'eau épurée en milieu saharien défavorable, le contexte socio-économique et culturel de la population. L'approche multidisciplinaire est très conseillée pour la réalisation de projets

raisonnés de réutilisation des eaux épurées. Cette approche nécessite l'intégration de tous les acteurs aussi bien en amont qu'en aval. Il faut mettre en place des programmes de suivis dans les zones d'épandages des eaux épurées et des boues résiduelles à plusieurs niveaux (sols, cultures, santé et environnement), pour atteindre les résultats envisagés. Pour cela, il est indispensable de faire des études poussées concernant le comportement des cultures, la contamination des cultures, des sols et des nappes. Il faut s'inspirer des expériences des autres pays concernant cette thématique afin d'utiliser les eaux usées épurées dans les projets de développement durable en régions sahariennes, en préservant et contribuant à une gestion rationnelle des ressources hydriques sahariennes.

RÉFÉRENCES

BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

A.D.E (Algérienne Des Eaux) 2015. Caractéristiques des eaux de forage de la ville de Sidi Khouiled

A.N.R.H., 2010. L'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques de la Wilaya de Ouargla : Rapports techniques.

ADLER E., 2005. Éléments sur l'épuration des eaux usées et la gestion des sous-produits de l'assainissement. ENTPE.

AIT RACHID L ;1991 : Essai comparatif de quelque lignées F6 d'orge (*Hordeum vulgare*). Mémoire. Ing. Agr-I.N.A. El Harrach (Alger). 138 p.

AM. J. POTATO, 1965. Glossary Of Soil Science Terms. Ed. Soil Science Society of America. Res. 42, 346. [Online] <https://www.soils.org/publications/soils-glossary>.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIAL, (1974). Standard Method ASTM Standards. Part 19; 70-80.

AZOUGGAGH, (2001) - Transfert de technologie en agriculture bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTTA.MADREEF/DERD N81, juin 2008.

BAHRI A., HOUMANE B., 1987. Effet de l'épandage des eaux usées traitées et des boues résiduaires sur les caractéristiques d'un sol sableux de Tunisie. SCIENCE DU SOL 1987 - Vol. 25/4. PLAISIR-FRANCE. pp267-278.

BAIZE DENIS, (2000). Guide des analyses en pédologie: 2e édition, revue et augmentée. Editions Quae, 2000 - Technology & Engineering - 257 pages.

BARMA, 2013, FSE. Université Laval. Chantier 7,p1.

BAUMONT S., CAMARD J.P., LEFRANC A et FRANCONI A., 2004. Réutilisation des eaux usées épurées : risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France. Rapport ORS (Observatoire régional de santé d'Ile-de-France), France.

BELAID N., 2010. Évaluation 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 en chimie et microbiologie de l'eau. Université de Sfax. Tunisie.

BENABDALLAH S et NEUBERT S., 2003. La réutilisation des eaux usées traitées en Tunisie. Institut Allemand de Développement Bonn. Allemagne.

BENAITES ; 1989 : Essais de compartiment de cinq variété de vexe (*Vicia sativa* L) 5CS.3CS chelif. Tidjedrett à l'irrigue, dans la station expérimentale d'Ain Bennaoui (W.BISKRA).Mémoire. Ing. Agro. Saha. I.T.A.S. Ouargla. 45 p

BIASE, D, 2000. Guide des analyses en pédologie, techniques et pratique, Ed INRA, Paris.

BITTELLI M., CAMPBELL G.S. ET FLURY M., (1999). Characterization of particle size distribution in soils using a fragmentation model. soilsci. soc. Am.J. Vol 63. Pp : 782-78

BONNARD et GARDEL, 2003. Vallée d'Ouargla. Etude d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation. Mesures complémentaires de lutte contre la remontée de la nappe phréatique. Volet d'étude d'impact sur l'environnement. Mission III: Collecte et analyse des données. Lausanne, p 26.

BORNI.D et SAAD.K, 2006. Le pilotage de l'irrigation localisée pour la culture de tomate (*Lycopersicum esculentum*) sous serre .Pp 4-5

BOUHANIA R., ZEHRI S, 2005, Etude comparative de deux types d'engrais phosphatés sur céréales à pailles (orge) dans la région d'Oued Righ (Station El-Arfiane). Thèse d'ingénieur en science agronomique, Université de OUARGALA.

BOUKHRIS K., 2012. Mode de dégradation des aridosols par précipitations salines saisonnières, approche géochimique (cas de la cuvette de Ouargla). Mémoire ingéniorat. Université d'Ouargla, 82p.

BOULAINÉ, J. 1989. Histoire Des Pédologues Et De La Science Du Sol. Ed. INRA. 285 P.

- BOULAL H., ZAGHOANE O., EL MOURID M. ET REZGUI S., 2007.** Guide pratique de la conduite des céréales d'automne (blés et orge) dans le Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie). Ed. TIGC, 93p.
- BOUZIANE. A, 2001.** Influence de trois itinéraires techniques sur le rendement d'un blé dur (Variété : Mexicali) dans le sud de KHENCHELA (ROUIDJEL). Thèse d'ingénieur. INSA. BATNA. 46 P.
- BRL., 2011.** Réutilisation des eaux usées traitées -perspectives opérationnelles et recommandations pour l'action. Rapport final. Agence Française de Développement.
- CALVET R., (2003).** Le sol propriétés et fonctions. Tome 2 : phénomènes physiques et chimiques, applications agronomiques et environnementales. France agricole. France. p : 97-188.
- CLEMENT G et PRATS J ; 1971 :** Les céréales C.D.T d'enregistrement agricole. P 9-239.
- CLEMENT.M et PIELTAIN.F, 2003.** Analyse chimique des sols, méthodes choisies. Ed. TEC, Paris.
- 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.
- DAJOZ R., 2006.** Précis d'écologie. Ed. *Dunod*. Paris, p 621.
- DAOUD Y., HALITIM A., 1994-** Irrigation et salinisation au Sahara Algérien. Sécheresse.
- DEGREMONT., 2005.** Mémento technique de l'eau. Tome 1. 10ème édition.
- DER HOK W V., 2007.** A Framework for a Global Assessment of the Extent of Wastewater Irrigation: The Need for a Common Wastewater Typology. *Wastewater Use in Irrigated*

Agriculture coordinating the Livelihood and Environmental Realities. Eds. CAB Inter. Inter Water Management Institute, and Inter. Devel. Research Centre. pp 16-29.

DJELLOUT, 2001. Etude phréologique comparative entre quatre variétés étrangères et deux variétés locales de Blé dur (*Tricum Durum* Desf). Thèse DUEA, pp47-48

DUBIEF J., 1953. Essai sur l'hydrologie superficielle au Sahara. S.E.S., Alger, 457p.

DUCHAUFOR, 1984. P. Abrégés De Pédologie. Ed. Masson. Paris, 220 P.

DUTIL P., 1971. Contribution à l'étude des sols et des paléosols sahariens. Thèse de doct. Sciences de l'université Strasbourg, 346p.

EL ASSLOUJ J ; E KHOLTEI S ; EL AMRANI N ET HILALI A. 2007 Analyse de la qualité physico-chimique des eaux souterraines de la communauté des Mzamza, au voisinage des eaux usées. Afrique SCIENCE 03(1) (2007) 109 - 122

F.A.O ;(1990) Management of gypsi ferous soils. Soils Bulletin 62, F.A.O. Rome 81 p.

FAO, 1990. Gestion des eaux irrigation, Manuel de formtion N°5.Pp 2-4.

FAO., 2003.L'irrigation avec des eaux usées traitées : Manuel d'utilisation.

for Particle-size analysis of Soil. D. 422-63 (Reapproved 1972) Annual Book of

FREMER., 2002. La surveillance des rejets urbains en Méditerranée. Guide méthodologique.

Gate, P. 1979. Ecophysiologie de blé, 53p

GOBAT J M., ARGNO M ET MATHEY W., (2010). Le livre le sol vivant Bases De Pédologie–Biologie Des Sols (3eme Ed., Vol.1).Italie :Revu Et Augmentée Page 51-60.

HAMDI AISSA,2001-Le fonctionnement actuel et passé de sols du nord du Sahara (cuvette d'Ouargla . Approches micro morphologique , géochimique , minéralogique et organisation spatial , Thèse Doct .,I.N.A-.G , Paris283,310p

HAMOUDA M.F. (2004), Water strategies and potential of water reuse in the south Mediterranean countries. Desalination 165, 31-41.

- IDDER T. 2007.** Le problème des excédents hydriques à Ouargla : situation actuelle et perspectives d'amélioration. Sécheresse vol. 18, n° 3. pp161-167.
- IDDER,T., IDDER,A .,TANKARI DAN-BADJOB,A .,BENZIDA,A., MERABET, S., NEGAIS,H .,SERRAYE,A.(2014) .**Revue des Sciences de l'Eau.155-164 p
- KHADRAOUI A., 2006.** Eaux et sols en Algérie, gestion et impact sur l'environnement. 236p.
- LARKEM F et BACEL S., 2005.** Traitements des eaux usées "effluents" de la raffinerie de Skikda. Mémoire d'ingénieur. Université de Constantine.
- LAZAROVA V et BRISSAUD F., 2007.** Intérêt, bénéfices et contraintes de la réutilisation des eaux usées en France, L'eau, l'industrie, les nuisances N° 299.
- LEGROS, J.P. 2007.** Les Grands Sols Du Monde. Ed. Presses Polytechniques et universitaires Romandes. Lausanne, 574 P.
- LEONE A.P., MENENTI M., BUONDONNO A., LETIZIA A., MAFFEI C., SORRENTINO G. (2007),** A field experiment on spectrometry of crop response to soil salinity; Agricultural Water Management 89 39 – 48.
- MAPANDA F., MANGWAYANA E.N., NYAMANGARA J.ET GILLER K.E., (2005),** The effect of long-term irrigation using wastewater on heavy metal contents of soils under vegetables in Harare,Zimbabwe. Agriculture, Ecosystems and Environment 107 151–165.
- MATHIEU C., PIELTAIN F., 2009.** Analyses chimique des sols méthodes choisies. Collaborateurs JEANROY E., MARCOVECCHIO F., SERVAIN F., SOUCHEYRE H. Ed. Lavoisier. 389p.
- METAHRI MS., 2012.** Elimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées, par des procédés mixtes. Cas de la STEP de la ville de Tizi-Ouzou. Th. Doc. Univ. de MOULOUD MAMMARI de Tizi-Ouzou.
- MISSAOUI Y ,1991 .** Evolution de la salinité en fonction des doses d'irrigation à l'I.T.D.A.S de Biskra Mémoire Ing –Agro Saha- infsas. Ouargla p 79.

MIYAMOTO S.ET CHACON A. (2006), Soil salinity of urban turf areas irrigated with saline waterII. Soil factors. Landscape and Urban Planning 77, 28–38.

MIZI A, 2006.Traitement des eaux de rejets d'une raffinerie des corps gras région de Bejaia et valorisation des déchets oléicoles. Thèse de doctorat. Université de Badji Mokhtar. Annaba.

MOSSAB M , 1991 : culture à double fin avec la filière blé OAIC. Pp 213-220.

MRE (2012). Ministère des Ressources en Eau, Algérie, 2012

O.N.A (2009, 2010,2015). Rapport de l'office national de l'assainissement d'Ouargla, Algérie. Fiche technique.

O.N.M, 2019 (Office Nationale de Météorologie). Les données climatiques d'Ouargla.

OMS., 1989. L'utilisation des eaux usées en agriculture et aquiculture : recommandation a visées sanitaires. Organisation Mondiale de la Santé, Genève.

OUAFAE M., LAHRACH A., EI 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.

OUANOUKI B., ABDELLAOUI N., AIT ABDALLAH N., 2009. Application in Agriculture of Treated Wastewater and Sludge from a Treatment Station European Journal of Scientific Research. pp 602-619.

PAPAIACOVOU I. (2001), Case study- wastewater reuse in Limassol as an alternative water source, Desalination 138, 55-59.

PLAUCHU, 2004.Economie de l'environnement

PRATS ET CLEMENT. M, 1971. Les céréales, 13ème édition collection sciences et technique agricole.

RATTAN R.K., DATTA S.P., CHHONKAR P.K., SURIBABU K., SINGH A.K. (2005), Long-term impact of irrigation with sewage effluents on heavy metal content in soils, crops and groundwater—a case study. Agriculture, Ecosystems and Environment 109, 310–322.

RODRIGEZ-GRACIA A., 2004. Étude de la congélation comme technique de traitement des eaux: applications spécifiques. Thèse de doctorat. L'institut national des sciences appliquées de Toulouse. Université de Toulouse. France.

ROUVILLOIS-BRIGOL M., 1975- Le pays de Ouargla (Sahara algérien) Variation et organisation d'un espace rural en milieu désertique, pub Université du Sorbonne, Paris, 316p.

SAIYOURI N. **Projet d'eau 2012** ; méthode d'irrigation en milieu aride.

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.

SIMON H., et al., 1989. Produire des céréales à paille

SLIMANI R., 2006. Contribution à l'évaluation d'indicateurs de pollution environnementaux dans la région de Ouargla: Cas des eaux de rejets (agricoles et urbaines). Mém. Magister. Univ. Kasdi Merbah Ouargla. 106p.

SOLTNER D., 1990. Les bases de la reproduction végétale. Sol, climat, plante. Ed. Lavoisier, 464 p.

SOLTNER, 1980. Les grandes productions végétales, collections de sévices des techniques agricoles.

SOLTNER, 1988. Les bases de la production végétale. Troisième édition p566.

SOLTNER. D, 1986 : Les bases de la production végétale : le sol – le climat – la plante. Tome n° I, le sol. 14ème édition. Collection scientifique et techniques agricole. Edition : VANDER. BRUXELLE. PARIS, 464 P.

SOUILAH N., 2009. Diversité de 13 génotypes d'orge (*Hordeumvulgare L*) et de 13 génotypes de blé tendre (*Triticumaestivum L*) : étude des caractères de production et d'adaptation .Thèse Magister, université Constantine ,165p.

TAMRABET L., 2011. Contribution à l'étude de la valorisation des eaux usées en maraichage. Th. Doc. Sciences Hydrauliques. Inst. Génie Civil Hydr. Archi. Univ. Hadj Lakhdar. Batna. 147p.

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. Pp. 295-302.

U.N.E.S.C.O., 1972. Projet Reg 100. Etude des ressources en eau du Sahara septentrional. Rapport sur les résultats du projet. Paris.

VILLAGRA P.E. ET CAVAGNARO J. B. (2005), Effects of salinity on the establishment and early growth of *Prosopis argentina* and *Prosopis alpataco* seedlings in two contrasting soils: Implications for their ecological success. *Austral Ecology* 30, 325-335 p.

ANNEXES

Annexe 01: des normes de rejet de l'OMS et celle de l'Algérie (in Ladjel, 2006).

Caractéristiques	Normes de l'OMS	Normes Algériennes
T (C°)	25-30	30
PH	6,9- 9	5.5-8.5
DBO ₅ (mg/l)	30	40
DCO (mg/l)	90	120
MES (mg/l)	30	30
NTK (mg/l)	50	40
Phosphate (mg/l)	2	2
Huiles et graisses	20	20

Annexe 02 : les valeurs limitent des paramètres de rejet dans un milieu récepteur (Journal Officiel de la République Algérienne ,1993).

Paramètres	Unités	Valeurs Limites
Température	°C	30
pH		6,5-8,5
MES	mg/l	35
Turbidité	UTN	50
DBO5	mg/l	35
DCO	mg/l	120
Azote Kjeldahl	mg/l	30
Phosphates	mg/l	02
Phosphor total	mg/l	10
Cyanures	mg/l	0,1
Aluminium	mg/l	03
Cadmium	mg/l	0,2
Fer	mg/l	03
Manganèse	mg/l	01
Mercure total	mg/l	0,01
Nickel total	mg/l	0,5
Plomb total	mg/l	0,5
Cuivre total	mg/l	0,5
Zinc total	mg/l	03
Huiles et Graisses	mg/l	20
Hydrocarbures totaux	mg/l	10
Indice Phénols	mg/l	0,3
Fluors et composés	mg/l	15

Annexe 03: Recommandations microbiologiques pour la REUE en agriculture

Groupe des Cultures à irriguer	Critères de qualité microbiologiques	
	Nématodes (œufs / L) (moyenne arithmétique)	Coliformes Fécaux (CFU / 100 ml) (moyenne géométrique)
Irrigation non restrictive. Culture de produits pouvant être consommés crus.	Absence	< 100
Légumes qui ne sont consommés que cuits. Légumes destinés à la conserverie ou à la transformation non alimentaire.	< 0.1	< 250
Arbres fruitiers (1). Cultures et arbustes fourragers (2). Cultures céréalières. Cultures industrielles (3). Arbres forestiers. Plantes florales et ornementales (4).	<1	Seuil recommandé <1000
Cultures du groupe précédent (CFU/100ml) utilisant l'irrigation localisée (5) (6).	Pas de normes recommandées	1000

(JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE, 2012).

- (1) L'irrigation doit s'arrêter deux semaines avant la cueillette. Aucun fruit tombe ne doit être ramassé sur le sol. L'irrigation par aspersion est à éviter.
- (2) Le pâturage direct est interdit et il est recommandé de cesser l'irrigation au moins une semaine avant la coupe.
- (3) Pour les cultures industrielles et arbres forestiers, des paramètres plus permissifs peuvent être adoptés.

(4) Une directive plus stricte (<200 coliformes fécaux par 100 ml) est justifiée pour l'irrigation des parcs et des espaces verts avec lesquels le public peut avoir un contact direct, comme les pelouses d'hôtels.

(5) Exige une technique d'irrigation limitant le mouillage des fruits et légumes.

(6) A condition que les ouvriers agricoles et la population alentour maîtrisent la gestion de l'irrigation localisée et respectent les règles d'hygiène exigées. Aucune population alentour.

Annexe 04 : Recommandations physico-chimiques pour REUE en agriculture

	Paramètres	Unité	Concentration max admissible
Physiques	pH	mg/l	
	MES	ds/m	
	CE	ds/m	
	Infiltration le SAR = 0-3 CE	0.2	
	3-6 6-12 12-20 20-40	0.3 0.5 1.3 3	
Chimiques	DBO5	mg/l	30
	DCO	mg/l	90
	Chlorure (Cl)	meq/l	10
	Azote (NO3-N)	mg/l	30
	Bicarbonates (HCO3)	meq/l	8.5
Eléments toxiques (*)	Aluminium	mg/l	20.0
	Arsenic	mg/l	2.0
	Cadmium	mg/l	0.05
	Béryllium	mg/l	0.5
	Chrome	mg/l	1.0
	Cobalt	mg/l	5.0
	Cuivre	mg/l	5.0
	Bore	mg/l	2.0
	Cyanures	mg/l	0.5
	Fluor	mg/l	15.0
	Fer	mg/l	20.0
	Phénols	mg/l	0.002
	Plomb	mg/l	10.0
	Lithium	mg/l	2.5
	Manganèse	mg/l	10.0
	Mercure	mg/l	0.01
	Molybdène	mg/l	0.05
	Nickel	mg/l	2.0
	Sélénium	mg/l	0.02
	Vanadium	mg/l	1.0
Zinc	mg/l	10.0	

Annexe 05: Recommandations microbiologiques de l'OMS 1989 pour les eaux usées destinées à l'irrigation (OMS., 1989).

Catégorie	Condition de réutilisation	Groupe exposé	Nématodes intestinaux ^a (nbre, d'oeuf/litre) moyenne arithmétique	Coliformes intestinaux (nbre/100 ml) moyenne géométrique	Procédé de traitement susceptible d'assurer la qualité microbiologique voulue
A	Irrigation de cultures destinées à être consommées crues, des terrains de sport, des jardins publics	Ouvriers agricoles consommateurs, public	< =1	< = 1000d	Une série de bassins de stabilisation conçus de manière à obtenir la qualité microbiologique voulue ou tout autre procédé de traitement équivalent
B	Irrigation des cultures céréalières, industrielles et fourragères, des pâturages et des plantations d'arbre ^e	Ouvriers agricoles	< =1	Aucune norme n'est recommandée	Rétention en bassins de stabilisation pendant 8-10 jours ou tout autre procédé d'élimination des Helminthes et des coliformes intestinaux
C	Irrigation localisée des cultures de la catégorie B si les ouvriers agricoles et le public ne sont pas exposé	Néant	Sans objet	Sans objet	Traitement préalable en fonction de la technique d'irrigation, mais au moins sédimentation primaire.

Annexe 06: Echelle d'ATTERBERG de classification des particules constituant la terre fine (in DADI BOUHOUNE et HAMDI AISSA, 2008).

diamètre	Sol
$<2\mu$	Argileux
2-20 μ	Limon fin
20-50 μ	Limon grossier
50-200 μ	Sable fin
200-2000 μ	Sable grossier

Annexe 07: Echelles d'interprétation de la Matière organique (I.T.A, 1975 in HAFOUDA, 2005).

MO (%)	Sol
MO < 1	Très pauvre
1 < MO < 2	Pauvre
2 < MO < 4	Moyen
MO > 4	Riche

Annexe 08: Classe des sols gypseux (BARZANJI, 1973 in HELIMI, 2010)

Gypse	Nom de la classe
<0,3	Non gypseux
0,3-10	Légèrement gypseux
10-15	Modérément gypseux
15-25	Fortement gypseux
25-50	Extrêmement gypseux

Annexe 09: Echelle d'interprétation de Calcaire Total (BAISE, 2000).

CaCO₃ (%)	Sol
CaCO ₃ <1%	Non calcaire
<1CaCO ₃ <5%	Peu calcaire
5<CaCO ₃ <25%	Modérément calcaire
25<CaCO ₃ <50%	Fortement calcaire
50<CaCO ₃ <80%	Très fortement calcaire
CaCO ₃ >80%	Excessivement calcaire

Annexe 10: Echelles d'interprétation de pH extrait 1/5 (in DADI BOUHOUNE et HAMDI AISSA, 2008).

Valeur de pH	Classe d'interprétation
< 4.5	Extrêmement acide
4.5 - 5.0	Très fortement acide
5.1 - 5.5	Fortement acide
5.6 - 6.0	Moyennement acide
6.1 - 6.5	Légèrement acide
6.6 - 7.3	Neutre
7.4 - 7.8	Légèrement alcalin
7.9 - 8.4	Moyennement alcalin
8.5 - 9.0	Fortement alcalin
> 9.0	Très fortement alcalin

Annexe 11: Echelle de salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait dilué 1/5 (AUBERT., 1978).

CE dS/m à 25°C	Degrés de salinité
$CE \leq 0.6$	Sols non salés
$0.6 < CE \leq 1.2$	Sols peu salés
$1.2 < CE \leq 2.4$	Sols salés
$2.4 < CE \leq 6$	Sols très salés
$CE > 6$	Sols extrêmement salés

Annexe 12 : 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			

Annexe 13: Les charges hydrauliques dans le réseau d'assainissement déférent horizons

HORIZON		2005	2015	2030
Population totale	EH	3967	5415	7165
Taux de raccordement au réseau	%	80	90	100
Population raccordée	EH	3174	4874	7165
DEFINITION DU DEBIT TOTAL D'EAUX USEES				
Débit d'eaux usées	m3/j	441	677	995
Débit d'eaux parasites	m3/j	66	67	99
Débit total	m3/j	507	744	1094

Annexe14: temps d'arrosage appliqué dans l'irrigation d'orge.

dates	les phases	dose (mm)	temps d'arrosage (mn)
10-déc	Germination	18	3,2
04-janv	Levée	24	4,2
20-janv	Levée	27	4,7
31-janv	Levée	30	5,2
09-févr	Tallage	32	5,6
17-févr	Tallage	32	5,6
24-févr	Tallage	32	5,6
02-mars	Phase montaison	32	5,6
08-mars	Phase montaison	34	6
13-mars	Phase montaison	34	6
18-mars	Phase montaison	34	6

23-mars	Phase Gonflement	32	5,6
29-mars	Phase Gonflement	39	6,8
04-avr	Phase d'épiaison	42	7,4
11-avr	Phase fécondation – floraison	45	7,9
19-avr	Phase fécondation – floraison	45	7,9
28-avr	Maturation des grains	48	8,4

Annexe15: les échantonnages



Photo n°1 : prélèvement du sol



Photo n°2: séchage du sol

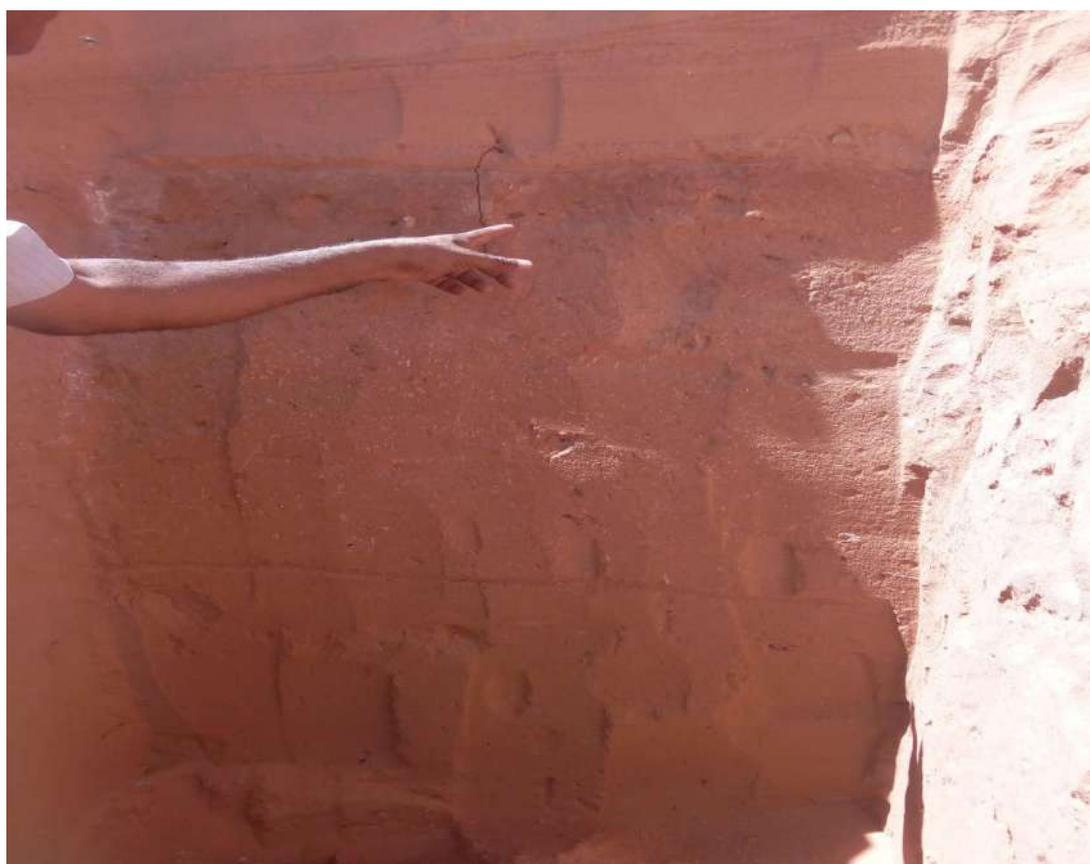


Photo n°3 : le profil pédologique

Annexe16: suivi du la culture



Photo n°4 : stade de levé



Photo n°5 : stade montaison



Photo n°6 : stade de tallage



Photo n°7 : prélèvement du sol



Photo n°8 : stade de maturation



Photo n°9 : la récolte



Photo n° 10 : les épis

L'effet d'utilisation des eaux usées traitées en irrigation sur certaines propriétés physico-chimiques de sol dans la cuvette d'Ouargla

Résumé

Les projets de réutilisation des eaux usées traitées (REUT) participent à la gestion intégrée des ressources en eau et à la préservation de l'environnement.

L'objectif de notre étude est d'évaluer l'effet de l'irrigation par les EUT au niveau des parcelles sur les propriétés physico-chimiques du sol dans la région de Ouargla.

Les principaux résultats obtenus dans le cadre de cette recherche montrent que l'irrigation par les eaux usées traitées possède un effet positif sur la richesse du sol en éléments fertilisants ainsi que des effets négatifs à savoir la salinisation des horizons de surface de sol et des concentrations élevées en ions (Na^+ , SO_4^{2-} , Cl^-).

Par une meilleure utilisation des eaux usées traitées, une des mesures prises consiste à assurer un suivi périodique et régulier de l'utilisation de ces eaux. Un tel suivi est sanctionné par une évaluation de leur impact sur le sol et une recherche des solutions pour résoudre les éventuels problèmes qui peuvent se poser.

Mots clés : les eaux usées traitées, réutilisation, propriétés physico-chimiques du sol.

تأثير استخدام المياه العادمة المعالجة في الري على بعض الخواص الفيزيائية والكيميائية للتربة في ولاية ورقلة

الخلاصة:

تسهم مشاريع إعادة استخدام المياه العادمة المعالجة في الإدارة المتكاملة لموارد المياه والحفاظ على البيئة.

الهدف من دراستنا هو تقييم تأثير الري باستعمال المياه العادمة المعالجة على الخواص الفيزيائية والكيميائية للتربة في منطقة ورقلة.

أظهرت النتائج الرئيسية التي تم الحصول عليها من هذا البحث أن للري بمياه الصرف المعالجة تأثير إيجابي على ثراء التربة بالعناصر المغذية وكذلك آثار سلبية مثل تملح آفاق سطح التربة وارتفاع تركيز الأيونات (Na^+ , SO_4^{2-} , Cl^-).

أحد التدابير المتخذة لتحسين استخدام المياه العادمة المعالجة هو ضمان الرصد الدوري والمنتظم لاستخدام هذه المياه. تتم المصادقة على هذا الرصد من خلال تقييم تأثيرها على التربة والبحث عن حلول مناسبة لأي مشاكل قد يظهر.

الكلمات المفتاحية: المياه العادمة المعالجة، إعادة الاستخدام، الخواص الفيزيائية والكيميائية للتربة.

The effect of using treated wastewater in irrigation on certain physical and chemical properties of soil in the Ouargla

Summary:

The treated wastewater reuse projects (RTW) contribute to the integrated management of water resources and the preservation of the environment.

The objective of our study is to evaluate the effect of irrigation with treated wastewater on the physico-chemical properties of soil in Ouargla region.

The main results obtained from this research show that irrigation with treated wastewater has a positive effect on soil nutrient richness as well as negative effects namely salinization of soil surface horizons and increasing of ions concentrations (Na^+ , SO_4^{2-} , Cl^-).

One of the measures taken to improve the use of treated wastewater is to ensure periodic and regular monitoring of the use of these waters. Such monitoring is sanctioned by an assessment of their impact on the ground and a search for appropriate solutions to solve any problems that may arise.

Key words: treated wastewater, reuse, and physico-chemical soil properties.