UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des sciences de la nature et de vie et sciences de la terre et de l'univers

Département des sciences de la nature et de la vie

Mémoire
MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences de la nature et de la vie
Filière : Ecologie
Spécialité : Science de l'environnement

Présenté par :

Melle : BOUKHALFA Amel
Melle : KAFI Khadidja Nadjla

Thème

Conséquences de l'utilisation de deux types d'eau d'irrigation sur les paramètres physico-chimique d'un sol de la station d'épuration de Ouargla

Soutenu publiquement :
Le:16/06/2013

Devant le jury :

Président	M.DADDI BOUHOUN M	M.C.A	UKM Ouargla
Encadreur	M.IDDER T	M.C.A	UKM Ouargla
Co-promoteur	M.IDDER A	M.A.A	UKM Ouargla
Examinateur	M.MENSOUS M	M.A.B	UKM Ouargla

Année Universitaire : 2012 /2013

Remerciements

Merci Allah (mon dieu) de nous avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire, la patience d'aller jusqu'au bout du rêve et le bonheur de lever nos mains vers le ciel et de dire " Ya Kayoum ".

Nous tenons a exprimer nos vifs remerciements à notre encadreur << M.Idder Tahar >> pour ses orientations et ses conseils judicieux et nous adressons également nos respectueux remerciements à notre co-promoteur Mr << IDDER Abdelhak >> qui nous a fait l'honneur de participer à l'évaluation de notre travail par leurs vastes connaissances et leur esprit critique constructif pour nous aider, par leurs commentaires et leurs discussions, à mieux comprendre certains problèmes rencontrés au cours de ce travail de recherche, et sans oublier bien sur Mr.Berkal.I pour leurs conseils, aussi Mr.Ourahmoune. H, Mr.Chettouh. A et à toute l'équipe de la STEP de ouargla.

Aussi a tous ceux qui nous ont aidé de près ou de loin dans l'élaboration de ce travail.

Enfin, nous espérons du fond de nos coeurs que tous ce petit monde trouve ici un mot de reconnaissance et chacun se reconnaisse en ce qui le concerne. Nous espérons aussi que l'effort fourni dans le présent travail reponde aux attentes des uns et des autres.

Mlle. Kafi Khadidja Nadjla

Mlle. Boukhalfa Amel

Dédicace

Je dédie ce travail :

A Mes chers parents

A Mes frères : Hamza et Khalil

A mes sœurs : Karima, Sara, Wafa et mounira

A mes nièces et mes neveux

A tous mes amis

A toute ma famille

A tous ceux qui me sont chers

Mlle Khadidja Nadjla

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à celle qui m'a donné la vie, le symbole de tendresse, qui s'est sacrifiée pour mon bonheur et ma réussite, à ma mère ...
A mon père, école de mon enfance, qui a été mon ombre durant toutes les années des études, et qui a veillé tout au long de ma vie à m'encourager, à me donner l'aide et à me protéger.
Que dieu les gardes et les protège.
A mes adorables sœurs : Chahra et Meriem.
A mes frères : Redha, Saleh et Abdessalem.
A mes amies.
A tous ceux qui me sont chères.
A tous ceux qui m'aiment.
A tous ceux que j'aime.
Je dédie ce travail.

Mlle Boukhalfa Amel

Liste des abréviations

Abréviation	***Signification***
ONA	Office National de l'Assainissement
STEP	Station d'épuration des eaux usées
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
AFD	Agence Française de Développement
ANRH	Agence Nationale des Ressources Hydrauliques
REUE	Réutilisation des Eaux Usées Epurées
EUT	Eau Usée Traitée
USEPA	agence américaine pour la protection de l'environnement
FAO	Food and Agriculture Organisation
pH	Potentiel d'hydrogène
SAR	Sodium Adsorption Ratio
CE	Conductivité électrique
CI	Continental Intercalaire
CT	Complexe Terminal
P_x H_x	Profil x Horizon x
RN	Route Nationale
S.m	Sable moyen
S.t.f	Sable très fin
S.g	Sable grossier
S.f	Sable fin
S.t.g	Sable très grossier
A	Argile
L	Limon

Liste des photos

Photo	***Titre***	***N° de pages***
photo N° 01	le site choisit pour l'expérience	23
Photo N° 02	préparation de terrain pour la plantation des plantules	24
Photo N° 03 et 4	plantation des cultures	25
Photo N° 05 et 6	l'irrigation des plantules	26
Photo N° 07 et 8	La réalisation des profils	26
Photo N° 09	délimitation des horizons	27
Photo N° 10 et 11	Prélèvement des échantillons	27
Photo N° 12	détermination de la couleur du sol	27
Photo N° 13et 14	Prélèvement des échantillons avec la tarière	28
Photo N° 15	mesure de l'humidité	29
Photo N° 16	tamisage avec l'utilisation d'un vibreur	30
Photo N° 17	le sol pesé	30
Photo N° 18	solution du sol dans l'agitateur	30
Photo N° 19	filtration des solutions du sol	30
Photo N° 20	mesure de la conductivité électrique	31

Liste des figures

Figure	***Titre***	***N° de pages***
Figure N° 01	Nature de la pollution des eaux	3
Figure N° 02	La grande cuvette de Ouargla	16
Figure N° 03	Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen de pour la région de Ouargla (1998-2012).	18
Figure N° 04	Situation de ville de Ouargla selon le Climagramme d' Emberger (1998-2012)	18
Figure N° 05	Situation géographique de la STEP par rapport à la ville de Ouargla	20
Figure N° 06	Schéma de la station d'épuration de Ouargla	21
Figure N° 07	Localisation du site d'étude	23
Figure N° 08	Répartition des ions dans le profil 1	36, 37
Figure N° 9	Pourcentage de répartition des ions dans le profil 2	39
Figure N° 10	Profil salin (profil 1)	40
Figure N° 11	Profil salin (profil 2)	40
Figure N° 12	Répartition des ions dans l'eau de forage	43
Figure N° 13	Répartition des ions dans l'eau usée traitée	44
Figure N°15, 16, 17,14	Répartition des ions dans le sol irrigué par l'eau de forage et l'eau usée traitée	47
Figure N° 18	répartition des ions dans l'eau de forage, sol irriguée par l'eau de forage et le sol nu (p1 h1)	50

Figure N° 19	répartition des ions dans l'eau de forage, sol irriguée par l'eau de forage et le sol nu (p1 h2)	51
Figure N° 20	répartition des ions dans les eaux traitée, sol irriguée par l'eau traitée et le sol nu (p2 h1)	52
Figure N° 21	répartition des ions dans les eaux traitée, sol irriguée par l'eau traitée et le sol nu (p2 h2)	54

Table des matières	
Introduction générale	1
Chapitre I : Généralités sur les eaux usées	
I.1. Définition des eaux usées	2
I.2. Origine des eaux usées	2
I.2.1. Les eaux usées domestiques	2
I.2.2. Les eaux usées urbaines	2
I.2.3. Les eaux usées industrielles	2
I.3. Les déversements d'eaux usées dans le milieu naturel	3
I.4. Traitement des eaux usées	3
I.4.1. Le prétraitement	3
I.4.2. Le traitement primaire (traitement physico-chimique)	4
I.4.3. Traitement secondaire (épuration biologique)	4
I.4.4. Les traitements tertiaires	4
I.5. Analyse de la qualité des eaux après traitement	4
I.6. Problématique de la réutilisation des eaux usées traitées	4, 5
I.7. Les principales voies de réutilisation des eaux usées traitées	5
I.7.1. La réutilisation industrielle	5
I.7.2. La réutilisation en zone urbaine	5, 6
I.7.3. La production d'eau potable	6
I.7.4. La recharge de la nappe	6
I.8. Valorisation agricole et forestière	6
Chapitre II : Évaluation de la qualité des eaux pour l'irrigation	
II.1. Critères de qualité des eaux usées traitées l'irrigation	7
II.2. Salinité des eaux	7, 8
II.2.1. Alcalinité	8
II.2.2. Sodisation	8
II.3. Les risques liés à la réutilisation agricole des eaux épurées	8, 9
II.3.1. Le risque microbiologique	8, 9
II.3.2. Le risque chimique	9
II.3.3. Le risque environnemental	9
II.3.3.1. Effets négatifs potentiels sur le sol	9
II.3.3.2. Avantages environnementaux d'utilisation des eaux usées traitées	9
II.4. Les différentes réglementations dans le monde	9, 10
II.4.1. Le point de vue de l'OMS	9, 10

II.4.2. Le point de vue de l'USEPA	10
II.4.3. La législation Algérienne	10
Chapitre III : les paramètres physico-chimiques du sol	
III.1. Les paramètres physico-chimiques du sol	11
III.1.1. Les paramètres physiques	11
III.1.1.1. La texture	11
III.1.1.2.La structure	11
III.1.1.3. L'humidité	11
III.1.2. Les paramètres chimiques	12
III.1.2.1. La salinisation du sol	12
III.1.2.1.1. Les causes de la salinisation	12
III.1.2.1.2. Signes de la salinisation	12
III.1.2.1.3. Mouvement des sels solubles dans les sols	13
III.1.2.1.4. Lixiviation des sels	13
III.1.2.1.5. Impact de la salinisation sur les sols	13
III.1.2.1.6. Remonté capillaire	13
III.1.2.2. Alcalinité	13, 14
III.1.2.3. Sodisation	14
III.1.2.4. PH	14
III.1.2.5. La conductivité électrique	15
Chapitre IV : matériel et méthodes	
IV.1.Présentation de la région d'étude	16
IV.1.1. Climatologie de la région	18
IV.1.1.1. La température	19
IV.1.1.2. Les précipitations	19
IV.1.1.4. L'humidité relative	19
IV.1.1.4. L'évaporation	19
IV.1.1.5. L'insolation	19
IV.2. les ressources hydriques	19
IV.2.1. La nappe du moi-pliocène	19
V.2.2. La nappe sénonien	20
IV.3. Le continental intercalaire (nappe Albienne)	20
IV.4.Présentation de la Station d'épuration (STEP) de Ouargla	20
IV.4.1.La localisation géographique	21
IV.4.2.Généralité sur la qualité du sol de Ouargla	21

IV.5. Caractéristiques des eaux usées de la ville de Ouargla	21, 22
IV.6. Approche méthodologique	22
IV.6.1. Objectif d'étude	22
IV.6.2. Argumentation du choix de site expérimental	22
IV.6.3. Situation du sol étudié	24
IV.6.4. Dispositif expérimental	25
IV.6.5. Méthode de prélèvement des échantillons	26
IV.7. Techniques des analyses physico-chimiques de l'eau et de sol	29
IV.7.1. Pour l'eau usée traitée	29
IV.7.1.1. Détermination de la conductivité électrique	29
IV.7.1.2. Détermination de pH	29
IV.7.2. Pour le sol	29
IV.7.2.1. L'humidité	29
IV.7.2.2. La Granulométrie	30
IV.7.2.3. La conductivité électrique	30
IV.7.2.4. Le PH	30
IV.7.2.5.analyses chimiques qui sont effectuées sur l'extrait (1/5)	31
IV.7.2.5.1.Dosage des cations solubles	31
IV.7.2.5.2. Dosage des Anions solubles	31
IV.7.2.5.3. Dosage du calcaire total ($CaCO_3$)	31
IV.7.2.5.4. Dosage du gypse ($CaSO_4$)	31
Chapitre V : Résultats et discussions	
V.1.1.Profil I	32
IV.1.2.Profil II	33
V.2. Les caractéristiques analytiques du sol avant l'irrigation	34
IV.2.1. Profil 1	34
V.2.2. Profil 2	38
V.2.3. Les profils salins	40
V. 3. Les caractéristiques physico-chimiques de l'eau d'irrigation	42
V.3.1. Le pH	42
V.3.2.La conductivité électrique	42
V.3.3. Le SAR	43
V.3.4. Le bilan ionique	43
V.4. Les caractéristiques analytiques du sol irrigué	46
V.4.1.Le pH	46

V.4.2.La conductivité électrique	46
V.4.3. Le SAR	47
V.4.4.Le bilan ionique	48
V.5. Comparaison des résultats des sols	49
V.5.1. sols avant et après irrigation par l'eau de forage	49
V.5.2. Le sol avant et après l'irrigation par l'eau usée traitée	52
Conclusion	56

Introduction générale

En Algérie, la zone aride représente près de 95% du territoire national dont 80% dans le domaine hyperaride **(HALITIM., 1988).** A l'aube du 20eme siècle, ces régions ont connu un déséquilibre dû aux aléas climatiques, à des pressions anthropiques, et surtout aux problèmes de salinisation des sols **(LE HOUEROU., 1968).** Dans ces environnements, la salinité est favorisée par les irrégularités du climat méditerranéen, les influences de l'aridité saharienne et par la remontée de la nappe aquifère **(SERVANT., 1970),** et notamment l'accumulation des sels due à des taux d'évaporation élevés qui dépassent fortement les précipitations au point que l'eau remonte jusqu'à la surface, plutôt que lixiviant ces sels vers le bas **(DAY et LUDEKE., 1993).** Le cadre naturel dans lequel se situe la cuvette d'Ouargla, est idéal à l'accumulation des eaux, et sous l'influence des conditions climatiques arides et d'une nappe aquifère très salée, le milieu naturel évolue rapidement vers des conditions de salinité, mettant en péril la qualité des sols et de l'environnement **(ONA., 2003).**

La salinité de n'importe quel environnement donné est commandée par des processus physiques et biologique **(PITMAN et LAUCHLI., 2002).** Le sol salin désigne les sols dont la formation est dominée par l'action des sels solubles **(DURAND., 1958).**

Le présent mémoire est structuré en Cinque chapitres. Le premier et le deuxième rapportent une étude bibliographique sur des généralités des eaux usées et l'évaluation de la qualité de l'eau d'irrigation, le troisième les paramètres physico-chimiques de sol et les processus de salinisation. Un quatrième chapitre consacré à une présentation générale de la zone d'étude et les caractéristiques du milieu naturel, ainsi que la méthodologie du travail. Le cinquième chapitre regroupe l'ensemble des résultats que seront suivis d'une discussion et l'interprétation de ces résultats. Une conclusion générale qui est un ensemble de réflexions achève ce travail.

Notre travail de recherche à pour objectif principale d'étudier les caractéristiques physico-chimiques des sols irrigués par deux types d'eau, l'eau usée traitée et l'eau de forage. Aussi, les processus d'accumulation des sels dans les parcelles irriguées. Il s'agit particulièrement de faire des caractéristiques analytiques et d'identifier l'évolution de la salinité atteinte dans ces eaux et leurs effets sur la salinisation des sols.

Chapitre I

Généralité sur les eaux usées

Introduction

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-GRACIA., 2004).**

I .1. Définition des eaux usées

Les eaux usées, ou les eaux résiduaires, sont des eaux chargées de résidus, solubles ou provenant de l'activité humaine, industrielle et agricole et parvenant dans les canalisations d'évacuation des eaux usées **(THOMAS., 1995 in BOUKHRIIS., 2012)**.

I .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).**

I.2.2. Les eaux usées urbaines

Les eaux usées urbaines comprennent les eaux usées domestiques et les eaux de ruissellement (eaux pluviales, eaux d'arrosage des voies publiques, eaux de lavage des caniveaux, des marchés et des cours).

I.2.3. Les eaux usées industrielles

Tous les rejets résultant d'une utilisation de l'eau autre que domestique sont qualifiés de rejets industriels, concernant les rejets des usines, mais aussi les rejets d'activités artisanales ou commerciales : blanchisserie, restaurant, laboratoire d'analyses médicales **(EDLINE., 1979 *in* YOUCFI., 2011).**

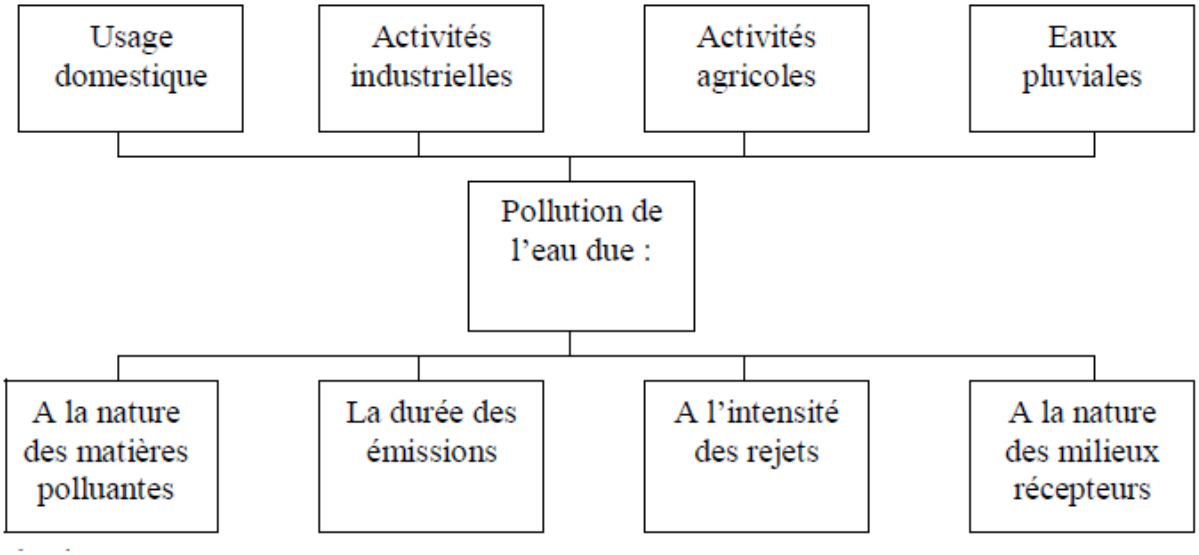


Figure 1 : Nature de la pollution des eaux **(Direction de l'environnement., 1990).**

I.3. Les déversements d'eaux usées dans le milieu naturel

Le rejet direct des eaux usées domestiques dans le milieu naturel perturbe l'équilibre aquatique en transformant les rivières en égouts à ciel ouvert. Cette pollution peut aller jusqu'à la disparition de toute vie **(CHELLE et al., 2005).**

I.4. Traitement des eaux usées

Avant qu'elles ne soient rejetées dans le milieu naturel et ne le dégradent, elles doivent impérativement obéir à des normes établies pour protéger les milieux récepteurs contre la pollution. Pour cela, elles sont acheminées vers une station d'épuration où elles subissent plusieurs phases de traitement.

I.4.1. Le prétraitement

Les dispositifs de prétraitement physique sont présents dans toutes les stations d'épuration, quels que soient les procédés mis en œuvre en aval. Ils ont pour but d'éliminer les éléments solides ou particulaires les plus grossiers, susceptibles de gêner les traitements ultérieurs ou d'endommager les équipements qui sont (**Le dégrillage, Le dessablage, Déshuilage et dégraissage) (LADJEL., 2006)**

I.4.2. Le traitement primaire (traitement physico-chimique)

Elle consiste à une circulation lente de l'eau usée dans de grands bassins rectangulaires ou circulaires afin de laisser le temps aux matières en suspension de précipiter dans le fond du réceptacle **(GAMRASNI., 1984).**

I.4.3. Traitement secondaire (épuration biologique)

Les techniques d'épuration biologique utilisent l'activité des bactéries dans l'eau, qui dégradent la matière organique. Ces techniques peuvent être anaérobies, c'est-à-dire se déroulant en absence d'oxygène, ou aérobies c'est-à-dire nécessitant un apport en oxygène.

Parmi les traitements biologiques, on distingue les procédés biologiques extensifs (le lagunage, l'épandage, etc.) et les procédés biologiques intensifs (lits bactériens, disques biologiques etc.) **(BENZAOUI et ELBOUS., 2009).**

I.4.4. Les traitements tertiaires

En général, les techniques d'épuration, même les plus sévères performantes, laissent passer dans l'eau épurée des matières organiques difficilement biodégradables et échappent à la décantation. En outre même après un traitement secondaire l'eau véhicule presque toujours des micro-organismes et des micropolluants.

La principale méthode utilisée est la désinfection par le chlore, qui doit être appliquée avec des doses très fortes et des temps de contact longs. Mais il convient de signaler suite a cette opération que des toxiques pour la vie aquatique peuvent être formés, il faut donc procéder à une opération de décoloration avant le rejet **(LADJEL F., 2006).**

I.5. Analyse de la qualité des eaux après traitement

De telles études sont souvent réalisées en préalable à une opération de réutilisation des eaux usées épurées, afin d’apporter les assurances sanitaires nécessaires. Les contaminants les plus étudiés sont les microorganismes **(LAZAROVA et al., 2003).**

I.6. Problématique de la réutilisation des eaux usées traitées

Les motifs qui ont conduit et qui conduisent à envisager la réutilisation des eaux usées traitées sont de deux ordres : en termes de ressource en eau, la valorisation des eaux usées traitées répond à un objectif quantitatif et ce sont surtout les zones arides et semi arides du globe qui sont concernées. En parallèle, dans le domaine de la préservation environnementale,

et donc des objectifs qualitatifs, de nombreuses réflexions ont conduit et conduisent à des opérations de réutilisation. L'objectif quantitatif est prépondérant dans la genèse des projets de REUT. Pour répondre à des pénuries chroniques ou occasionnelles, et après prise en compte des coûts d'investissement et d'exploitation, la REUT s'impose de plus en plus comme une solution économiquement pertinente. **(AFD., 2011).**

I.7. Les principales voies de réutilisation des eaux usées traitées

Dans les pays en développement, ou la pauvreté et l'insécurité alimentaire sont quasi permanente, les populations n'hésitaient pas à recourir aux eaux usées brutes pour pratiquer des cultures irriguées dont les produits sont, pour certains, consommés crus **(IDDER., 2007).**

L'objectif principal de la réutilisation des eaux usées est non seulement de fournir des quantités supplémentaires d'eau de bonne qualité en accélérant le cycle d'épuration naturelle de l'eau, mais également d'assurer l'équilibre de ce cycle et la protection du milieu environnant.

I.7.1. La réutilisation industrielle

La réutilisation industrielle des eaux usées et le recyclage interne sont désormais une réalité technique et économique. La REUE industrielle peut être intéressante dans le secteur de l'énergie, dans les circuits de refroidissement fermés ou ouverts, les laveries industrielles, les stations de lavage de voiture, l'industrie du papier, la production d'acier, de textiles, les industries d'électroniques et de semi-conducteurs **(FAO., 2003).**

I.7.2. La réutilisation en zone urbaine

Les utilisations possibles d'eaux épurées en zone urbaine sont extrêmement nombreuses. Il existe de multiples exemples à travers le monde. Ces projets concernent :

- l'arrosage de parcs, de terrains de sport, de terrains de golf, d'aires de jeux ;
- les bassins d'agréments, piscines, bassins pour la pêche et la navigation de plaisance ;
- les eaux des sanitaires d'un immeuble ou d'un groupe d'immeubles ;
- le lavage de voirie, réservoirs anti-incendie, etc.

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

I.7.3. La production d'eau potable

La réutilisation est directe quand l'eau ne revient jamais dans le milieu naturel ; les eaux épurées sont directement acheminées de la station d'épuration à l'usine de traitement pour l'eau potable. L'unique exemple dans le monde de réutilisation directe se trouve en Afrique, à Windhoek, capitale de la Namibie **(FAO., 2003).**

I.7.4. La recharge de la nappe

La principale motivation concernant la recharge de nappe est la dégradation de sa qualité environnementale et/ou la diminution de sa réserve en eau.

Il existe deux moyens de recharger une nappe phréatique :

- par percolation : c'est le cas à Los Angeles, où 160 000 m3 par jour d'effluents traités sont déversés dans des bassins gravitaires. Le principal problème rencontré est celui des algues, qui pullulent dans les bassins. Les solutions préconisées sont variées : introduction de poissons, d'algicides, teindre l'eau pour empêcher la photosynthèse.

- par recharge directe : c'est le cas dans le comté d'Orange, en Californie. L'eau est injectée dans la nappe par plusieurs puits, disposés en ligne face à la nappe d'eau salée, et formant une véritable barrière **(FAO., 2003).**

I.8. Valorisation agricole et forestière

Au-delà des considérations hydrauliques, agricoles ou financières propres à tout périmètre irrigué, la particularité forte d'une valorisation avec des EUT est la dimension sociale et sociologique d'acceptabilité par les usagers ainsi que les particularités agronomiques associées à la qualité des EUT. La mise en valeur sylvicole est un cas particulier de ce mode de valorisation car elle est moins exigeante en terme qualitatif, et présente des conditions d'acceptabilité très favorables **(AFD., 2011)**

Conclusion

Ce chapitre nous a permis de définir les eaux usées, leurs origines et leurs traitements, ainsi que les conséquences qu'elle peut engendrer et aussi la problématique de la réutilisation des eaux usées traitées. Le chapitre suivant expose l'évaluation de la qualité des eaux pour l'irrigation.

Chapitre II

Evaluation de la qualité des eaux pour l'irrigation

II.1. Critères de qualité des eaux usées traitées l'irrigation

Les caractéristiques de qualité chimique et physique sont identiques pour n'importe quelle eau d'irrigation. À cet égard, les directives générales présentées dans l'annexe 3 peuvent être employées pour évaluer l'eau usée traitée, utilisée à des fins d'irrigation, en termes de constituants chimiques tels que les sels dissous, le contenu en sodium et les ions toxiques. La procédure demeure la même qu'avec les autres types d'eaux.

Tableau 1 : Les paramètres utilisés pour l'évaluation des eaux usées traitée en agriculture (KANDIAH., 1990).

Paramètres	Symbol	Unité
Physique		
Total des solides dissous	TDS	mg/l
Conductivité électrique	Ec_w	dS/m [1]
Température	T	°C
Couleur/Turbidité		NTU/JTU [2]
Dureté		mg equiv. $CaCO_3$/l
Sediments		g/l
Chimique		
Acidité/Alcalinité	pH	
Type et concentration des anions et cations:		
Calcium	Ca^{++}	me/l [3]
Magnésium	Mg^{++}	me/l
Sodium	Na^{+}	me/l
Carbonate	CO_3^{--}	me/l
Bicarbonate	HCO_3^{-}	me/l
Chloride	Cl	me/l
Sulfate	SO_4^{--}	me/l
Sodium adsorption ratio	SAR	
Bore	B	mg/l [4]
Eléments traces		mg/l
Métaux lourds		mg/l
Nitrate-Nitrogen	NO_3-N	mg/l
Phosphate Phosphore	PO_4-P	mg/l
Potassium	K	mg/l

II.2. Salinité des eaux

Le principal critère d'évaluation de la qualité d'une eau naturelle dans la perspective d'un projet d'irrigation est sa concentration totale en sels solubles.

Les principaux sels responsables de la salinité de l'eau sont les sels de calcium (Ca^{2+}), de magnésium (Mg^{2+}), de sodium (Na^{+}), les chlorures (Cl^{-}), les sulfates ($SO4^{2-}$) et les bicarbonates (HCO_3^{-}). Une valeur élevée de la salinité signifie une grande quantité d'ions en solution, ce qui rend plus difficile l'absorption de l'eau et des éléments minéraux par la plante. Une salinité trop élevée peut causer des brûlures racinaires.

On considère deux catégories de conséquences d'une salinité excessive de l'eau d'irrigation :

· Les dommages vis-à-vis des sols et donc, indirectement, vis-à-vis des rendements culturaux,

· Les dommages causés aux cultures **(FABY., 1997).**

II.2.1. Alcalinité

L'augmentation de l'alcalinité du sol, qui peut se produire avec l'eau usée traitée à cause de la concentration élevée en Na^+, réduit la perméabilité du sol, particulièrement en surface, même si le lessivage a lieu.

Ce phénomène est lié à la dispersion et au gonflement des argiles lorsque la concentration en Na échangeable augmente. Toutefois, pour une certaine valeur du Rapport d'Adsorption du Sodium (SAR : Sodium Adsorption Ratio), la vitesse d'infiltration augmente ou diminue avec le niveau de salinité **(ISABELLE., 2004).**

II.2.2. Sodisation

L'accumulation de sodium (sodisation) sur le complexe adsorbant des sols peut dégrader les propriétés physiques des sols.

Leur capacité de drainage, donc leur perméabilité, conditionne la productivité des terres irriguées. Un excès de sodium par rapport aux alcalino-terreux (calcium, magnésium, ...) dans le complexe absorbant provoque une défloculation des argiles, une déstructuration du sol qui se traduit par une réduction de la perméabilité et de la porosité des couches superficielles du sol **(ISABELLE., 2004).**

$$\text{Le SAR} = \frac{Na^+}{\sqrt{(Ca^{2+} + Mg^{2+})/2}}$$

II.3. Les risques liés à la réutilisation agricole des eaux épurées

II.3.1. Le risque microbiologique

Dans le cas de l'agriculture, il est prouvé depuis longtemps que les micro-organismes pathogènes des animaux ne peuvent ni pénétrer ni survivre à l'intérieur des plantes **(MURPHY et SYVERTON, 1985, in SHEIKH *et al.*, 1999).** La contamination susceptible de se produire se situe à différents niveaux: Le consommateur, Cultures légumières, Cultures fourragères, les cultures forestier, personnel d'exploitation **(MAAIT., 1997).**

II.3.2. Le risque chimique

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

II.3.3. Le risque environnemental

II.3.3.1. Effets négatifs potentiels sur le sol

Ces impacts sont d'importance particulière pour les agriculteurs puisqu'ils peuvent réduire la productivité, la fertilité et le rendement de leurs terres. Le sol doit rester à un bon niveau de fertilité chimique et physique, afin de permettre une utilisation durable à long terme et une agriculture rentable. Les problèmes prévus au niveau du sol sont : La salinisation, l'alcalinité et la réduction de la perméabilité du sol, l'accumulation d'éléments potentiellement toxiques et l'accumulation de nutriments **(FAO., 2003).**

II.3.3.2. Avantages environnementaux d'utilisation des eaux usées traitées

Lorsque l'eau usée est utilisée correctement à des fins agricoles, plutôt que tout 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 conservation des ressources en eau fournit des avantages à l'utilisation telles que l'approvisionnement en eau et la préservation des étendues d'eau à usage récréatif.

• La sauvegarde des ressources en eaux souterraines dans les zones de surexploitation de ces ressources pour l'agriculture pose le problème de l'épuisement et de l'intrusion du biseau salin.

II.4. Les différentes réglementations dans le monde

II.4.1. Le point de vue de l'OMS

Les recommandations de l'OMS sont les seules à l'échelle internationale. Elles sont source d'inspiration pour de nombreux pays à travers le monde.

Ces recommandations ne concernent que l'usage agricole, et il y a donc un "vide juridique" pour les autres usages. Les normes concernent uniquement les quantités de microorganismes.

. Les virus ne sont pas considérés non plus, leur présence étant difficile à détecter lors des contrôles de routine. Ces normes sont destinées à une utilisation internationale, et sont donc

adaptées aux pays en voie de développement. Elles représentent la limite au-delà de laquelle la santé publique n'est plus assurée **(FAO., 2002).**

II.4.2. Le point de vue de l'USEPA

Les normes de l'USEPA concernent tous les usages envisageables pour des eaux usées épurées (usage urbain, agricole, industriel, recharge de nappe, etc.) ce qui en fait un outil puissant. Plusieurs paramètres sont pris en compte : le pH, la Demande biologique en oxygène, la turbidité ou les solides en suspension et les coliformes fécaux. Il faut retenir que seul le facteur " coliformes fécaux " permet de juger de la qualité microbiologique.

La DBO maximale est fixée soit à 10 mg/l, soit à 30 mg/l, selon les usages. Les coliformes fécaux doivent être soit en concentration inférieure à 200 CF/100 ml (pour l'irrigation avec restriction, les usages paysagers, industriels et environnementaux), soit à un niveau de non détectabilité (pour l'irrigation sans restriction, la baignade et la réutilisation indirecte pour l'eau potable). Enfin, ce qui est un des aspects les plus drastiques des normes de l'USEPA, dans la plupart des cas il est imposé une norme en chlore résiduel de 1 mg/l **(MASSENA., 2001).**

Conclusion :

Au cours de ce chapitre, nous avons présenté les différentes critères de la qualité des eaux pour l'irrigation, ainsi que les risques liés à la réutilisation agricole des eaux épurées et Les différentes réglementations dans le monde qui permettre de controler la qualitée des eaux usées traitées pour leurs reutilisation. Le chapitre suivant présente les différentes paramètres physico-chimiques du sol.

Chapitre III

Paramètres physico-chimiques du sol

Introduction

Le sol est une ressource très faiblement renouvelable au sens où sa dégradation peut être rapide (quelques années ou décennies) alors qu'il lui faut plusieurs milliers d'années pour se former et se régénérer. C'est une formation généralement meuble constituée d'un complexe organo-minéral qui résulte de la transformation superficielle des roches sous l'action conjointe des agents météoriques et des êtres vivants **(DUCHAUFOUR., 1977 *in* NEZLI I, 2009).**

III.1. Les paramètres physico-chimiques du sol

La caractérisation physico-chimique d'un sol s'effectue le plus souvent par le prélèvement d'échantillons qui sont ensuite analysés au laboratoire **(LOYER et *al.*, 1978 *in* LÄUCHLI A et *al.*, 2004).**

III.1.1. Les paramètres physiques

III.1.1.1. La texture : dépend du calibre des particules qui le composent. La fraction grossière comprend les cailloux et les graviers d'un diamètre supérieur à 2 mm. Le sol comporte 3 phases: une phase solide (minérale et organique), une phase liquide (solution du sol) et une phase gazeuse (air, CO2, CH4).

On appelle texture la résultante du mélange de terres fines et grossières dont le pourcentages varient d'un sol à l'autre. **(EILERS *in* YOUCFI., 2011)**.

III.1.1.2.La structure :

La façon dont les argiles et la **M**atière **O**rganique (MO) et plus particulièrement l'humus sont imbriqués dans le sol.

Seule la structure du sol peut être modifiée par ajout de MO et/ou de Ca2+. La texture ne peut être modifiée à l'échelle humaine. En présence de sels minéraux (Fe/Al) et de MO les argiles forment des Complexes Argilo-Humiques (CAH) **(EILERS *in* YOUCFI., 2011)**.

III.1.1.3. L'humidité : C'est la teneur en eau du sol en place estimée par la différence de poids après séchage à l'étuve à 105°C pendant 24 heures. L'humidité contenue dans la portion du sol se trouvant au dessus de la nappe libre.

III.1.2. Les paramètres chimiques

III.1.2.1. La salinisation du sol

La salinisation est le processus par lequel les sels solubles s'accumulent au niveau de la rhizosphère des sols **(EILERS *in* YOUCFI., 2011).** La salinisation peut être aussi définie comme étant un processus d'enrichissement d'un sol en sels solubles qui aboutit à la formation d'un sol salin **(USDA en ligne).** La salinité est la présence de concentrations excessives de sels solubles dans le sol ou dans l'eau d'irrigation **(MASS et NIEMAN., 1978 in MOKAR et *al* ., 2010).**

III.1.2.1.1. Les causes de la salinisation

- 80% des terres salinisées ont une origine naturelle, on parle alors de salinisation primaire qui est due aux sels, se formant lors de l'altération des roches ou des apports naturels externes (**SAIS et *al*., 2006 *in* PITMAN M et *al*., 2002).**
- 20% des terres salinisées ont une origine anthropique, on parle alors de salinisation secondaire, induite par l'activité humaine, liée aux pratiques agricoles, et en particulier à l'irrigation réalisée avec de l'eau saline. Selon **(),** la salinisation peut aussi être causée par la remontée capillaire des eaux souterraines **(SAIS et *al*., 2006 *in* PITMAN M et *al*., 2002).**

III.1.2.1.2. Signes de la salinisation

- Il est possible de repérer les sols salinisés avant que le problème ne soit grave, dont voici quelques signes précurseurs :
  - Hydratation accrue des sols.
  - Apparition des mauvaises herbes tolérantes aux sels, telle que le *Kochia scoparia*.
- A mesure que la teneur en sels du sol s'accroit, les signes deviennent plus évidents.
  - Croissance irrégulière des cultures et manque de vigueur des plants.
  - Formation d'une croute blanche en surface.
  - Croissance de la végétation naturelle tolérante aux sels, comme les salicornes **(EILERS et *al*., 1995 *in* YOUCFI, 2011).**

III.1.2.1.3. Mouvement des sels solubles dans les sols

Le véhicule des sels est l'eau. Ces mouvements peuvent être lixiviation, ascendants (remonté capillaire) **(DURANT., 1959 *in* CHELLE., 2005).**

III.1.2.1.4. Lixiviation des sels

D'après **DUCHAUFOUR (1977),** la lixiviation est l'entrainement descendant des sels sous l'action des eaux de pluies, d'inondation et d'irrigation.

L'eau s'infiltre dans le sol, dissolvant les sels présents dans leur ordre de solubilité croissante et les entrainant en profondeur. Pendant son mouvement, la solution va se concentrer sous l'influence de l'évaporation et de l'absorption par les plantes. Quand cette sera suffisante, certains sels précipiteront et c'est ainsi que se formeront des accumulations salines qui se rencontrent dans certains sols**.**

III.1.2.1.5. Impact de la salinisation sur les sols

La salinisation réduit considérablement la qualité du sol et la couverture végétale. La destruction de la structure du sol accentue l'érosion par l'eau et par les vents des sols salins et sodiques. Quand la dégradation des sols se produit dans des zones arides, semi-arides et semi-humides, on assiste à ce que l'on appelle une désertification ainsi qu'une perte de fertilité du sol, une destruction de la structure du sol et une formation d'une croute de sol **(SOCO en ligne., 2009 in BOUKHRIS., 2012).**

III.1.2.1.6. Remonté capillaire

La remontée capillaire est la migration ascendante des sels en solution dans un profil saturé à faible profondeur **(DUCHAUFOUR., 1977).**

La remontée capillaire dépend particulièrement de la nappe phréatique, de sa profondeur et de la caractéristique granulométrique du sol. La vitesse de remontée capillaire est plus élevée pour les solutions de sels neutres et plus faible pour les solutions des sels carbonatés alcalins **(JABER., 1970 *in* OMEIRI., 1994).**

III.1.2.2. Alcalinité

Pour une certaine valeur du Rapport d'Adsorption du Sodium (SAR : Sodium Adsorption Ratio), la vitesse d'infiltration augmente ou diminue avec le niveau de salinité **(RHOADES., 1977 *in* OMEIRI., 1994).**

Le S.A.R est le paramètre fondamental pour la détermination du niveau d'alcalinité (tableau4)

Les ions Ca^{++}, Mg^{++} et Na^{+} sont exprimés en méq/l. Le S.A.R est déterminé par

Tableau 2 : Sodium adsorption Ratio et degré d'alcalinisation des sols (SERVANT et SARVAT, 1966 *in* BENZAHI, 1994)

S.A.R	Degrés d'alcalinisation
≤ 4	Pas d'alcalinisation
4< S.A.R ≤8	Faible alcalinisation
8< S.A.R ≤12	Alcalinisation moyenne
12< S.A.R ≤18	Alcalinisation forte
>18	Alcalinisation intense

III.1.2.3. Sodisation

L'accumulation de sodium (sodisation) sur le complexe adsorbant des sols peut dégrader les propriétés physiques des sols. Les cations présents en solution dans le sol s'échangent sur le complexe organo-minéral. On définit le rapport Na^+/CEC ou le paramètre ESP (Echangeable Sodium Pourcentage) pour estimer le degré de saturation du complexe d'échange cationique (**MICHEL et *al*., 2005 in BOUKHRIS., 2012).**

III.1.2.4. PH

Le pH du sol est une notion permettant de façon commode et précise de désigner la réaction du sol. Le pH est une expression logarithmique de l'acidité d'une solution. Il est mesuré par un pH mètre à électrode en verre, préalablement étalonnée à l'aide d'une solution tampon de pH connu sur des extraits aqueux au 1/5 de la solution du sol. Dans les zones arides, la gamme relative aux sols s'étend d'un pH légèrement inférieur à 7 à un pH d'environ 9 **(BUCKMAN et *al*., 1965 *in* BACI., 1982).**

Tableau 3 : Echelle d'interprétation des résultats du pH de l'extrait 1/5 aqueux **(SOLTNAIRE., 1989)**.

pH	Classe de sol
5 à 5,5	Très acide
5,5 à 5,9	Acide
5,9 à 6,5	Légèrement acide
6,5 à 7,2	Neutre
7,2 à 8	Alcalin
>8	Très alcalin

III.1.2.5. La conductivité électrique

La mesure de la conductivité permet d'obtenir une estimation de la teneur globale en sels dissous sur un extrait saturé ou dilué **(AUBERT., 1978 *in* BENZAHI, 1994).**

- **Extrait dilués :**

Les extraits dilués sont au 1/1, au 1/5 et au 1/10 du rapport sol/eau distillée. Par cette méthode, l'extraction est rapide, mais les solutions sont moins représentatives de la solution du sol **(BENZAHI, 1994).** Selon **AUBERT (1978) *in* BENZAHI, 1994**, un sol est considéré salé, lorsque la conductivité électrique de son extrait dilué 1/5 est supérieure ou égale à 2dS/m.

Tableau 4 : Echelle de salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait dilué 1/5 **(AUBERT., 1978 *in* BENZAHI, 1994).**

CE dS/m à 25°C	Degrés de salinité
≤ 0,6	Sols non salés
0,6 < C.E ≤ 1,2	Sols peu salés
1,2 < C.E ≤ 2,4	Sols salés
2,4 < C.E ≤ 6	Sols très salés
>6	Sols extrêmement salés

Conclusion

Au cours de ce chapitre, nous avons présenté les différents paramètres physico-chimiques du sol qui sont considérés comme des indicateurs de type du sol. Aussi, l'impacte de la salinisation sur les sols.

Chapitre IV
Matériel et méthodes

IV.1.Présentation de la région d'étude

La cuvette d'Ouargla qui représente le chef lieu de la Wilaya correspond à une grande dépression d'une superficie de 99 000 ha environ. Elle est située dans le lit quaternaire de la basse vallée fossile de oued M'ya qui descend du plateau du Tademait au sud et se termine a Sebkhat Sefioune 40 km au nord de Ouargla **(HOUBI, 2010).**

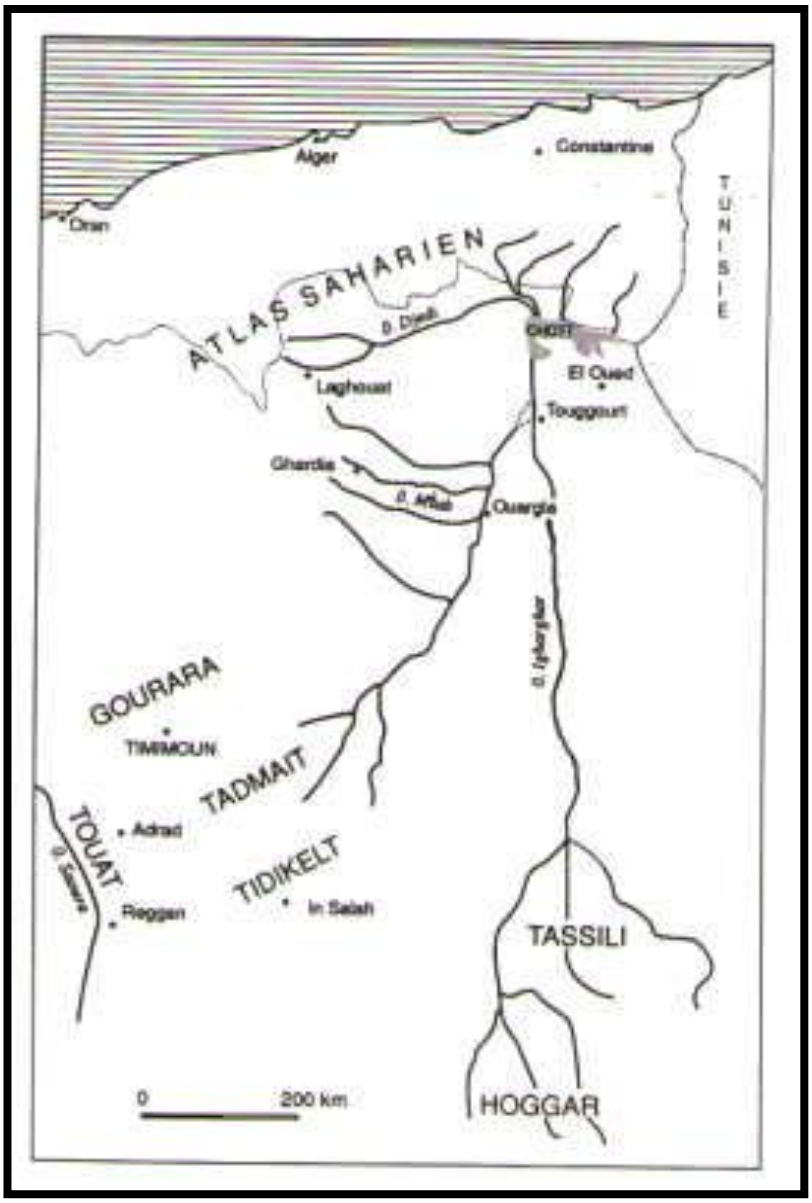


Figure 2: Situation géographique de Ouargla

Tableau 5 : Les données climatiques de la ville de Ouargla (1998-2012) **(O.N.M, 2013).**

	Tmax (°C)	**Tmin (°C)**	**Tmoy (°C)**	**P (mm)**	**Insolation (heures par mois)**	**Vent (m/s)**	**Evap (mm)**	**H (%)**
Janvier	18 ,7	4,8	11,7	8 ,07	251,3	2,8	101,06	59,7
Février	20,7	6,5	13,5	0,9	239 ,8	3,4	135 ,3	51,6
Mars	25,5	10,1	18,5	4,2	264,07	3 ,6	212,5	42,8
Avril	29,9	15,1	22,9	1,4	281,06	4,4	276,8	35,7
Mai	34 ,6	19,8	27,4	1,06	281,5	4,7	341,5	32,5
Juin	39,1	25,07	32,8	0,45	280,08	4,5	415,5	27,3
Juillet	43 ,6	27,9	35,4	0,64	333,08	4,1	484,06	25,3
Août	42,6	27,2	34,3	1,5	325,57	3,9	455,5	28,07
Septembre	37,8	23,6	30,8	3,3	258,93	3,8	314,9	37,1
Octobre	31,7	17,6	25,3	7,07	256,36	3,4	239,05	46,01
Novembre	24,2	10,2	16,9	5,6	245,5	2,7	137,2	56,4
Décembre	19,2	5,5	12,2	1,4	205,6	2,6	100,8	60,2
Année (cumul*/moyenne)	30,6	16,1	23,5	35,59	268,45	3,6	3214,17	41,07

TM : Température maximale.

T m : Température minimale.

H : Humidité relative.

V : Vents

Ins. : Insolation.

T moy. : Température moyenne

Prèc. : Précipitations

* : Cumul

IV.1.1. Climatologie de la région

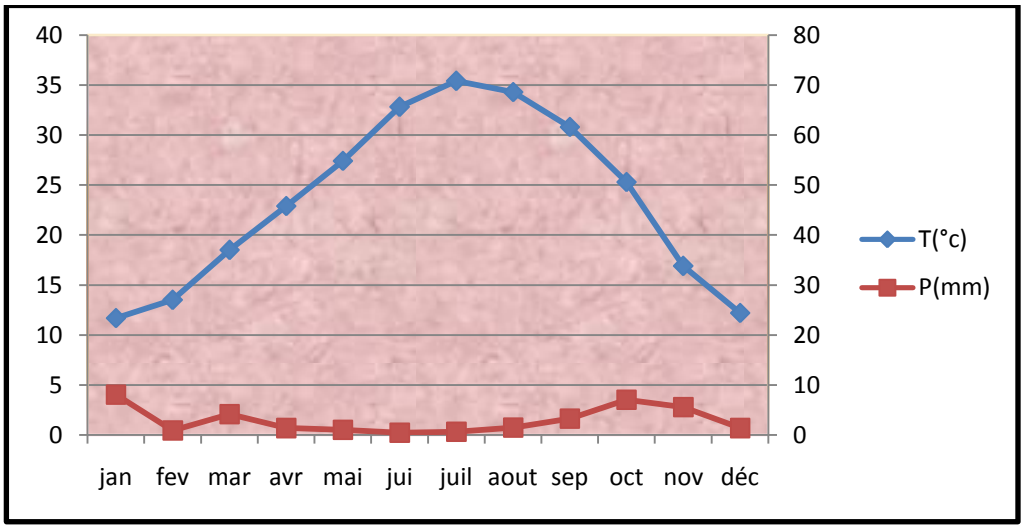


Figure 3 : Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen de pour la région de Ouargla (1998-2012).

A partir de figure 4, on constate que la période sèche s'étale durant toute l'année.

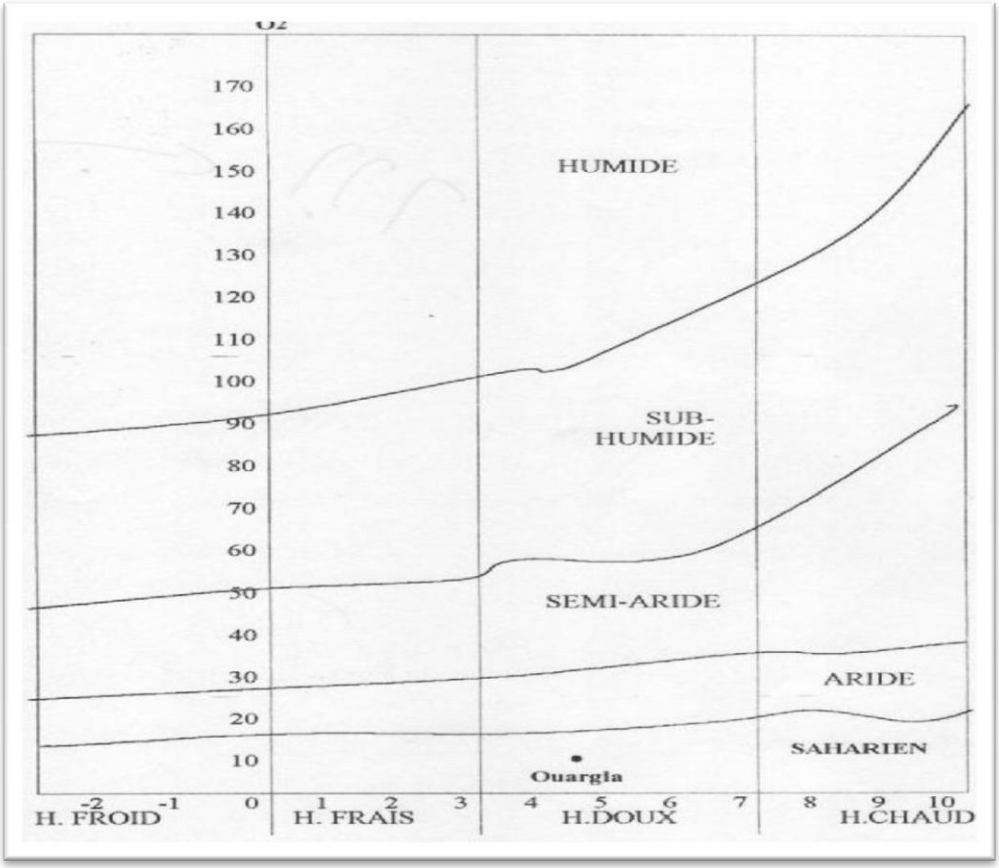


Figure 4 : Situation de ville de Ouargla selon le Climagramme d' Emberger (1998-2012) **(O.N.M, 2013).**

D'après la figure 4, on note que la région de Ouargla possède un étage bioclimatique saharien avec un hiver doux.

IV.1.1.1. La température

La température moyenne mensuelle enregistrée au mois le plus chaud (juillet), m_{max}= 35,4°C, et du mois le plus froid, m_{min}= 11,7°C.

IV.1.1.4. L'humidité relative

Le taux d'humidité relative varie d'une saison à l'autre, mais il reste toujours faible, ou il atteint son maximum au mois de décembre avec un taux de 60,2%, et une valeur minimal au mois de juillet avec un taux de 25,3% et une moyenne annuelle de 41,07%.

IV.1.1.4. L'évaporation

La région connait une évaporation très intense renforcée par les vents chauds, elle est de l'ordre de 3214,17mm/an, avec une valeur maximale de 484,08 mm au mois de juillet et une minimale de 100,8 mm au mois de décembre.

IV.1.1.5. L'insolation

La durée moyenne de l'insolation est de 268,45 heures/mois, avec un maximum de 333,08 heures en juillet et un minimum de 239,8 heures en février.

La wilaya de Ouargla est caractérisée par un climat saharien, avec une pluviométrie très réduite, des températures élevées, une forte évaporation, et par une faiblesse de la vie biologique de l'écosystème.

IV.2. Ressources hydriques

IV.2.I. Continental Intercalaire

Cette nappe couvre le Sahara septentrional, sa formation est constituée de dépôts continentaux sablo-gréseux et argilo-sableux marins du crétacés inferieur, elle est alimentée par l' infiltration des eaux de l' atlas saharien et sur alimentée par les eaux circulant dans la hamada sud ouranienne et sous l' Erg occidental La nappe du Continental Intercalaire occupe une superficie de 600,000 km² , bordurée par l'oued Saoura l'ouest et par les territoires tunisiens et libyens à l'est la nappe du Continental Intercalaire est caractérisée par le pays des foggaras au Touat, Gourara et Tidikeltet a des températures moyennes de 20° à 30°C, une salinité qui va de 1,5 à 2,5 g/l. Dans le Bas Sahara, elle est par contre profonde et varie de

1000 à 1500 m avec une température à la surface pouvant atteindre 66°C et une teneur en sels variable de 2 à 5 g/l et son réservoir à eau Douce, le sens d'écoulement se fait généralement du nord ouest vers le sud, l'alimentation de la nappe est relativement faible et se fait par l'infiltration des eaux de l'atlas saharien **(costany, 1982** in **(HOUBI, 2010).**

IV.2.2. 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 sable du miopliocène et le deuxième dans le sénonien **(IDDER., 2007).**

IV.2.2.1. Le miopliocène: 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).**

IV.2.2.2. Le sénonien: cette aquifère est mal conne, 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)**.

IV.3.Présentation de la Station d'épuration (STEP) de Ouargla

IV.3.1.La localisation géographique

La station de lagunage de Ouargla, mise en service en 2009, a été réalisée par la société allemande Dwydag pour le compte de l'ONA. Elle se situe dans la région de Saïd Otba au nord de la RN 49 **(figure°5)**.

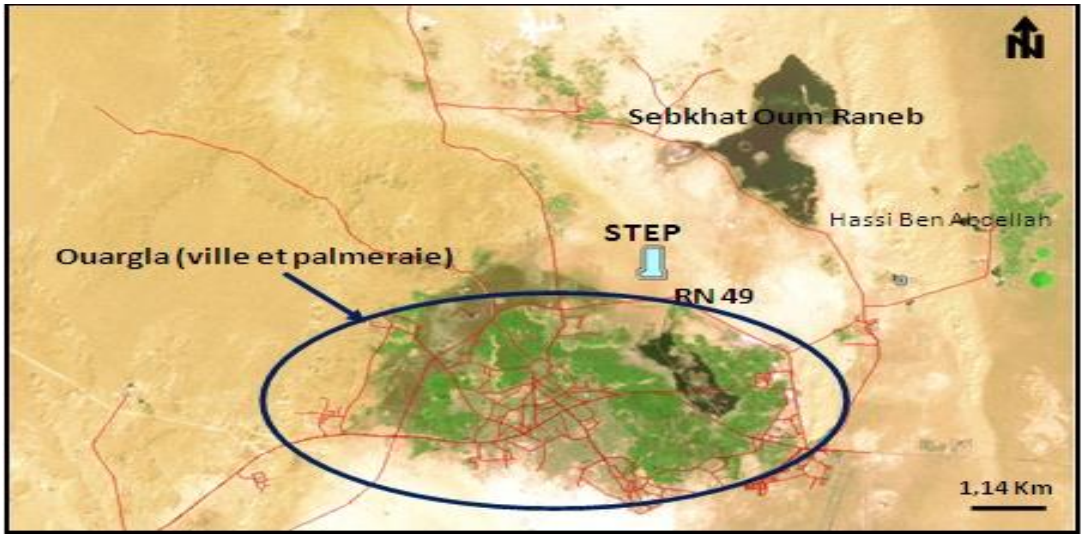


Figure 5 : Situation géographique de la STEP par rapport à la ville de Ouargla **(MENSOUS M., 2011)**

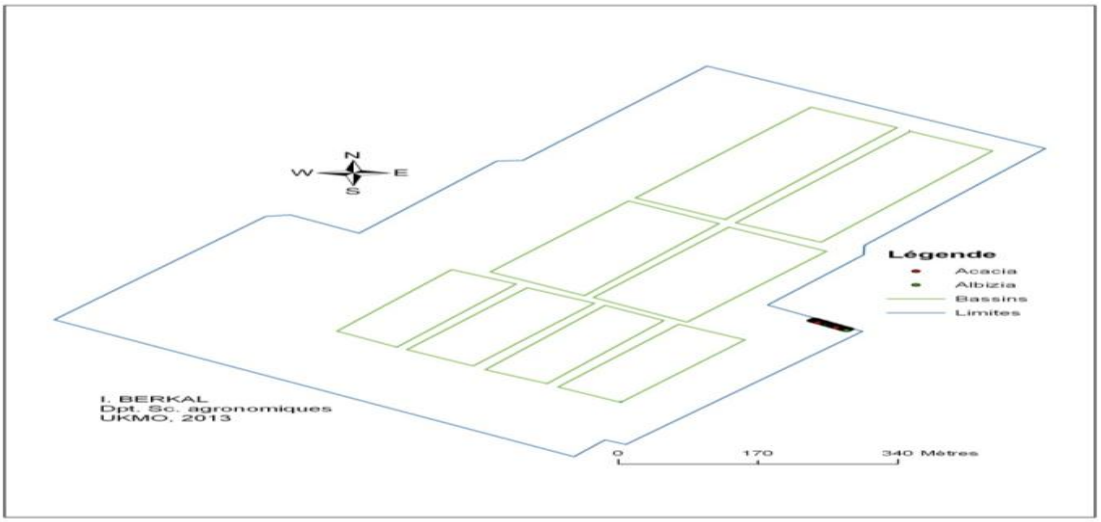


Figure 6 : schéma de la station d'épuration de Ouargla

IV.3.2.Généralité sur la qualité du sol de Ouargla

La région de Ouargla est caractérisée par des sols légers, à prédominance sableuse et à structure particulière.

Ils sont caractérisés par un faible taux de matière organique, un pH alcalin et une bonne aération **(ROUVILLOIS-BRIGOL., 1975).**

IV.4. Caractéristiques des eaux usées de la ville de Ouargla

Les eaux usées de Ouargla sont essentiellement de type domestique, la ville n'étant le siège que d'une modeste activité industrielle. Il convient toutefois de garder en mémoire une quadruple particularité:

- ✓ Les eaux sont fortement sulfatées en raison de la qualité de l'eau distribuée ; d'où l'importance du dégazage en H_2S **(MENSOUS M., 2011).**
- ✓ Les eaux sont également fortement minéralisées (la valeur globale de la salinité peut atteindre 6 g/l) en raison de la venue d'eaux de drainage dans les collecteurs d'assainissement **(BG., 2003 in BOUKHALFA et KAFI., 2011).**
- ✓ Enfin, comme dans toutes les régions sahariennes, il convient de préciser que dans certains quartiers les eaux véhiculent de grandes quantités de sable, obligeant à une grande vigilance sur les vitesses d'autocurage dans les collecteurs.

- ✓ Les rejets de l'agglomération de Ouargla sont actuellement séparés : Les eaux usées urbaines chargées en matière organique et les eaux de drainage de la palmeraie chargées en sels. Ces rejets sont évacuées ver la station de traitement des eaux usée après sont déversés dans le milieu naturel ver sabkhat Sefioune **(ONA., 2011 in BOUKHALFA et KAFI., 2011)**, elle constitue le point le plus bas du lit septentrional de l'Oued Mya. Elle S'étend sur une superficie totale de prés de 11000 hectares et constitue l'exutoire naturel des crues des oueds N'sa et M'zab.

IV.5.Approche méthodologique

IV.5.1. Objectif d'étude

A partir du moment, ou les sels se déplacent avec l'eau ; la salinité d'un sol dépend directement des aménagements hydro-agricoles en particulier de l'irrigation, de drainage et du lessivage des éléments en profondeur **(BOUHIHI., 1996).**

Le principe et les étapes de notre étude expérimentale consistent à suivre et à comparer l'évolution de la salinité dans un sol homogène initialement nu et n'ayant jamais subit d'irrigation, ce même sol a été divisé en deux parties pour mettre en place deux espèces arboricoles différentes (*Acacia Fernesiana* et *Albizia julibrissin*). Une partie de ce sol est irriguée par les eaux de forage et l'autre partie est irriguée par les eaux usées traitées.

Les paramètres physiques, chimiques et physico-chimiques mesurés dans chaque étape entre la partie du sol nu et celle cultivé aussi en procédera à la comparaison des paramètres après l'irrigation avec les deux types d'eau qui sont : la texture, la structure, la conductivité électrique (C.E), le pH et la concentration ionique (les cations et les anions).

IV.5.2. Argumentation du choix de site expérimental

Dans le but de promouvoir et de rationaliser les échanges entre les auteurs scientifiques et les partenaires des secteurs (économiques, industriel, professionnel). L'université de Ouargla, à travers les projets d'études et l'ONA (Office National d'Assainissement) ont mis en place une convention permettant les échanges sur plusieurs plans. Pour cette raison, l'ONA (Ouargla) à mis à la disposition de l'université son patrimoine sol dans le but de le valoriser. Ainsi, après expertise et prospection des différents sols, les pédologues et nous même avons désigné le site à étudier.

Figure 7 : localisation de site d'étude

Photo 1 : le site choisit pour l'expérience

Photo 2 : préparation de terrain pour la plantation des plantules

IV.5.3. Situation du sol étudié

La situation géographique : La STEP de Ouargla

La saison d'étude : Hiver

La date de prélèvement : (05/03/2013)

Le temps : ensoleillé, légèrement couvert

La topographie : pente faible

L'aspect de la surface : sable dunaire

L'occupation du sol : sol nu

La végétation : sans végétation

Le descripteur : BOUKHALFA Amel, KAFI Nadjla Khadidja.

La géomorphologie : début d'erg

IV.5.4. Dispositif expérimental

Afin de pouvoir suivre l'évolution de la salinité dans le sol irrigué par les eaux usées traitées et celui irrigué par l'eau de forage, nous avons divisé notre terrain en deux blocs et chacun contient deux sous-blocs, le premier regroupe les plantes d'espèce *Albizia julibrissin* et le deuxième sous-bloc regroupe les plantes d'espèce *Acacia Fernesiana* arrosés par les deux types d'eau d'irrigation.

Photo 3 et 4 : plantation des cultures

L'expérience s'étale sur une période de deux mois. Au début de l'expérience, la fréquence de l'irrigation est de 5 L chaque jour pour chaque plante. Après deux semaines, l'irrigation se fait 3 fois par semaines (photo 5 et 6).

Photo 5 et 6 : l'irrigation des plantes

IV.5.5. Méthode de prélèvement des échantillons

- **Premier prélèvement de sol avant l'irrigation**

Le prélèvement des échantillons de sol à été effectué au niveau de deux blocs, chacun contient deux profils.

Après avoir effectué le sondage, nous avons constaté que ces derniers sont identiques. Dans ce cas, on a pris en considération seulement 1 profil pour chaque bloc (photo 7 et 8).

Photo 7 et 8 : La réalisation des profils

- La date de premier prélèvement est : **05/03/2013**

- Chaque profil contient 3 horizons (photo 9), la somme des échantillons égale à 6.

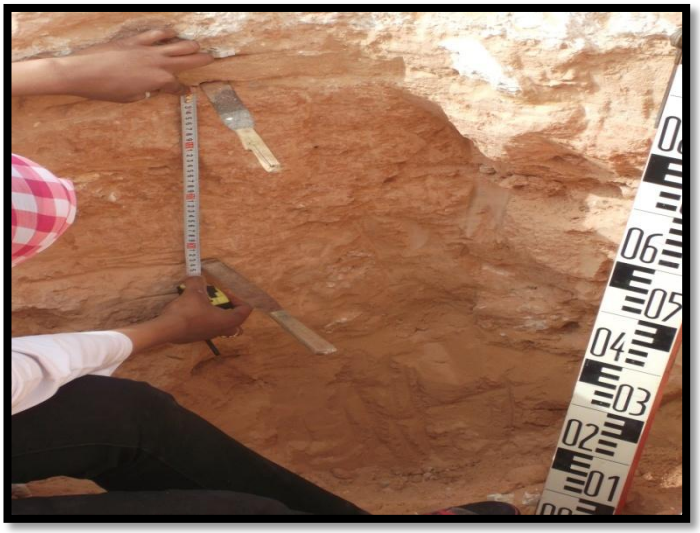


Photo 9 : délimitation des horizons

Photo 10 et 11 : Prélèvement des échantillons

Photo 12 : détermination de la couleur du sol

- **Deuxième prélèvement pour cartographier le site d'étude**

- Avec une tarière de 120 cm de hauteur (photo 13 et 14), nous avons fait :

1. Deux trous choisis par hasard pour chaque sous-bloc.
2. Nous avons pris trois échantillons de 30, 60 et 90cm pour chaque trou.
3. Nous avons mesuré l'humidité et la conductivité électrique des échantillons.

La somme des prélèvements : 24 échantillons.

La date de prélèvement est : 12/03/2013

Photo 13 et 14 : Prélèvement des échantillons avec la tarière

Nous avons compter de faire une présentation cartographiques dans le but d'établir une carte de distribution de la salinité de notre site d'étude, mais cette présentation n'a pas été utilisée a cause de faute de temps.

- **Troisième prélèvement pour le sol après l'irrigation**

  A l'aide d'une tarière de 120cm de hauteur, on a prélevé deux échantillons de profondeur de 30 cm du sol après la mise en place des cultures dans les deux blocs (irrigué par l'eau de forage et celui irrigué par l'eau usée traitée) en saison printanière. Nous avons pris en considération cette saison et cette profondeur parce que les sels s'accumulent auprès de la surface du sol à cause de l'augmentation de la température qui provoque l'élévation de l'évaporation du sol dans les milieux saharien (Idder, 2006), et aussi parce que les 30 cm correspondent à la zone racinaire.

Nous avons mesuré les paramètres suivants : la conductivité électrique, le pH, les cations et les anions.

La date de prélèvement est : 01/05/2013

Largeur de périmètre : 8 m

Longueur de périmètre : 58 m

La surface de périmètre : 464 m^2

IV.6. Techniques des analyses physico-chimiques de l'eau et de sol

IV.6.1. Pour l'eau usée traitée

L'ensemble d'analyses physico-chimiques de l'eau traitée ont été effectué au niveau de laboratoire de l'agence nationale des ressources hydriques (ANRH).

IV.6.1.1. Détermination de la conductivité électrique

La mesure de la conductivité électrique, de la salinité et de la température a été faite à l'aide d'un conductimètre de poche (cond 3400i).

IV.6.1.2. Détermination de pH

On utilise le système de mesure électrochimique à l'aide du pH-mètre de poche (pH 340i).

IV.6.2. Pour le sol

La caractérisation physico-chimique d'un sol s'effectue le plus souvent par le prélèvement d'échantillons qui sont ensuite analysés au laboratoire.
Après le prélèvement de chaque échantillon, sont séchés à l'aire libre puis tamisés à 2mm. L'ensemble d'analyses de notre travail ont été effectué au niveau de laboratoire de pédologie de l'ITAS, aussi au laboratoire de l'Agence Nationale Des Ressources Hydrauliques ANRH.

IV.6.2.1. L'humidité

L'humidité est la teneur en eau du sol en place, estimée par la différence de poids après séchage dans l'étuve à 105 °C durant 48h, elle est déterminée par la formule suivante :

H%= (PH-PS) 100/PS ; PH : poids du sol humide ; PS : poids du sol sec

Photo 15 : mesure de l'humidité

IV.6.2.2. La Granulométrie

Selon les fractions envisagées du sable, on a utilisé le tamisage par voie sèche avec l'utilisation d'un vibreur. On a pesé 100g du sol, après on le superposé dans une série de tamis (100, 500, 200, 100, 50microm). Ensuite, on fait couler les 5 tamis superposés durant 10min. Puis, on pèse le sol resté dans chaque tamis.

Photo 16 : tamisage avec l'utilisation d'un vibreur **photo 17 :** le sol pesé

IV.6.2.3. La conductivité électrique

La conductivité électrique a été déterminée par un conductimètre à une température de 25°C avec un rapport sol/solution de 1/5. La conductivité électrique est mesurée encore à l'aide de conductimètre (M 38) du sol de chaque plantule.

IV.6.2.4. Le PH

Le PH de l'extrait du rapport 1/5 est mesuré à l'aide d'un PH-mètre à électrode en verre.

Photo 18 : solution du sol dans l'agitateur **photo 19 :** filtration des solutions du sol

Photo 20 : mesure de la conductivité électrique

IV.6.2.5.analyses chimiques qui sont effectuées sur l'extrait (1/5)

IV.6.2.5.1.Dosage des cations solubles

- Na^{+} K^{+}, Ca^{++} par spectrophotomètre à flamme.
- Mg^{++} par complexmétrie.

IV.6.2.5.2. Dosage des Anions solubles

- Cl^{-} déterminés par la méthode de MOHR basée sur la titration 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^{--} il s'agit de la méthode gravimétrique, elle consiste à précipiter les ions SO_4^{2-} sous forme de sulfate de baryum ; en présence du chlorure concentré à 10%.
- Bicarbonate (HCO_3^{--}) effectué par titrimétrie à H_2SO_4 (0,1) en présence des indicateurs (Phénolphtaléine et orange de méthyle). La fin de la réaction est indiquée par l'apparition de la couleur rosâtre.

IV.6.2.5.3. Dosage du calcaire total ($CaCO_3$)

- Application de la méthode gazométrique par le calcimétre de Bernard

IV.6.2.5.4. Dosage du gypse ($CaSO_4$)

Par la méthode chimique (la méthode de gravimétrie), consiste à doser les ions SO_4^{2-} libérés après attaque au carbonate d'ammonium.

Chapitre V
Résultats et discussion

Dans ce chapitre, nous rapporterons les résultats des mesures d'analyses physico-chimiques que nous avons effectuées sur les eaux et les sols échantillonnés dans notre site d'étude.

V.1.Caractéristiques morphologiques du sol

V.1.1.Profil I et profil II

- Date de prélèvement et de description : 05/03/2013
- Topographie : pente très faible
- Situation : STEP
- Temps : Ensoleillé, légèrement couvert
- Végétation : inexistante
- Aspect de la surface : sol nu avec sable dunaire
- Occupation du sol : sol nu sans végétation
- La saison d'étude : hivernal

- **Profil I**

Horizon H1 (0-09 cm) : la couleur du sol est 7,5 YR 8/4 (pink). Faible effervescence à l'HCL. Les éléments grossiers sont existants. Il n y a pas des racines et de matière organique. La texture est sableuse, friable avec la présence de quelques cailloux.

Horizon H2 (09-67cm) : la couleur du sol est 7,5 YR 8/4 (pink). Sans effervescence à l'HCL. Les éléments grossiers sont existants. Il n y a pas des racines et de matière organique. La texture est sableuse avec peu d'argile, friable avec la présence de quelques cailloux.

Horizon H3 (67-100 cm) : la couleur du sol est 5YR 6/8 (reditsh yellow). Faible effervescence à l'HCL. Les éléments grossiers sont existants. Il n y a pas des racines et de matières organique. La texture est sableuse avec peu d'argile, friable et sans cailloux.

- **Profil II**

Horizon H1 (0-07 cm) : la couleur du sol est 7,5 YR 7/6 (redish yellow), Faible effervescence à l'HCL. Les éléments grossiers sont existants, il n y a pas des racines et de matière organique. La texture est sableuse, friable avec la présence de quelques cailloux.

Horizon H2 (07-35cm) : la couleur du sol est 7,5 YR 8/4 (pink), Faible effervescence à l'HCL. Les éléments grossiers sont existants. Il n y a pas des racines et de matière organique. La texture est sableuse avec peu d'argile, friable avec la présence de quelques cailloux.

Horizon H3 (35-100 cm) : la couleur du sol est 5YR 6/8 (reditsh yellow). Sans effervescence à l'HCL. Les éléments grossiers sont existants. Il n y a pas des racines et de matière organique. La texture est sableuse avec peu d'argile, friable avec quelques cailloux.

V.2. Les caractéristiques analytiques du sol avant l'irrigation

L'étude a été réalisée sur le sol de la station d'épuration de Ouargla (Said Otba). Avant la mise en place des cultures, les analyses physico-chimiques et granulométriques ont donné les caractéristiques présentées dans les tableaux 6 et 7.

IV.2.1. Profil 1

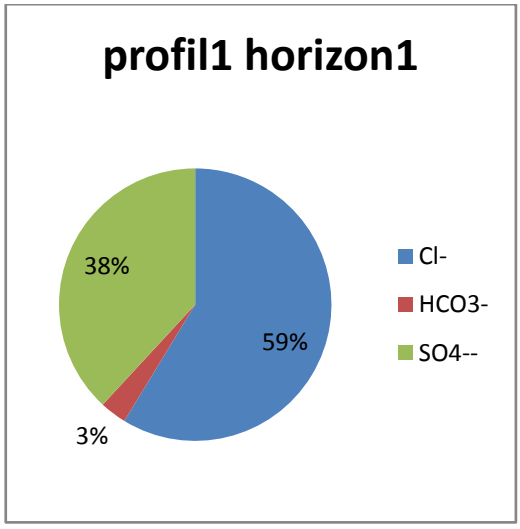
caractéristiques		**Horizons (cm)**		
		H 1	**H 2**	**H 3**
Profondeur (cm)		0 – 09	09 -67	>67
Calcaire total(%)		4.82	0.75	0.70
Gypse(%)		81.93	13.25	4.82
PH		7,51	7.40	7.25
C.E (ds /m)		3,14	2,93	1,9
Granulométrie(%)	**S. t .g**	7.5	4.9	1.9
	S. g	8.7	6.5	6.1
	S. m	28	19.4	37.4
	S. f	38.7	56.1	49.6
	S. t .f	13.1	11.3	4.7
	L+A	2.6	0.2	0.5
Classe texturale		Sableuse	Sableuse	Sableuse
	Cl^-	19,10	12,10	4,53

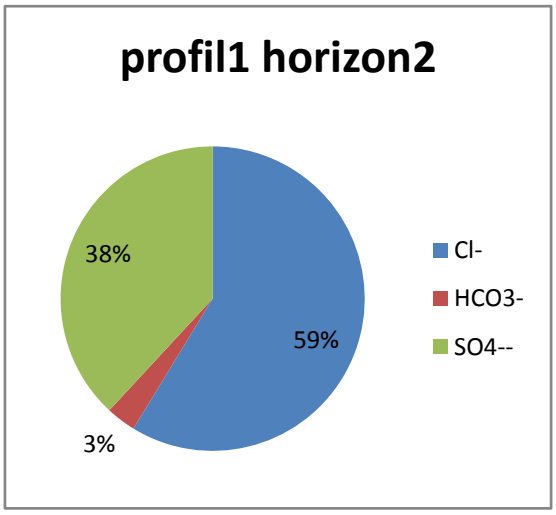
Bilan ionique de l'extrait aqueux 1/5(meq /l)	**HCO_3^-**	1,03	0 ,9	0.1
	SO_4^{--}	12,40	5,10	5,55
	Faciès des anions	Chloruré	chloruré	Sulfaté
	Na^++ K^+	28,01	13	5,68
	Ca^{++}	4,20	3,1	6,1
	Mg^{++}	1,33	1,22	0,9
	Faciès des cations	sodique	sodique	Équilibré
	SAR	16,87	8,84	3,04

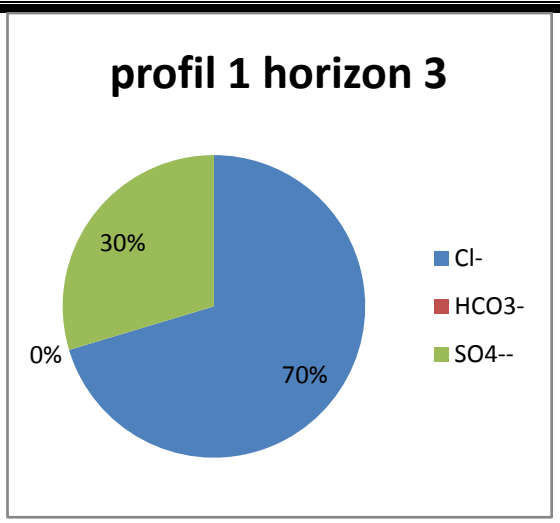
Tableau 6 : résultat des analyses physico-chimiques et granulométriques du sol avant la mise en place des cultures (Profil 1).

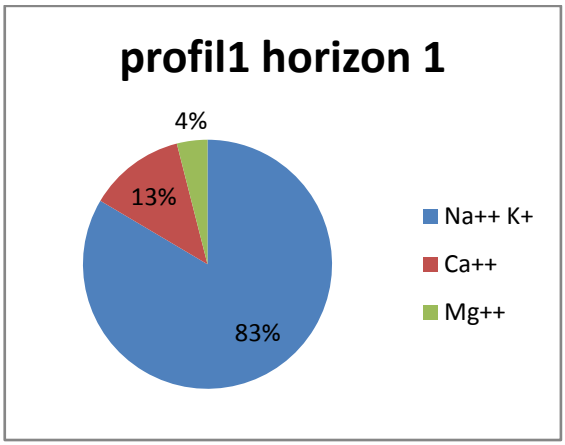
Au vu des résultats présentés dans le tableau (6), il est possible de ressortir que le sol du profil 1 est caractérisé par une texture sableuse, extrêmement gypseuse **(BARZANI, 1988).** Surtout au niveau des horizons de surface. Le calcaire présent a des faibles teneurs mais il est plus élevé dans le premier horizon. Le pH du sol est alcalin **(SOLTNAIRE., 1989).**

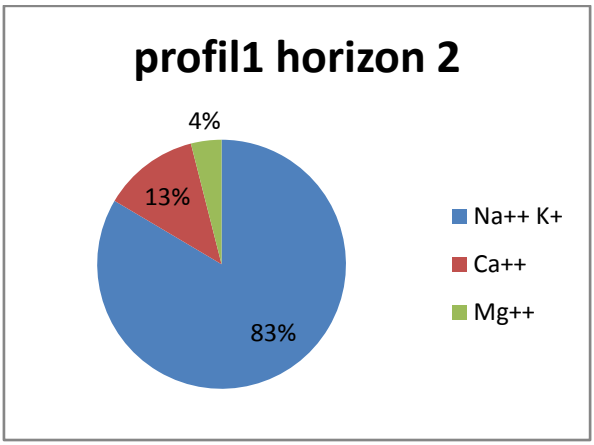
Interprétation des résultats de profil ionique de profil I











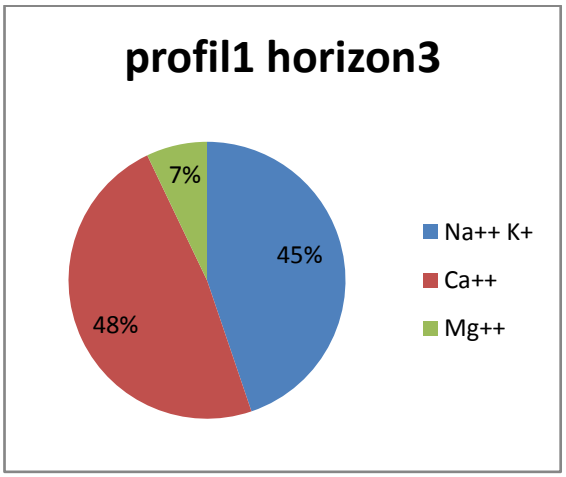


Figure 8 : pourcentage de répartition des ions dans le profil 1

Parmi les ions solubles dans l'extrait du sol, les ions Na^+ et Cl^- et SO_4^{--} sont les plus importants dans les 3 horizons et représentent les plus grands pourcentages de la somme des ions solubles de la solution de sol qui varient : de 25% à 42% pour le sodium, de 20% à 34% pour le chlore et de 14% à 24% pour le sulfate. Le reste étant des sels à base de calcium et un

degré moindre de bicarbonate et magnésium. Les valeurs maximales de calcium (27%) et sulfate (24%) se concentrent dans l'horizon 3.

L'ordre de dominance des cations et des anions dans l'horizon 1 et 2 sont est comme suit :

- Pour les cations : $Na^{+} > Ca^{++} > Mg^{++}$
- Pour les anions : $Cl^{-} > SO_4^{--} > HCO_3^{-}$

L'ordre de dominance des cations et des anions dans l'horizon 3 est comme suit :

- Pour les cations : $Ca^{++} > Na^{+} > Mg^{++}$
- Pour les anions : $SO_4^{--} > Cl^{-} > HCO_3^{-}$

V.2.2. Profil 2

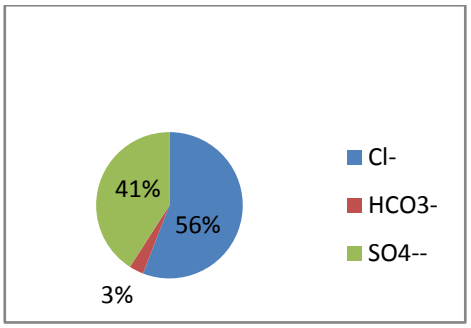
D'après le tableau suivant (tableau7), on constate que le sol du profil 2 se caractérise par une structure sableuse et un PH alcalin **(SOLTNAIRE., 1989)**.

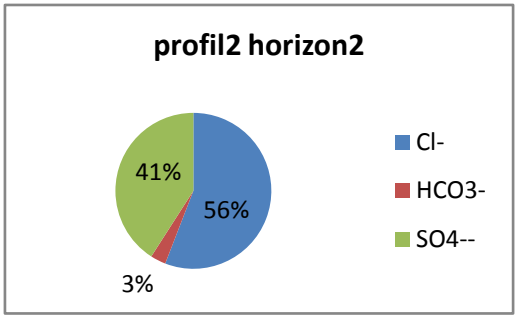
Tableau 7 : résultat des analyses physico-chimiques et granulométriques du sol avant la mise en place des cultures (Profil 2).

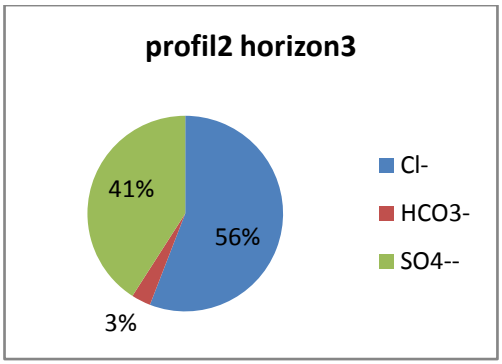
Caractéristiques		**Horizons (cm)**		
		H 1	**H 2**	**H 3**
Profondeur (cm)		0 – 07	07 -35	>35
Calcaire total(%)		1.68	0.65	0.56
Gypse(%)		49.15	44.07	6.78
PH		7.52	7.4	7.33
C.E (dS /m)		4,80	2,54	1,94
Granulométrie(%)	**S. t .g**	0.9	1.9	2.6
	S. g	1.2	3.5	4.7
	S. m	34.7	36.2	20.4
	S. f	51.2	42.2	53.3
	S. t .f	11.6	13.1	18
	L+A	0.4	3.1	0.7
Classe texturale		Sableuse	Sableuse	Sableuse
	Cl^{-}	20,62	10,10	6,1
Bilan ionique de	**HCO_3^{-}**	1,18	1	0.9

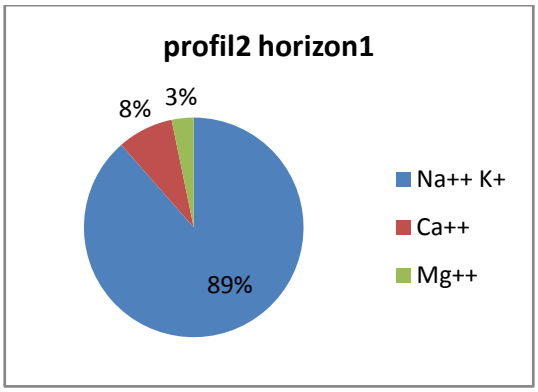
l'extrait aqueux 1/5(meq /l)	**SO_4^{--}**	15,10	7,33	7,80
	Faciès des anions	Chloruré	chloruré	Sulfaté
	Na^++ K^+	33,33	15,16	6,2
	Ca^{++}	3,1	3,2	6,8
	Mg^{++}	1,22	1,07	0.25
	Faciès des cations	sodique	sodique	sodique
	SAR	22,83	10,38	3,3

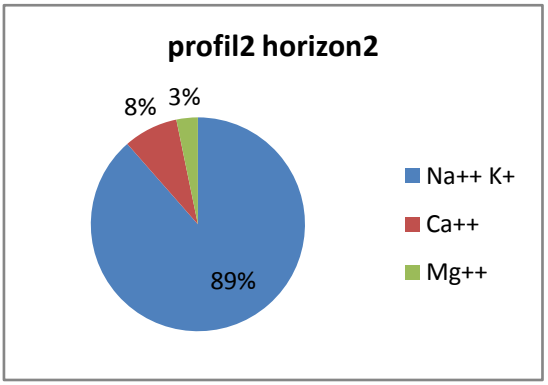
- **interprétation des résultats de profil ionique (Profil 2)**











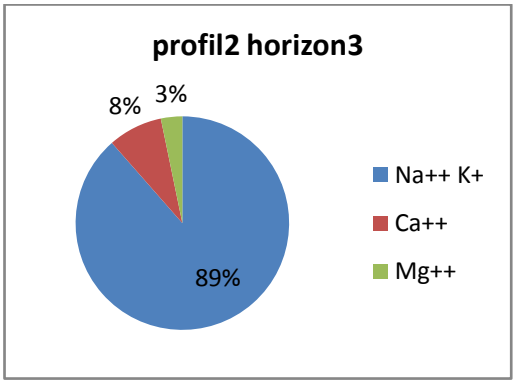


Figure 9 : pourcentage de répartition des ions dans le profil 2

D'après les figures précédentes (12,13, 14), on observe que les concentrations des ions Cl^{--}, SO_4^{--}et Na^+ sont les plus dominantes de la somme des ions dans la solution du sol qui varient entre de 22% et 45% pour le sodium, de 22% à 28% pour le chlorure et 19% à 28% pour le sulfate. Les ions HCO_3^- et Mg^{++} sont existants à très faibles concentrations. La concentration des ions Ca^{++} et SO_4^{--} sont beaucoup plus élevée dans l'horizon 3 (figure 14) par rapport aux autres horizons, et ceci peut être expliqué par une dissolution de gypse.

L'ordre de dominance des cations et des anions dans l'horizon 1 et 2 est comme suit :

- Pour les cations : $Na^+ > Ca^{++} > Mg^{++}$
- Pour les anions : $Cl^- > SO_4^{--} > HCO_3^-$

L'ordre de dominance des cations et des anions dans l'horizon 3 est comme suit :

- Pour les cations : $Ca^{++} > Na^+ > Mg^{++}$
- Pour les anions : $SO_4^{--} > Cl^- > HCO_3^-$

V.2.3. Les profils salins

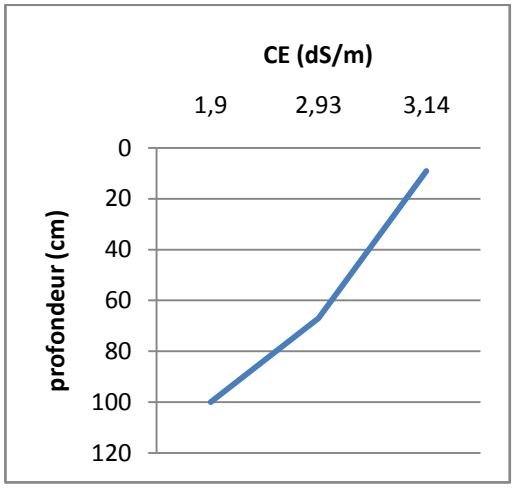


Figure 10 : Profil salin de profil 1

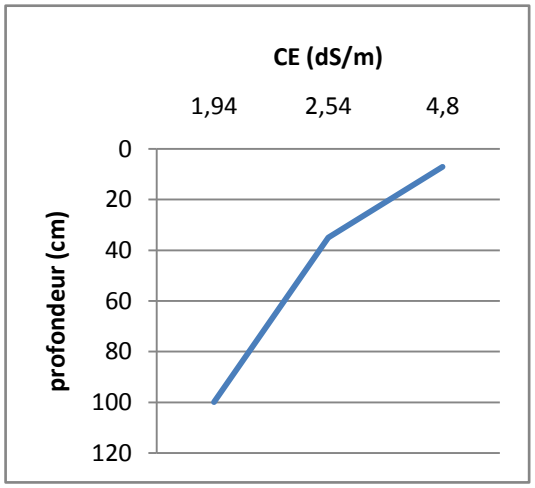


Figure 11 : Profil salin de profil 2

Les deux profils sont de type A **(SERVANT, 1975 in IDDER, 2006).** Les valeurs de la conductivité augment de bas en haut, elles sont plus concentrées dans les horizons de surface.

Conclusion

Le pourcentage des différents éléments constitutifs du sol détermine ces propriétés physiques, il nous renseigne sur le pouvoir d'accumulation et le mouvement de l'eau. En effet il détermine l'aération et le comportement des racines des cultures **(SOLTNER, 2000).**

Le sol de la STEP étudié est pratiquement homogène et présente une texture sableuse, 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.

Ce sol est salé dans les horizons profonds à très salé dans les horizons de surface **(AUBERT, 1978).** Selon l'échelle d'interprétation du pH établie par **SOLTNAIRE., 1989**, notre sol est alcalin. Le faciès chimique globale est chloruré sulfaté sodique.

Les valeurs de SAR sont comprises entre 3,3 à 22,83. L'alcalinisation est basse dans les couches profondes et forte à intense dans les couches de surface **(SEVANT et al, 1966).**

V. 3. Les caractéristiques physico-chimiques de l'eau d'irrigation

Le tableau suivant (8) représente les résultats des analyses physico-chimiques effectuées sur deux types d'eau d'irrigation (eau de forage et eau usée traitée).

Tableau 8 : paramètres physico-chimiques des deux types d'eau d'irrigation (l'eau de forage et l'eau usée traitée)

	CE à 25 °C (dS/m)	**SAR**	**PH**	**les anions (meq/l)**			**les cations (meq/l)**			
				HCO_3^-	**Cl^-**	**$SO4^{--}$**	**Na^+**	**Ca^{++}**	**K^+**	**Mg^{++}**
Eau de forage	2,49	7.76	7,87	2,95	11,96	3,25	11,41	2,28	0,38	2,05
Eau usée traitée	13,51	42,25	7,30	9	118,3	11,31	108,91	12,06	4,83	1,95

A partir des résultats obtenus dans le tableau précédent (tableau 8), il est possible de comparer les caractéristiques physico-chimiques de l'eau usée traitée et de l'eau de forage :

V.3.1. Le pH

D'après le tableau (8), on remarque que l'eau usée traitée présente un pH à une alcalinité moyenne avec une valeur de 7,87 **(NISDET et VERNEAUX, 1970)**. L'eau de forage présente un pH neutre avec une valeur de 7,30 **(NISDET et VERNEAUX, 1970)**. Le pH de l'eau d'irrigation devrait se situer entre 5,5 et 6,5. À ces valeurs, la solubilité de la plupart des micro-éléments est optimale **(ISABELLE., 2004).**

V.3.2.La conductivité électrique

Les résultats obtenus montrent que l'eau de forage est très salée selon **DURAND (1958)**, sa C.E présente une valeur de 2,49 dS/m. Nous avons remarqué que la salinité de l'eau usée traitée est plus élevée que celle de l'eau de forage avec une valeur de 13,51 dS/m, l'eau usée traitée est considérée comme eau à salinité excessive **(DURAND 1958)**. On a remarqué que la teneur des ions solubles dans l'eau usée traitée est plus élevée que celle de l'eau de forage.

V.3.3. Le SAR

La valeur SAR est de 42,25 pour l'eau usée traitée. La combinaison de valeur de SAR et de conductivité électrique permet de savoir le danger de cette eau pour le sol. D'après la figure de **l'annexe 4**, on constate que l'eau usée traitée appartient à la classe C_5S_4, elle est considérée comme une eau déconseillée pour l'irrigation.

Pour l'eau de forage, le SAR représente une valeur de 7,76. D'après **l'annexe 4**, on constate que l'eau de forage appartient à la classe C_3S_2, leur qualité est médiocre à mauvaise.

V.3.4. Le bilan ionique

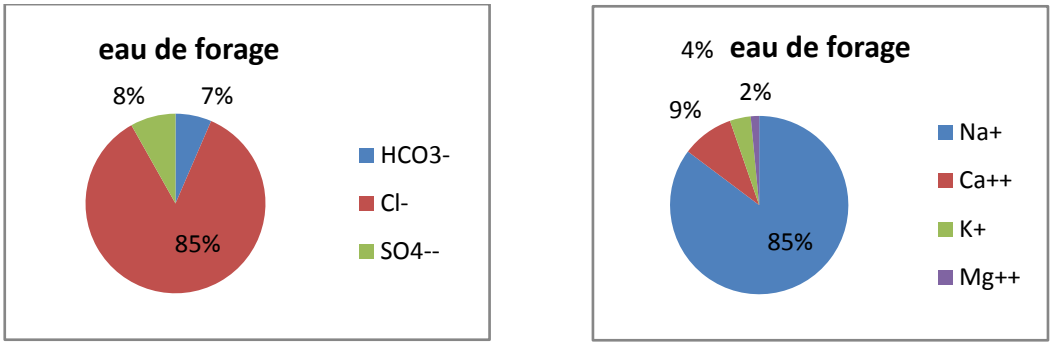


Figure 12 : Répartition des ions dans l'eau de forage

L'ordre de dominance des ions solubles dans l'eau de forage est comme suit :

- Pour les anions : $Cl^- > SO_4^{--} \geq HCO_3^-$
- Pour les cations : $Na^+ > Ca^{++} > Mg^{++} > K^+$

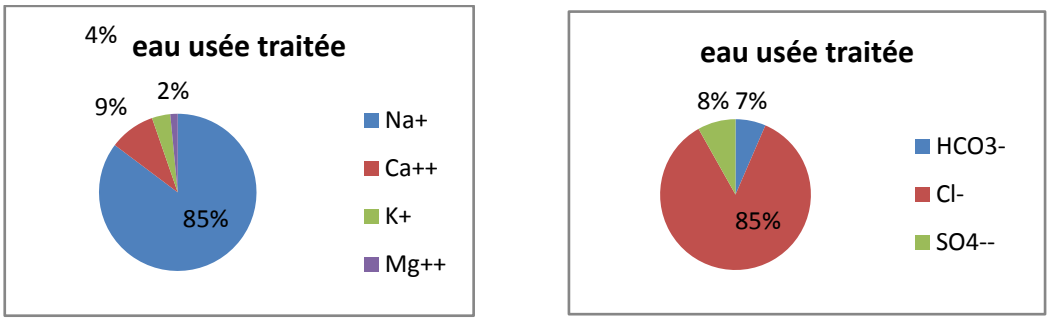


Figure 13 : Répartition des ions dans l'eau usée traitée

L'ordre de dominance des ions solubles dans l'eau usée traitée est comme suit :

- Pour les anions : $Cl^- > SO_4^{--} > HCO_3^-$
- Pour les cations : $Na^+ > Ca^{++} > K^+ > Mg^{++}$

- **La comparaison du bilan ionique des sols étudiés**

- **Cl^- (chlorure)**

Dans le tableau (8), on observe que la teneur en chlorure est beaucoup plus importante dans l'eau usée traitée (118,3meq/l) que celle dans l'eau de forage (11,96 meq/l). Les chlorures peuvent causer des dommages lorsqu'ils sont en trop grande quantité dans l'eau d'irrigation **(ISABELLE., 2004)**

- **Na^+ (sodium)**

La concentration de Na^+ est élevée dans l'eau usée traitée avec une valeur de 108,91 meq/l, et pour l'eau de forage elle est de l'ordre de 11,41 meq/l. Une grande quantité de sodium à un effet sur la perméabilité du sol et sur l'infiltration de l'eau, il remplace le calcium et le magnésium adsorbés sur les particules d'argile et provoque la dispersion des particules du sol **(ISABELLE., 2004).**

- **Ca^{++} (calcium) et SO_4^{--}(sulfate)**

Les concentrations des ions de Ca^{++} et de SO_4^{--} sont très grandes dans l'eau usée traitée par rapport à celle de l'eau de forage, leurs valeurs sont de 12,06 et 11,31 respectivement dans l'eau usée traitée, et de 2,28 et 3,25 dans l'eau de forage.

- **Mg^{++} (magnésium)**

Leur concentration est moins significative par rapport aux autres ions, elle est élevée dans l'eau de forage (2,05) par rapport à l'eau usée traitée (1,98) mais ne montre pas une grande différence.

Conclusion

Selon les deux critères de combinaison de la salinité et le SAR, on peut évaluer la qualité de notre eau pour l'irrigation. On conclut que l'eau usée traitée de la station d'épuration de Ouargla est déconseillée pour l'irrigation parce qu'elle est considérée comme une eau à très forte salinité. L'eau de forage est considérée comme une eau de qualité médiocre à mauvaise.

	CE à 25 °C (ds/m)	SAR	PH	les anions (meq/l)			les cations (meq/l)		
				HCO_3^-	Cl^-	$SO4^{--}$	$Na^+ + K^+$	Ca^{++}	Mg^{++}
sol irrigué par les eaux de forage	6,8	17.58	7,3	1,05	21,45	16,5	31,12	1,5	4,8
sol irrigué par les eaux traitées	7,61	20.79	7,21	1	23,55	18,68	36,8	1,45	4,82

V.4. Les caractéristiques analytiques du sol irrigué

Le tableau suivant (9) représente les résultats effectués afin de déterminer les caractéristiques physico-chimiques du sol étudié irrigué avec les deux types d'eaux d'irrigation (eau de forage et eau usée traitée).

Tableau 9 : paramètres physico-chimiques de sol irrigué par l'eau de forage et par l'eau usée traitée

Au vu des résultats présentés dans le tableau précédent, il est possible de comparer les effets de l'eau usée traitée et de l'eau de forage sur les propriétés physico-chimiques du sol étudié.

V.4.1.Le pH

L'activité du sol est la majeure partie des éléments nutritifs dépendant du PH **(BERTSCHINGER et al, 2003 in BOUKHRIS., 2012).** Les résultats obtenus dans le tableau montrent que les parcelles irriguées par l'eau de forage et l'eau usée traitée présentent un pH alcalin **(SOLTNAIRE, 1989)**, avec des valeurs de 7.3 et 7,21 respectivement.

V.4.2.La conductivité électrique

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).** Les résultats obtenus montrent que le sol étudié irrigué par l'eau de forage est extrêmement salé, la C.E présente une valeur de 6.8 dS/m (le sol est considéré comme extrêmement salé lorsque la conductivité électrique de l'extrait dilué est supérieur à 6 dS/m **(AUBERT, 1978)**), on a constaté que la salinité dans la parcelle irrigué par l'eau traitée est plus élevée que celle de sol irrigué par l'eau de forage avec une valeur de 7,61 dS/m, cela est expliqué par la teneur élevée en sels solubles dans l'eau traitée en comparaison avec l'eau de forage.

V.4.3. Le SAR

Les valeurs du SAR sont comprises entre 17,58 pour le bloc irrigué avec l'eau de forage et de 20,79 pour le bloc irrigué avec l'eau usée traitée. De ce fait l'alcalinisation est forte dans la parcelle irriguée par l'eau de forage, et intense dans la parcelle irriguée par l'eau usée traitée. **D'après SEVANT et al, 1966** l'alcalinisation est forte quant elle est compris entre 12 < SAR ≤ 18, et intense quant le SAR est supérieur à 18.

V.4.4.Le bilan ionique

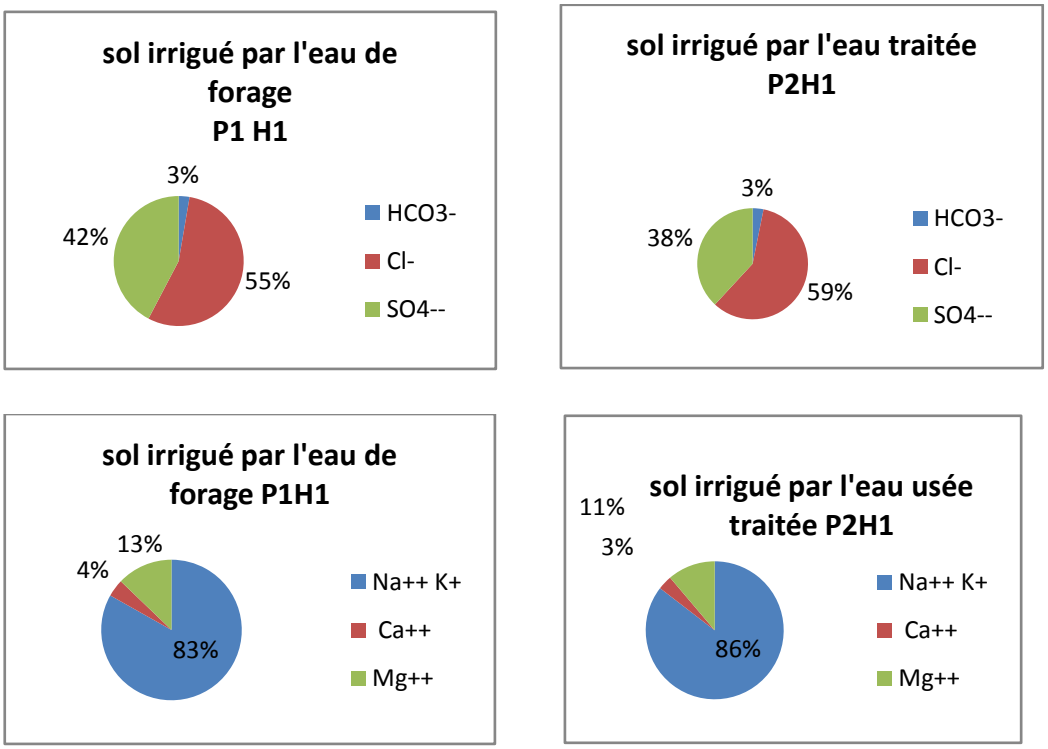


Figure 14, 15, 16 et 17 : Répartition des ions dans le sol irrigué par l'eau de forage et l'eau usée traitée

L'ordre de dominance des ions solubles dans les deux types de sols irrigués est comme suit :

- Pour les anions : $Cl^- > SO_4^{2-} > HCO_3^-$
- Pour les cations : $Na^+ + K^+ > Mg^{++} > Ca^{++}$

- **La comparaison du bilan ionique des sols étudiés**

- **Cl^- :**

La concentration en Cl^- de la solution du sol augmente avec la salinité des eaux d'irrigation. Dans le tableau (9), on observe que la teneur en chlorure est beaucoup plus importante dans la parcelle irriguée par l'eau traitée (23,55 meq/l) que celle irriguée par l'eau de forage (21,45 meq/l). Cela est dû à la teneur élevée en Cl^- dans l'eau usée traitée.

- **Na^+ :**

La concentration de Na^+ est généralement plus élevée dans les deux parcelles irriguées, mais elle est plus grande dans la parcelle irriguée par l'eau usée traitée avec une valeur de 36,8 meq/l, et pour le sol irrigué par l'eau de forage elle de l'ordre de 31,12 meq/l. Cela est dû aux fortes concentrations en Na^+ dans l'eau usée traitée.

- Il est à noter que le Cl^- et le Na^+ ont une très bonne corrélation avec la CE.

- **Ca^{++} :**

Pour le Ca^{++}, il y a presque une égalité de concentrations entres les deux sols, ceci semble être expliqué par la solubilité difficile de cet élément par rapport au Na^+ et Cl^- et aussi par la faible teneur de Ca^{2+} dans les deux types d'eaux d'irrigation.

- **SO_4^{--} :**

La teneur en SO_4^{--} est plus importante dans le bloc irrigué par l'eau usée traitée (18,68 meq/l), que celui irrigué par l'eau de forage (16,5 meq/l).

- **Mg^{++} :**

Leur concentration est moins significative par rapport aux autres ions, mais elle est élevée par rapport au Ca^{++} et HCO_3^- dans les deux sols.

Conclusion

Enfin, on peut dire que les teneurs de Na^+, Cl^- et le SO_4^{--} sont parfaitement les plus élevés dans les deux types de sol car l'eau d'irrigation est salée présentant des teneurs élevées

en ces ions, mais sont plus remarquables dans l'eau usée traitée. La forte teneur en ces éléments peut changer la structure du sol et devenir imperméable. Généralement Le K^+ soluble se trouve en très faible quantité dans la solution du sol. Les bicarbonates et le calcium se trouvent en très faible concentrations.

V.5. Comparaison des résultats des sols

V.5.1. sols avant et après irrigation par l'eau de forage

Les résultats d'analyses physico-chimiques des échantillons des sols avant et après l'irrigation par l'eau de forage sont illustrés dans le tableau suivant (10):

	p1 h1	**Sol irrigué par l'eau de forage**
HCO_3^- (meq/l)	1,03	1,05
Cl^- (meq/l)	19,1	21,45
SO_4^{2-} (meq/l)	12,4	16,5
Na^++ K^+ (meq/l)	28,01	31,12
Ca^{++} (meq/l)	4,2	1,5
Mg^{++} (meq/l)	1,33	4,8
pH	7,51	7,3
C.E (dS/m)	3.14	6,8
S.A.R	16,87	17,58

Tableau 10 : Résultats d'analyses physico-chimiques obtenus du sol (P1 H1) avant et après l'irrigation par l'eau de forage.

D'après les résultats obtenus dans le tableau (10), on remarque qu'il y a une évolution de la salinité de 3,14 vers 6,8 (dS/m) dans la parcelle irriguée par l'eau de forage. Cette salinisation est du aux concentrations élevées des ions solubles qui se trouvent dans l'eau de forage, ce sol est considéré comme extrêmement salé **(AUBERT, 1978)**. On observe aussi qu' 'il ya une diminution de pH dans la parcelle irriguée.

La valeur de SAR est élevée dans la parcelle irriguée par l'eau de forage (17,58) par rapport au sol nu (16,87), mais pas avec une grande différence.

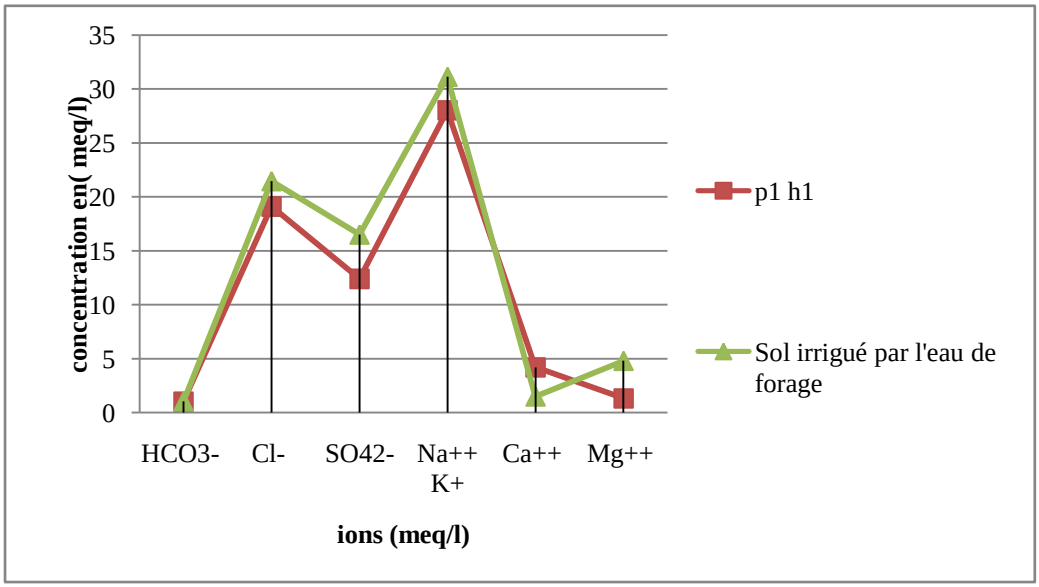


Figure 18 : répartition des ions dans le sol irrigué par l'eau de forage et le sol nu (p1 h1)

D'après la figure précédente (27), on observe que l'eau de forage contient des teneurs élevées d'ions solubles (Na^+, Cl^- et SO_4^{2-}), cette élévation permet d'augmenter les concentrations de ces ions dans le sol irriguée par cette eau. Le Ca^{++} et le HCO_3^- présentent en faibles concentrations dans les deux sols, on peut interpréter cette diminution par l'immobilité et l'insolubilité de ces ions.

Tableau 11: Les résultats d'analyses physico-chimiques du sol (P1 H2) avant et après irrigation par l'eau de forage

	p1 h2	**Sol irrigué par l'eau de forage**
HCO_3^- (meq/l)	0,9	1,05
Cl^- (meq/l)	12,1	21,45
SO_4^{2-} (meq/l)	5,1	16,5
Na^+ +K^+ (meq/l)	13	31,12
Ca^{++} (meq/l)	3,1	1,5
Mg^{++} (meq/l)	1,22	4,8
pH	7.40	7,3
C.E (dS/m)	2,93	6,8
S.A.R	8,84	17,58

D'après le tableau ci-dessus (11), on observe que la conductivité électrique évolue de 2,93 (dS/m) dans P1 H2 à 6,8 (dS/m) dans la parcelle irrigué par l'eau de forage, selon **(AUBERT, 1978)** ce sol est considéré comme extrêmement salé, cette salinisation est dûe à la forte concentration des ions solubles qui se trouve dans l'eau de forage 2,49 (dS/m).

On remarque que PH a diminué dans la parcelle irriguée par l'eau usée traitée (7,40 vers 7,3). Le SAR présente une valeur très élevée dans la parcelle irriguée par l'eau usée traitée.

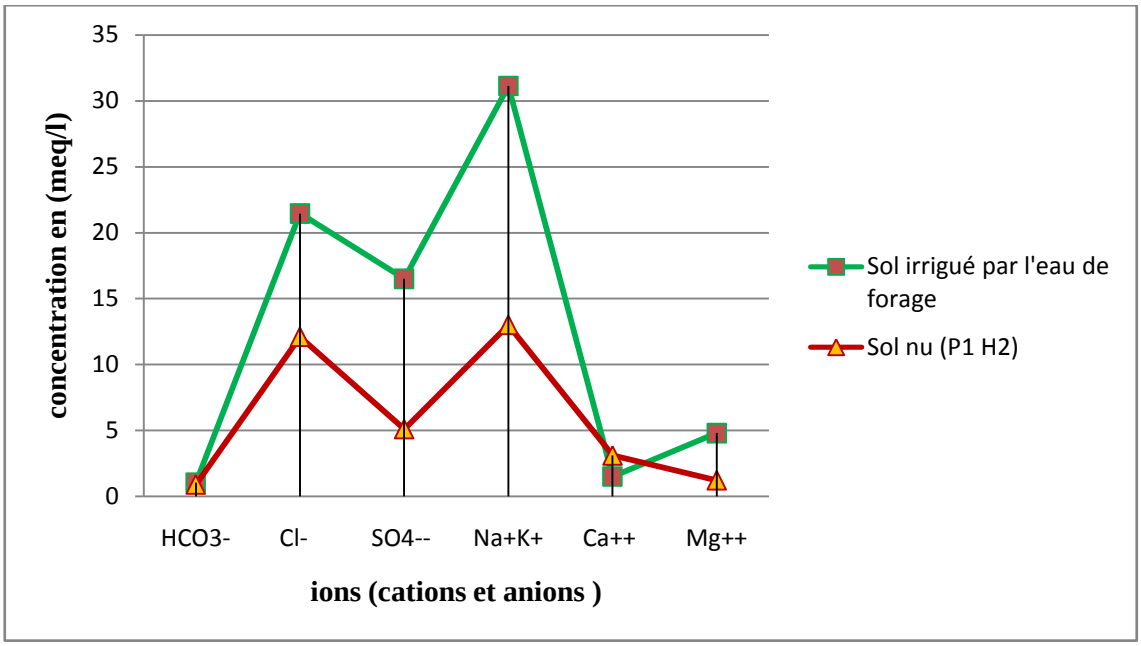


Figure 19 : répartition des ions dans le sol irrigué par l'eau de forage et le sol nu (p1 h2)

D'après la figure précédente (27), nous remarquons que les concentrations des ions Cl^-, Na^++ K^+ et SO_4^{2-} dans la parcelle irriguée par l'eau usée traitée sont élevées par rapport au sol (P1 H1), cette élévation est due aux fortes concentrations de ces ions dans l'eau de forage. Elles représentent des valeurs de 11,96 (me/l), 11,79 (me/l) et 3,25 (me/l) respectivement dans l'eau de forage. La concentration en Mg^{++} est grande dans le sol irrigué par l'eau de forage à cause de sa présence dans cette eau.

V.5.2. Le sol avant et après l'irrigation par l'eau usée traitée

Les résultats d'analyses physico-chimiques des échantillons des sols et de l'eau sont illustrés dans le tableau suivant (12) :

	P2 H1	Sol irrigué par l'eau usée traitée
HCO_3^- (meq/l)	1	1
Cl^- (meq/l)	20,62	23,55
SO_4^{2-} (meq/l)	15,1	18,68
Na^+ +K^+ (meq/l)	33,33	36,8
Ca^{++} (meq/l)	3,1	1,45
Mg^{++} (meq/l)	1,22	4,82
pH	7,52	7,61
C.E (dS/m)	4,8	7,21
S.A.R	22,83	20,79

Tableau 12 : Les résultats d'analyses physico-chimiques du sol (P2 H1) avant et après irrigation avec l'eau usée traitée.

D'après le tableau (12), on observe que la conductivité électrique évolue de 4,80 (dS/m) dans P2 H1, et de 7,61 (dS/m) dans la parcelle irriguée par l'eau usée traitée, selon **(AUBERT, 1978)** ce sol est considéré comme extrêmement salé. Cette salinisation est dûe à la forte valeur de la conductivité électrique de l'eau traitée 13,51 (dS/m). On remarque qu'il ya une augmentation de PH dans la parcelle irriguée par l'eau usée traitée (de 7,52 vers 7,61). On remarque une diminution de la valeur de SAR dans la parcelle irriguée par l'eau traitée.

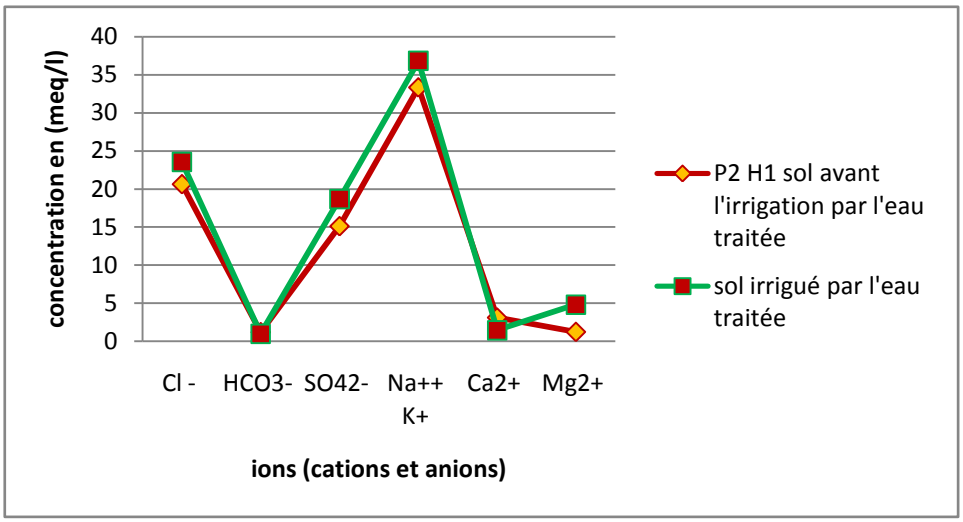


Figure 20 : répartition des ions dans le sol irrigué par l'eau traitée et le sol nu (p2 h1)

D'après la figure précédente (28), nous remarquons que les concentrations des ions Cl^-, Na^++ K^+ et SO_4^{2-} dans la parcelle irriguée par l'eau usée traitée sont élevées par

rapport au sol (P2 H1), cela est du aux fortes concentrations de ces ions dans l'eau usée traitée. A partir de tableau (12), on observe que les concentrations de Cl^-, Na^+ et SO_4^{2-} présentent des valeurs de 118,3 (me/l), 113,74 (me/l) et 11,31(me/l) respectivement dans l'eau usée traitée. La concentration en Mg^{++} est grande dans le sol irrigué par l'eau usée traitée à cause de la présence de cet ion dans cette eau.

Tableau 13 : résultats d'analyses physico-chimiques du sol (P2 H2) avant et après l'irrigation par l'eau usée traitée.

	P2 H2	**Sol irrigué par l'eau usée traitée**
HCO_3^- (meq/l)	1	1
Cl^- (meq/l)	10,1	23,55
SO_4^{-2} (meq/l)	7,33	18,68
Na^+ +K^+ (meq/l)	15,16	36,8
Ca^{++} (meq/l)	3,2	1,45
Mg^{++} (meq/l)	1,07	4,82
pH	7.40	7,21
C.E	2,93	7,61
S.A.R	10,38	20,79

Au vu des résultats obtenus dans le tableau ci-dessus (13), nous observons une augmentation de la salinité dans la parcelle irriguée par l'eau usée traitée 7,61 (dS/m), selon **(AUBERT, 1978)** ce sol est considéré comme extrêmement salé, on peut interpréter cette élévation de la salinité par la forte conductivité électrique qui caractérise l'eau usée traitée 13,15 (dS/m). Les valeurs de SAR sont plus élevées dans la parcelle irriguée par l'eau usée traitée. Le pH a baissé dans la parcelle irriguée par l'eau usée traitée.

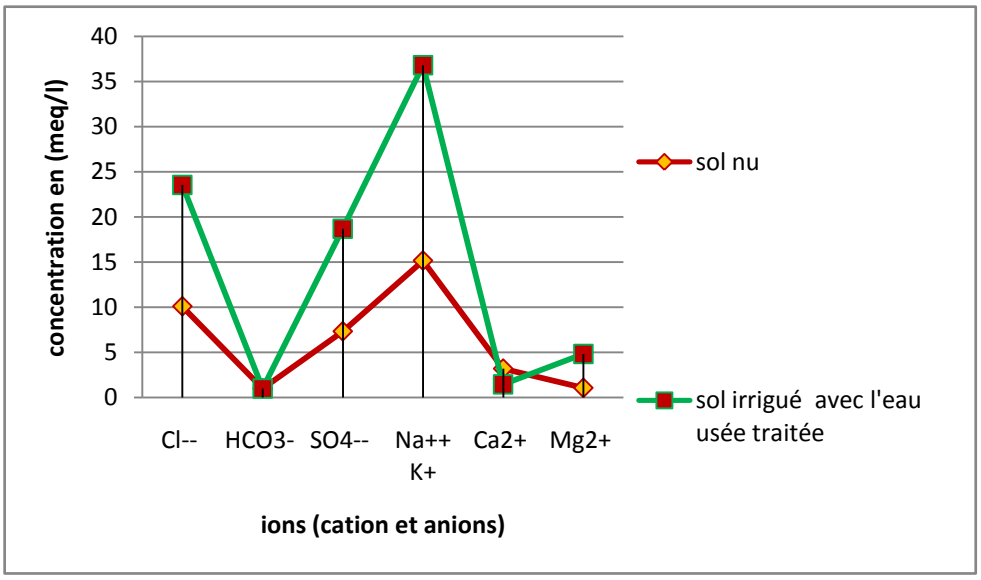


Figure 21 : répartition des ions dans le sol irrigué par l'eau traitée et le sol nu (p2 h2)

D'après le tableau (13) et la figure (29), on observe que les teneurs en Na^+, Cl^- et SO_4^{2-} sont élevées pour les deux types de sol (irrigué et non irrigué), mais leurs concentrations sont beaucoup plus élevées dans la parcelle irriguée par l'eau usée traitée, cela est dû aux fortes concentrations de ces ions dans cette eau. La teneur en HCO_3^- est faible dans les deux parcelles. Nous observons aussi que la concentration des ions Mg^{2+} est élevée dans la parcelle irriguée par l'eau usée traitée, cela peut provoquer une pollution saline dans le site d'étude. Nous remarquons aussi que la concentration de d'ion Ca^{2+} est faible dans la parcelle irriguée par l'eau usée traitée, alors que sa concentration cette eau est élevée.

Conclusion

La salinité du sol et de l'eau constitue le problème majeur dans beaucoup de pays du monde **(SZABOLOCS, 1979).** Les eaux salées dans la région Saharienne d'Algérie constituent la majorité des eaux d'irrigation disponibles, elles sont à ranger dans les classes 3 et 4 **(DUBOST., 1994).** Leur effet sur le sol et les végétaux est d'autant plus nocif que leur utilisation est mal étudiée.

Les bilans ioniques réalisés sur des échantillons prélevés des eaux et des sols irrigués, montrent que la géochimie des eaux d'irrigation est dominée par le chlorure et le sodium. Les résultats montrent que le calcium tend à être précipité tandis que le chlorure et le sodium et le sulfate sont plus mobiles.

La diminution du pH dans les parcelles irriguées par l'eau de forage et l'eau usée traitée peut être expliquée par la présence de fortes teneurs en sels solubles qui se trouvent dans ces eaux.

Les concentrations des ions Mg^{2+} augmentent dans les deux parcelles irriguées à cause de leurs présences dans les deux types d'eaux d'irrigation.

Le SAR et CE (salinité) devraient être employés en association pour évaluer les problèmes potentiels éventuels **(RHODES., 1977).**

Conclusion générale

Les résultats des essais sur les conséquences de la réutilisation des eaux usées traitées issue de la station d'épuration d'Ouargla, et les eaux de forage sur les paramètres physico-chimiques du sol permettent une évolution significative de la salinité du sol étudié.

Sur les bases des résultats des analyses physico-chimiques effectuées sur l'eau usée traitée de la station d'épuration de Ouargla, sa qualité globale a été évaluée et indique évidemment une salinité importante et une charge ionique élevée vue les grandes teneurs en chlorure et sulfate et sodium. Cette eau usée traité présente un pH légèrement alcalin. Elle se caractérise par une conductivité électrique très élevée. Concernant l'eau de forage, elle est acceptable pour l'irrigation, présente un PH neutre et une salinité moins importante que l'eau usée traitée.

- Avant l'irrigation, notre sol est caractérisé par une texture sableuse extrêmement gypseuse et la présence des teneurs faibles en argile et l'absence de la matière organique selon l'observation visuelle, aussi par un PH légèrement alcalin, et une salinité élevée.
- D'après les valeurs de SAR et de conductivité électrique obtenus, nous avons constaté que l'eau usée traitée appartient à la classe C5S4, elle est considérée comme une eau déconseillée pour l'irrigation, Malgré sa mauvaise qualité, certaines plantes poussent normalement. Pour l'eau de forage, on perçoive qu'elle appartient à la classe C3S2, leur qualité est médiocre à mauvaise.
- Concernant l'impact de l'utilisation des eaux usées traitées, et les eaux de forage sur les paramètres physico-chimiques du sol, nous avons trouvé que La conductivité électrique du sol augmente avec l'utilisation de deux types d'eau d'irrigations, mais elle est plus grande dans la parcelle irriguée par l'eau usée traitée de la station d'épuration de Ouargla.
- L'ensemble des travaux effectués sur les périmètres irrigués avec l'eau usée traitée au cours de deux mois d'expérience, montrent que celles-ci présentent un risque de salinisation et d'alcalinisation.
- Les effets de la réutilisation des eaux usées traitées se font sentir au niveau d'un récepteur primaire qui est le sol, secondaire (1a nappe) et un tertiaire (1a plante). L'Homme et l'animal, représentent le récepteur le plus sensible qu'il faut préserver à tous prix **(SLIM et al, 1977)**.
- Au future les risques de la salinisation du sol peuvent avoir lieu après des irrigations répétées, sur le cite de l'expérimentation. En revanche, la demande de l'eau douce est constamment en augmentation pour différentes utilisations compétitives ce qui créer une nécessité d'utilisation de l'eau usée traitée en agriculture.

Références Bibiographiques

Références bibliographiques

- AFD., 2011- Agence Française de Développement. Réutilisation des eaux usées traitées – Perspectives opérationnelles et recommandation pour l'action, 91 pages.
- AFNOR., 1999- Qualité des sols. Ed. AFNOR, vol. 1 et 2, Paris, 973 p.
- ASAN0 T. **(**1998)., Wastewater reclamation and reuse. Water quality management library, 1475 p.
- AUBERT G., 1978- Méthodes d`analyses des sols. Ed. CRDP, Marseille, 191 p.
- BACI L., 1978- contribution à l'étude de la salinisation des sols de Hodna (Wilaya de M'sila). Thèse Ing .I.N.A. Alger. 100 p
- BAUMONT, CAMARD J-P, Lefranc A, FRANCONI A. (2004)- Réutilisation des eaux usées: risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France. Rapport ORS, 220p.
- BENZAHI Y., 1994 – contribution à l'etude de la dynamique des sels dans un sol irrigué sous palmeraie. Thèse Ing. I.N.F.S.A.S., Ouargla, 111 p.
- BENZAOUI N., ELBOUS F., 2009- Epuration des eaux usées par le procédés des boues activées au de la commune de Touggourt. Mémoire Ing Chimie. Université d'Annaba. 37 p.
- BG., 2003- Etudes d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation Décembre2003.131 p.
- BOUKHALFA et KAFI., 2011- Description du système de traitement des eaux usées par lagunage de la cuvette de Ouargla. Mémoire License. Université de Ouargla, 27 p.
- BOUKHRIS K., 2012- Mode de dégradation des aridosols par précipitations salines saisonnières, approche géochimique (cas de la cuvette de Ouargla). Mémoire ingéniorat. Université de Ouargla, 82p.
- CHELLE F., DELLALE M., DEWACHTER M., MAPAKOU F., VERMEY L., 2005- L'épuration des eaux : pourquoi et comment épurer Office iinternational de l'eau, 15 pages.
- DAUCHAUFOUR P., 1977- pédogénèse et classification. Ed Masson Paris, 477 p.
- DAY A. and LUDEKE K., 1993- Plant Nutrients in Desert Environments. Ed. Springer Verlage, Berlin, Heideberg, New York, London, Paris, Tokyo, Hong Kong, Barcelona, Budapest, 117 p.
- DIRECTION DE L'ENVIRONNEMENT., 1990- Les stations d'épuration d'effluents domestiques. Ed. Ministère de l'intérieur. 24p.
- DUCHAUFOUR P., 1977- Pédologie. Pédogenèse et classification. Tom I, Ed. Masson, Paris, 477 p.

- DURAND J. H., 1958- Les sols irrigables. Etude pédologique. Ed. Imbert, Alger, 190 p.
- FABY J.A., BRISSAUD F., 1997- L'utilisation des eaux usées épurées en irrigation. Office International de l'Eau, 76 pages.
- FAO., 2002- The use of treated waste water (tww) in forest plantations in the near east region Near east forestry commission (fifteenth session), 5 pages.
- FAO., 2003- L'irrigation avec des eaux usées traitées : Manuel d'utilisation. FAO Irrigation and Drainage paper, 65p.
- GAMRASNI M A., 1984- Utilisation énergétique des boues et déchets, Association française pour l'étude des eaux, centre national de documentation et information sur l'eau, Paris.
- GAUCHER G et BURDIN S., 1974- Géologie, géomorphologie et hydrologie des terrains salés. Presses Universitaires de France, Imp. Boudin, Paris, 234 p .
- HALITIM A., 1988- Sols des régions arides d'Algérie. Ed. O.P.U., Alger, 384p.xpérimentale de sable additionné d'argile, Thèse Doc. I.N.A. Paris, 384 p.
- HAMDY A., 1991 Water soil and crop management relating to the use of saline water. European Mediterranean conference on the use of saline water in irrigation. MAI/ Bari.
- HOUBI A.;2010. Étude de système actuel de drainage et d'évacuation des eaux excédentaires agricoles dans la cuvette de Ouargla et son incidence sur la palmeraie d'El Ksar. Mémoire d'ing écologie p63.
- IDDER M A H., 2006- Mode de fixation et de cristallisation des sels dans un sol nu non irrigué dans la région de Ouargla. Mémoire de magister, I.N.A. El Harrach, 100p.
- IDDER T., IDDER A., MENSOUS M., 2011- Les conséquences écologiques d'une gestion non raisonnée des eaux agricoles dans les oasis du Sahara Algérien (cas de l'oasis de Ouargla).Université de Marseille, Atelier N° 3,12 p.
- IDDER T.; 2007. Le problème des excédents hydriques á Ouargla; situation actuelle et perspectives d'amélioration, sécheresse, 18(3).p161-170.
- ISABELLE C., 2004- Analyse d'eau pour fin l'irrigation. MAPAQ Montérégie-Est, 8 p.
- KANDIAH A., 1990- Environmental impacts of irrigation development with special reference to saline water use. In: Water, Soil and Crop Management Relating to the Use of Saline Water. AGL/MISC/16, FAO, Rome. pp. 152-165.

- LABADI K.et MOUKAR M., 2010- Etude des performances de la station de traitement des eaux usées urbaines par lagunage de la ville de Ouargla. Mémoire d'ing écologie p158.
- LADJEL F., 2006- Exploitation d'une station d'épuration à boue activée niveau 02. Centre de formation au métier de l'assainissement. CFMA-Boumerdes. 80 p.
- LÄUCHLI A. and LÜTTGE U., 2004- Salinity: Environment-Plants-Molecules. Ed. Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 551 p.
- LAZAROVA V., GAID A., RODRIGUEZ-GONZALES J., ALDAY ANSOLA J., 2003- L'intérêt de la réutilisation des eaux usées : analyses d'exemples mondiaux. Techniques Sciences et Méthodes, 9 : 64-85.
- LE HOUÉROU H. N., 1968- La désertisation du Sahara septentrional et des steppes limitrophes (Libye, Tunisie, Algérie). London Ann. Alg. Géogr. : 2-27.
- MAAIT J.E., 1997- La réutilisation des eaux usées en irrigation. ENGREF, 9pages.
- MASSENA P. A., 2001- Valorisation des eaux usées en irrigation localisée. Office international de l'eau, 14 pages.
- MENSOUS M. ; 2011 Étude du système de gestion des eaux usées dans l'oasis de Ouargla. Mémoire Magister p108.
- MENSOUS M., 2011- Etude du système de gestion des eaux usées dans l'oasis de Ouargla. Mémoire Magister p1.
- NEZLI I, 2009- Approche hydrogéochimique à l'étude des aquifères de la basse vallée de Oued M'ya (Ouargla). Mem doctorat, univ, Biskra, 115 p.
- O.N.A., 2011- Office National de l'Assainissement. Etudes d'assainissement des eaux résiduaires pluviales et d'irrigation: Mesures de lutte contre la remontée de la nappe phréatique; ONA, Ouargla, 42 p.
- O.N.M., 2013- Bulletin d`informations climatiques. Ed. Office National Météorologique,
- OMEIRI N., 1994- Contribution à l'étude de la dynamique saisonnière des sels solubles dans la cuvette de Ouargla. Thèse Ing, I.N.F.S.A.S., Ouargla, 72 p.
- PITMAN M. G., LAUCHLI A., 2002- Global impact of salinity and agricultural ecosystems. In: Salinity: Environment-Plants-Molecules. Eds. A. Lauchli, V. Luttge, Kluwer, The Netherlands : 3–20.
- RAMADE F., 2000- Dictionnaire encyclopédique des pollutions. Ed. Ediscience international, Paris, 689p.

- RHOADES J.D. 1977- Potential of using saline agricultural drainage for irrigation. In Proc. Water management for irrigation and drainage. ASAE, Reno, Nevada, July 1977:85-116.
- RODRIGEZ-GRACIA., 2004-Etude de la congélation comme technique de traitement des eaux:applications spécifiques, Thèse de doctorat, L'institut National Des Sciences Appliquées deToulouse, L'université de Toulouse, France, p9-10-11, 2004
- ROUVILLOIS-BRIGOL,. 1975- Les pays de Ouargla (Sahara algérienne).Ed département géographyque.Paris, Sorbonne, 310 p.
- SERVANT J. M., 1978- La salinité dans le sol et les eaux: caractérisation et problèmes d'irrigation drainage. Bull. BRGM, Sec n°2 : 123–142.
- SERVANT J., 1970- Etude expérimentale de l`influence des conditions salines sur la perméabilité des sols. Conséquences pédologiques. Science du sol, N°2: 87–101.
- SERVANT J., 1973- Le profil salin des sols. Méthodes d`études et signification. Application aux sols halomorphes du Midi de la France. Ann. Agro., 24, 3: 375 –393.
- SERVANT J., 1975- Contribution à l'étude pédologique de terrains halomorphes. L'exemple des sols salés du Sud et du Sud-ouest de la France. Thèse d'état . Université de Montpellier, 200 p.
- SHEIKH B., COOPER R.C., ISRAEL K.E., 1999- Hygienic evaluation of reclaimed water used to irrigate food crops – a case study. *Water Science and Technology*, 40 (4-5): 261-267.
- SLIM Z., LAMIA G., TAHAR A., KAMEL D., 1997- Externalité négative de l'utilisation des eaux usées traitées en agriculture. CIHEM - Option Méditerranéennes, 24 pages.
- SOLTNER D., 1989- Les bases de la production végétale. Le sol. Ed. Angers, 468 p.
- USDA en ligne. The United States Department of Agricultural website provides suitable globale information about agricultural issues. Available in line at: http://www.Usad.gov.
- YOUCFI M., 2011- Étude de l''impact de l''hydro-halomorphie des sols sur la biogéographie des hydro-halophytes dans la cuvette de Ouargla. Mémoire de Magister. Université de Ouargla, 120.

Annexes

Annexe 1 : La réglementation algérienne.

Paramètres	Normes
Physico-chimiques	
Température	Moins de 25° C
pH	6,5 à 8,5
Chlorures	20 à 200 mg
Sulfates	25 à 200 mg
Carbonates et bicarbonates	Moins de 30 mg
Calcium	100 à 200 mg
Magnésium	30 à 50 mg
Dureté totale	100 à 500 mg
Sodium	20 à 150 mg
Potassium	10 à 12 mg
Aluminium	0,2 mg
Substances indésirables	
Nitrate	25 à 50 mg
Nitrite	0,1 mg
Ammonium	0,5 mg
Azote	1 mg
Matière organique	2 à 5 mg
Autres substances	
Fer	0,2 mg
Manganèse	0,05 mg
Cuivre	1 mg
Zinc	5 mg
Phosphore	5 mg
Argent	0,01 mg
Substances toxiques	
Arsenic	0,05 mg
Cadmium	0,05 mg
Cyanure	0,05 mg
Chrome	0,05 mg
Mercure	0,05 mg
Nickel	0,05 mg
Plomb	0,05 mg

Annexe 2 : Echelle d'interprétation des résultats du pH des eaux (NISDET et VERNEAUX, 1970)

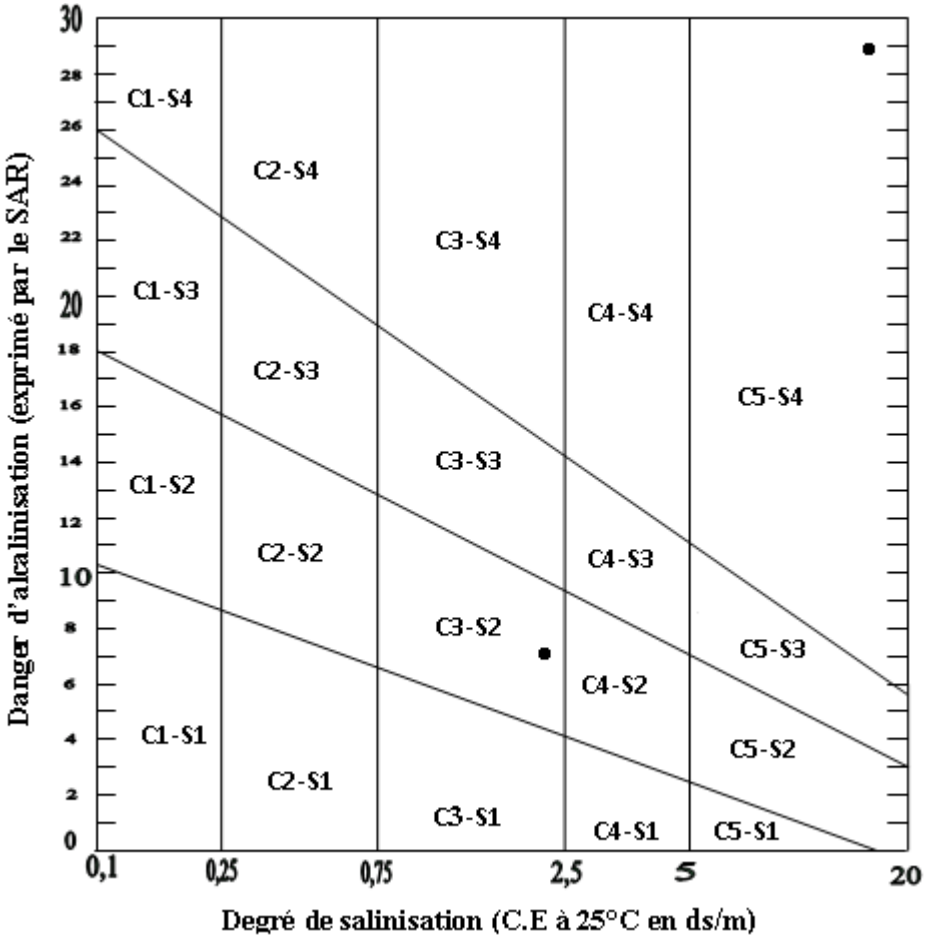
composant	situation
Ph<5	Acidité forte
5<ph<6	Acidité moyenne
6<ph<7	Acidité faible
7<ph<7,5	Neutralité approchée
7,5<ph<8	Faible alcalinité
8<ph<9	Alcalinité moyenne
Ph>9	Alcalinité forte

Annexe 3 : Directives pour l'interprétation de la qualité de l'eau pour l'irrigation (FAO., 1985)

Problèmes Potentiels		**Degré de restriction à l'usage**		
en Irrigation	**Unités**	**Aucun**	**Léger a modéré**	**Sévère**
Salinité				
EC_w[1]	dS/m	< 0,7	0,7 – 3,0	> 3,0
ou				
TDS	mg/l	< 450	450 – 2000	> 2000
Infiltration				
SAR_2=0 - 3 et EC_w=	dS/m	> 0,7	0,7 – 0,2	< 0,2
=3 – 6 =		> 1,2	1,2 – 0,3	< 0,3
=6 – 12 =		> 1,9	1,9 – 0,5	< 0,5
=12 – 20 =		> 2,9	2,9 – 1,3	< 1,3
=20 – 40 =		> 5,0	5,0 – 2,9	< 2,9
Toxicité Spécifique des ions				
Sodium (Na)				
Irrigation de surface	SAR	< 3	3 – 9	> 9
Irrigation par aspersion	méq/l	< 3	> 3	
Chlorure (Cl)				
Irrigation de surface	méq/l	< 4	4 – 10	> 10
Irrigation par aspersion	méq/l	< 3	> 3	
Bore (B)	mg/l	< 0,7	0,7 – 3,0	> 3,0
effets divers				
Azote (NO_3-N)[3]	mg/l	< 5	5 – 30	> 30
Bicarbonate (HCO_3)	méq/l	< 1,5	1,5 – 8,5	> 8,5
pH	Gamme normale 6,5 – 8,4			

- ECw signifie la conductivité électrique en deci Siemens par mètre à 25°C.
- SAR signifie le taux d'adsorption de sodium (sodium adsorption ratio).
- NO_3 -N signifie l'azote sous forme de nitrate rapporté en terme d'azote élémentaire.

Annexe N°4 : Classification des eaux d'irrigation dans le site d'étude selon Diagramme de RIVERSIDE modifié par DURAND



Annexe N°5 : l'excavation et l'installation des plantes

Star

Conséquences de l'utilisation de deux types d'eau d'irrigation sur les paramètres physico-chimiques d'un sol de la S.T.E.P de Ouargla

Résumé :
Ouargla est l'une des principales oasis du Sahara Algérienne, comme de nombreuses régions sahariennes, Ouargla est affectée par une forte salinisation du sol. Notre travail a pour objectif principal l'étude de l'effet d'irrigation par les eaux usées traitées et les eaux de forage sur les caractéristiques physico-chimiques de sol de la station d'épuration de Said Otba Ouargla, après avoir prélever des échantillons des eaux d'irrigation pour l'analyser.
La zone d'étude est caractérisé par un sol a structure sableuse, qui est très salé dans les horizons de surface, dépourvu de la matière organique et il est présente des faibles teneurs en argile. A la lumière des résultats obtenus pour les deux types d'eau d'irrigation, nous avons remarqué que celles-ci présentent des concentrations élevées en ions (Na^+, $SO4^{2-}$, Cl^-), le faciès chimique dominat chlorure-sodique, l'eau usée traitée est très salée, elle appartient à la classe C4S5. L'eau de forage est salée et présente une CE de 2,49 et elle appartient à la classe C3S2. D'après la comparaison des concentrations des éléments chimiques qui se trouvent dans le sol avant et après l'irrigation, nous avons constaté que l'élément dominant pour les cations est le Na^+, le Cl^- et SO^{2-} pour les anions, les résultats sont presque les mêmes pour les deux sols irrigués par les deux types d'eaux. Nous avons constaté qu'il y a une évolution significative de la salinité dans les deux parcelles irriguées. Nos résultats montrent un effet très important de l'irrigation par l'eau usées traitée et par l'eau de forage sur les caractéristiques physico-chimiques de sol de la STEP de Ouargla.

Mots clés : Eau usée traitée, eau de forage, irrigation, sol, salinité, STEP, Ouargla.

تأثيرات استعمال نوعين من مياه السقي على الخصائص الفيزيوكيميائية للتربة في أرض محطة تصفية المياه المستعملة بورقلة

ملخص :

ورقلة من اهم واحات الصحراء الجزائرية. مثل العديد من المناطق الصحراوية. ورقلة تتميز بتربة مالحة. دراستنا تهدف الى معرفة مفعول السقي بالمياه المستعملة المعالجة و مياه الحنفية على الخصائص الفيزيوكيميائية لتربة محطة تصفية المياه بسعيد عتبة بورقلة. من بعد يتم اجراء التحاليل لعينات من مياه السقي و كذالك التربة قبل و بعد السقى.

موقع الدراسة يتميز بتربة ذات بنية رملية، مالحة جدا في السطح، خالية من المواد العضوية و تحتوي على كميات قليلة من الطين

على ضوء نتائج مياه السقي ألمستخلصة, لاحظنا أنها تحتوي على تراكيز عالية من أيونات Na^+ و SO_4^- و Cl^- . الفصيلة الجيوكيميائية الغالبة هي الصوديوم و الكلور. المياه المستعملة المعالجة مالحة جدا من صنف C4S5 , أما مياه الحنفية فهي مالحة من صنف C3S.

بعد مقارنة تراكيز العناصر الكيميائية التي تتواجد في التربة قبل و بعد السقي, استنتجنا أن العنصر الكيميائي الغالب في الشوارد الموجبة هو Na^+ . أما الشوارد السالبة فهم الكلور و الكبريت. النتائج تقريبا متشابهة في التربتين المسقيتين.

لاجظنا أن هناك ارتفاع ذات دلالة عالية في الملوحة في التربتين. نتائجنا توضح المفعول المهم للسقي بواسطة المياه المستعملة المعالجة و مياه الحنفية على تربة محطة تصفية المياه بورقلة.

الكلمات المفتاحية : المياه المستعملة المعالجة, مياه الحنفية, السقي, التربة, الملوحة, محطة تصفية المياه, ورقلة.

Consequences of the use of two types of water of irrigation on the Parameters physicochemical of a ground of the station of purification of Ouargla.

Abstract:

Ouargla is one of the principal oases of the Sahara, like many area Saharan, Ouargla is affected by a strong Stalinization of the ground.
Our work has as a principal objective the study of the effect of irrigation by the worn water treated and water of drilling on the physicochemical characteristics of ground of the station of purification of Said Otba Ouargla, after having to take samples of water of irrigation to analyze it. The zone of study is characterized by a ground has sandy structure, which is very salted in the horizons of surface, deprived of the organic matter and it is present low contents of claying. The light of the results obtained for the two types of water of irrigation, we noticed that those present concentrations raised in ions (Na^+, SO_4^{--}, Cl^-), the chemical fancies dominate chloride-sodic, treated worn water is very salted, it belongs to class C4S5. The water of drilling is salted and presents the C.E of 2,49 and it belongs to class C3S2. According to the comparison of the concentrations of the chemical elements which are in the ground before and after the irrigation, we noted that the element dominating for the cations is Na^+, Cl^- and SO_4^{--} for the anions, the results are almost the same ones for the two grounds irrigated by the two types of water we noted as there is a singificative evolution of salinity in the two irrigated pieces. Our results show a very significant effect of the irrigation by treated water worn and the water of drilling on the physicochemical characteristics of ground of the STEP of ouargla

Keywords: Waste water treated, well water, irrigation, soil, salinity, STEP, Ouargla.