

UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département des Sciences Agronomiques



Mémoire

Domaine: Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences agronomiques

Spécialité : Protection. De la ressource Sol Eaux Environnement

Présenté Par : Mr. OUALID SAIM

Melle HACHANI SALIMA FADOUA

Thème

Suivi de l'évolution des propriétés physico-chimiques d'un sol de la région de Hassi ben Abd Allah «Ouargla » irrigué avec une eau usée épurée.

Soutenu

Le : 22/06/2022

Devant le jury :

Mr.SAGGAI Med Mounir	président	M.C.B	UKM OUARGLA
M.LADJICIA	Examineur	MAA	UKM OUARGLA
M ^{me} LAMRANI C.	Encadreur	MAA	UKM OUARGLA

Année universitaire

2021/2022

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciement

Avant tout, nous remercions Dieu tout puissant de m'avoir accordé la patience, le courage et Les conseils et son aide durant toute la période du travail.

*Je tiens à exprimer en premier, ma profonde gratitude et mes vifs remerciements à **MM.LAMRANI CHRIFA** notre encadrente pour avoir encadré durant cette année et pour son aide précieuse et ces conseils judicieux.*

*Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury **Mr.SEGGAI MED Mounir**, et **Mr.LADJICIA** pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail Et de l'enrichir par leurs propositions.,*

Enfin, un merci particulier à ma famille, mes parents, tous mes professeurs, mes collègues et amis et toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont apporté leur contribution à ce travail Je leur exprime Ici toute ma reconnaissance et ma gratitude.



Dédicace

Je dédie ce mémoire à mes chers parents qui ont été toujours à mes côtés et m'ont toujours soutenu tout au long de ces longues années d'études. En signe de reconnaissance, qu'ils trouvent ici, l'expression de ma profonde gratitude pour tout ce qu'ils ont consenti d'efforts et de moyens pour me voir réussir dans mes études.

- ❖ *La mémoire de mes grands-parents*
- ❖ *Mon père.*
- ❖ *Ma mère.*
- ❖ *Mes frères et sœurs.*
- ❖ *Mes oncles et tantes.*
- ❖ *Mes cousins et cousines.*
- ❖ *Mes ami(e)s.*
- ❖ *Mes enseignant(e)s.*
- ❖ *A tous ceux qui me sont chers.*

Et à tous ceux qui aiment le bon travail et ne reculent pas devant les obstacles de la vie

Saim Oualid

Dédicace

J'exprime ma gratitude et mes remerciements les plus sincères et les plus Profonds à Dieu tout puissant qui m'a donné la force et la patience pour pouvoir Accomplir ce travail à terme. Je dédie ce travail à :

❖ *Mon père.*

❖ *Ma mère.*

❖ *Mon frère AHMED*

❖ *Mon fiancé AZZEDIN*

❖ *Mes chères sœurs IMANE...IKRAM...NIHAD*

❖ *Ma cousine SAFA*

❖ *Mes ami(e)s. ZAHIRA...RANIA...YOUSRA...MELISSA...AMANI*

❖ *Mes enseignant(e)s.*

❖ *A tous ceux qui me sont chers.*



Hachani Salima Fadoua

Résumé :

Cette étude a été réalisée pour l'effet des eaux usées sur les propriétés physiques et chimiques du sol de la commune de Hassi Ben Abdallah. sont du magnésium, et lorsqu'il s'agit de chlorures les anions, l'eau étudiée ne présente pas de risque alcalin vis-à-vis du SAR 10). En revanche, la projection sur le diagramme de Riverside révèle que l'eau appartient à la catégorie C5S2 et celle-ci de mauvaise qualité et très médiocre et donc déconseillée à l'irrigation sauf circonstances exceptionnelles,

Mots clés : commune de Sidi Khouild, mauvaise eau

Abstract:

Cette étude a été réalisée pour l'effet des eaux usées sur les propriétés physiques et chimiques du sol de la commune de Hassi Ben Abdallah. sont du magnésium, et lorsqu'il s'agit de chlorures les anions, l'eau étudiée ne présente pas de risque alcalin vis-à-vis du SAR 10). En revanche, la projection sur le diagramme de Riverside révèle que l'eau appartient à la catégorie C5S2 et celle-ci de mauvaise qualité et très médiocre et donc déconseillée à l'irrigation sauf circonstances exceptionnelles,

Mots clés : commune de Sidi Khouild, mauvaise eau

المخلص:

أجريت هذه الدراسة من أجل تأثير المياه المعدومة على الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة بلدية حاسي بن عبد الله، تأتي المياه المستخدمة من جميع أنواع المصادر المنزلية والمصانع.....الخ)، يوضح تحليل الخصائص الفيزيائية والكيميائية أن المياه المدروسة لها درجة حموضة محايدة الى قلوية (7.2 <math>ph>) تحتوي معظم المياه على العناصر الكلور والفوسفات والمغنيسيوم والأنيونات السائدة في ليكتيونات هي المغنيسيوم وعند ليزنيوات الكلوريدات لاتشكل المياه المدروسة إي خطر قلوي فيما يتعلق ب(SAR<10) من ناحية أخرى يكشف إسقاطها على مخطط ريفرسايد أن المياه تنتمي الى فئة C5S2 وهذه ذات نوعية رديئة وسيئة جداً وبالتالي لا يوصي بها للري إلا في ظروف استثنائية ،

الكلمات المفتاحية: بلدية سيدي خويلد , المياه المعدومة

Liste des abréviations

CE : Conductivité Electrique.

CL : Continental intercalaire.

CT : Complexe terminal.

M : Mi pliocène

A : Albien

S : Sénonien

mé /l: Milliéquivalent/litre

SAR : Taux d'Adsorption du Sodium.

O.N.M : Office National de Métrologie

Da : Densité apparent

STEP : Station d'Epuration

U.S.D.A : United States Département of Agriculture

FAO : organisation pour l'alimentation et l'agriculture

EUE : eau usée épuré

Mg/l : milligramme/liter

ONA : Office nationale d'assainissement

Table des matières

<i>Remerciement</i>	3
<i>Dédicace</i>	4
<i>Dédicace</i>	5
<i>Chapitre I :</i>	3
I.1 Présentation de la région d'étude	4
I.1.1 Localisation géographique :	4
I.1.2 Le contexte climatique :	5
I.1.2.1 Températures :	5
I.1.2.2 Précipitation :	5
I.1.2.3 Humidité :	5
I.1.2.4 Vent :	6
I.1.2.5 L'évapotranspiration :	6
I.1.3 Contexte hydrologique :	7
I.1.4 Contexte géologique :	7
I.1.5 Contexte hydrogéologique :	7
I.1.5.1 Les systèmes aquifères dans la région de Ouargla	8
La nappe Phréatique	8
La nappe du Mi pliocène (nappe des sables)	8
La nappe Eocène-Sénonien (nappe des calcaires)	8
La nappe du continentale intercalaire :	9
I.1.5.2 Caractéristiques Lithologiques	9
<i>Chapitre II :</i>	11
II.1 Généralité sur les eaux d'irrigation	12
II.1.1 Origines de l'eau d'irrigation :	12
II.1.1.1 Les eaux de surface :	12

II.1.1.2 Les eaux souterraines :.....	12
II.1.1.3 Les eaux usées épurées :	12
II.1.2 Evaluation de la qualité des eaux d'irrigation :	13
II.1.2.1 Les principaux critères d'évaluation d'une qualité d'eau d'irrigation.....	13
II.1.2.2 Méthodes d'évaluation de la qualité des eaux irrigation	15
II.2 Evaluation de la qualité des eaux d'irrigation dans la région Ouargla	19
Introduction :	19
II.2.1 Historique de l'irrigation dans Ouargla :	20
II.2.2 Le réseau de l'irrigation :	20
II.2.3 situations actuelle de l'irrigation dans la région de Ouargla :	20
II.2.4 Ressources en eau mobilisable :	21
II.2.5 Conséquence de l'irrigation dans la région d'Ouargla :	21
II.3 la réutilisation des eaux usées épurées dans l'irrigation :	21
II.3.1. Généralités sur les eaux usées épurées :	21
II.3.1.1. Etapes de traitement des eaux usées :	22
II.3.2 Critères de qualité des eaux usées pour l'irrigation :	24
II.3.3 Situation de la réutilisation des eaux usées dans l'agriculture en Algérie :	24
II.3.4 Présentation de la Station d'épuration de Sidi Khouiled :	25
III.1 Généralités sur la salinisation des sols irriguées	28
III.1.1 Salinité et salinisation :	28
III.1.1.1. Définition de la salinisation :	28
III.1.1.2 Définition de la salinité :	28
III.1.1.3 Définition des sols salés (sols halomorphes) :	29
III.1.1.4 Genèse de conditions salines et /ou sodique :	29
III.1.1.5 Facteurs intervenant dans le processus de la salinisation :	30
III.1.1.6 Types de la salinisation :	30
III.1.1.7 Conditions climatiques de la salure :	31

III.1.1.8 Classification des sols salés :.....	31
III.1.1.9 Caractères des sels	32
III.1.1.10 Mesures de la salinité	32
III.1.1.11 Répartition et importance des sols salés :.....	33
III.1.1.12 Mise en valeur des sols salés :.....	34
III.2 Caractérisation des sols dans la région d’Ouargla.....	34
III.2.1 Classifications pédologiques :	34
III.2.2 Cause de la dégradation des sols :	35
III.2.2.1 Remontée de la nappe phréatique :.....	35
III.2.2.2 Salinisation des sols :.....	35
III.2.3 Conséquence de la dégradation de sol :.....	36
III.2.3.1 Effets de la nappe phréatique :	36
III.2.3.2 Effets de la salinisation :.....	37
<i>Matériel et Méthode</i>	38
IV.1.2 Choix de la station d’installation des colonnes du sol :	39
IV.1.2.1 L’exploitation agricole de l’université d’Ouargla (I.T.A.S) :	40
IV.1.2.2 Localisation de l’exploitation :.....	40
IV.2 Méthodes d’étude :	41
IV.2.1 Approche méthodologique :.....	41
Figure : Résumé de la méthodologie du travail.....	42
IV.2.2 Protocole expérimentale et irrigation des colonnes du sol :.....	42
Comme il a été signalé précédemment, l’ensemble des étapes de prélèvement et d’installation des colonnes du sol non remanié a été réalisé dans le cadre d’un travail de doctorat.....	42
Dans le cadre de ce mémoire du Master notre travail consiste en un suivi des caractéristiques du sol au cours du trois mois d’irrigation.	42
IV.2.2.3Irrigation monolithe :	44
IV.2.3 échantillonnage de sols et de l’eau :.....	46

IV.2.4 Méthodes d'analyses eaux et des sols	47
IV2.5Méthodes d'analyses des sols :.....	48
V.2 Caractérisation de l'eau d'irrigation dans le site d'étude.....	50
L'Analyse granulométrique des sols témoin :.....	53
Conclusion générale	62
Reference bibliographique.....	65
Annexes.....	75

Les de Figures

Figure 1 : Situation de la cuvette de Ouargla (BONNARD et GARDEL ,2003)	4
Figure 2 : Diagramme Ombrothermique de Gaussen de la région d’Ouargla période..	6
Figure 3 : Coupe hydrogéologique du système aquifère du Sahara septentrional (UNSECO 1972).....	9
Figure 4 : Spécificités géologique et topographique de la cuvette d’Ouargla.....	10
Figure 5 : Diagramme de RIVERSIDE (Richards, 1954).....	17
Figure 6 : Le diagramme de Wilcox	19
Figure 7 : Localisation de la Station d’épuration de Sidi Khouiled (google Erthe2022)	25
Figure 8 : les étapes de traitement à la STEP DE Sidi khouiled (Originale, 2022) ...	26
Figure 9 : l’exploitation agricole de l’université d’OUARGLA (I.T.A.S).....	40
Figure 10 : installation des monolithes dans l’exploitation universitaire d’Ouargla (ITAS)	43
Figure 11 : La projection des résultats des analyses de l’eau d’irrigation sur le diagramme piper.....	51
Figure 12 : diagramme de Riverside de l’eau d’irrigation.	52
Figure 13 : La projection sur le triangle textural.....	Erreur ! Signet non défini.
Figure 14 : Diagramme de Piper pour les résultats physico-chimiques du sol témoin.	54
Figure 15 : Représentation sur le diagramme de Riverside de la solution d’extraits 1/5 du sol témoin	54
Figure 16 : Diagramme de Piper pour les résultats physico-chimiques du sol Étudié.	56
Figure 17 : Variations du PH des solutions d’extraits 1/5 du sol.	57
Figure 18 : Variations de la CE moyenne de la solution de sol à la cour du temps	58

Figure 19 : Evaluation de SAR de la solution du sol au cours de temps.....	58
Figure 20 : Représentation sur le diagramme sur le Riverside de la solution d'extraits du sol.	59
Figure 21 : évolution de l'élément chimique de la solution du sol au cours du temps.	59
Figure 22 : La norme d'interprétation du gypse	68

Les de Tableaux

Tableau 1 : Données climatiques de la région d’Ouargla (1996 – 2021).....	5
Tableau 2 : Classification des eaux d'irrigation selon la Conductivité électrique (CE) Indice de salinité.....	14
Tableau 3 : Classification des eaux d'irrigation vis-à-vis du SAR (U.S.S.L., 1954)..	15
Tableau 4 : Les directives pour l’interprétation d’une eau d’irrigation selon la.....	16

INTRODUCTION GENERALE

L'eau n'est pas uniquement un espace vital vecteur énergétique ou moyen de transport, Mais également un élément essentiel pour tout genre de production (**FARDJANI, 2013**). Afin de préserver la qualité des masses d'eau et pour diminuer les prélèvements dans le milieu naturel, il convient de chercher des approvisionnements alternatifs. La réutilisation des eaux usées épurées semble être une bonne alternative, notamment en irrigation (**HIND MOUHHANI et al, 2012**) ...

La salinité est parmi les problèmes majeurs qui affectent les sols et les eaux dans beaucoup de pays du monde. Elle constitue une grande menace pour certains sols cultivés dans le monde. Elle est l'un des principaux facteurs abiotiques qui limitent la productivité végétale et le rendement agricole.

Parmi les domaines de réutilisation possible des eaux usées, l'irrigation constitue le secteur le Plus intéressant. En fait, l'agriculture consomme plus 70 % des ressources en eaux notamment dans les pays en développement tels que les pays arabes (**H, 2004**). Actuellement, les eaux usées non traitées sont utilisées dans l'irrigation de 10 % des récoltes dans le monde

Selon une première étude mondiale sur l'irrigation par les eaux usées (**Scott et al. 2004**). Ces eaux procurent à l'agriculture une ressource précieuse et renouvelable et libèrent un volume supplémentaire d'eau de bonne qualité pour des utilisations prioritaires. Elles constituent en outre, une alternative aux rejets dans les milieux récepteurs qui peuvent présenter des capacités d'absorption limitées (**PAPIACOVU 2001**). Par ailleurs, le contenu de ces eaux en éléments nutritifs, notamment en azote, potassium et phosphore, permet de diminuer les frais de fertilisation des sols. L'utilisation des eaux usées peut également prévenir l'eutrophisation et éviter la croissance des algues dans les zones de rejets, telles les lacs et étangs. Si cette ressource constitue une valeur hydrique et un potentiel d'apport de matières fertilisantes, elle peut être également une source de pollution. Son contenu en éléments traces organiques et métalliques et en pathogènes ainsi que sa teneur élevée en azote peuvent présenter un risque pour l'environnement et la santé humaine. Pour une meilleure utilisation des eaux usées traitées, une des mesures prises consiste à assurer un suivi périodique et régulier de l'utilisation de ces eaux. Un tel suivi est sanctionné par une évaluation de leur impact sur le sol et une recherche des solutions idoines pour résoudre les éventuels problèmes qui peuvent se poser.

Dans cette optique on va tenter de mettre en évidence l'impact de l'irrigation par une eau minéralisée sur l'évolution des propriétés physico-chimiques du sol dans la région

d'Ouargla. Pour atteindre l'objectif tracé on va effectuer dans un premier temps une recherche bibliographique scindée en trois chapitres, le premier donne une présentation générale de la région d'étude ; le second résume les généralités qu'il faut maîtriser pour une meilleure connaissance des eaux d'irrigation. Et le troisième chapitre rassemble les généralités sur la salinisation des sols irrigués.

En deuxième temps on va aborder le travail expérimental ; dans le chapitre IV on a abordé la méthodologie suivie et le matériel utilisé. Et dans le dernier chapitre on a représenté l'essentiel des résultats obtenus, les différentes interprétations données et les conclusions qu'on puisse tirer de ces résultats. A la fin, on va terminer par une conclusion générale sur la base de laquelle on va formuler des recommandations et des perspectives.



Chapitre I :
Cadre général de l'étude



I.1 Présentation de la région d'étude

I.1.1 Localisation géographique :

Ouargla est l'une des principales oasis du Sahara algérien. Elle se situe approximativement à 750km d'Alger La vallée de Ouargla s'étend sur une superficie d'environ 100 000 ha.

Elle est limitée :

Au Nord par la wilaya de Djelfa et la wilaya d'El Oued ;

A l'Est par la Tunisie ;

Au Sud par la wilaya de Tamanrasset et la wilaya d'Ilizi ;

A l'Ouest par la wilaya de Ghardaïa (figure.1) (**A.N.R.H, 2010**).

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

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

Les longitudes 5°15' et 5°25' Est.

La latitude 31°55' et 32°00' Nord (**A.N.R.H, 2010**).

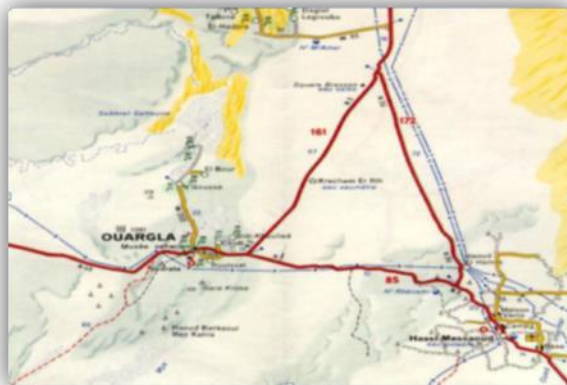


Figure 1 : Situation de la cuvette de Ouargla (**BONNARD et GARDEL ,2003**)

Tableau 1 : Données climatiques de la région d'Ouargla (1996 – 2021)

Paramètres Mois	humidité (%)	Vent (m/s)	Précipitationon (mm)	Evaporation (mm)	T min (°C)	T moy (°C)	T max (°C)
janvier	47,025	25,525	1,75	114,475	4,375	11,6	19,525
Février	40,65	25,425	0,6	144,25	6,925	14,3	21,925
mars	37,55	29,025	5,975	207,95	10,35	17,575	25,175
avril	30,475	30	1,5	278,025	15,875	23,5	31,125
mai	26,425	30,35	2,975	313,1	20,7	28,5	35,75
juin	17,625	28,525	0,1	432,075	26,35	34,5825	41,9
juillet	16,3	26,875	0,05	470,625	28,45	36,675	44,15
aout	17,75	25,325	0,25	439,475	28,35	36,35	43,85
septembre	29,675	28,1	2,5	317,3	18,9825	31,625	39,25
octobre	39	27,675	2	218,525	16,9	23,8	31
novembre	45,4	22,95	8,55	126,3	10,325	16,95	23,975
décembre	53,275	21,4	0,65	106,725	6,55	12,925	19,8
La somme	33,43	26,76	26,9	3168,825	16,17	24,03	31,45

I.1.2 Le contexte climatique :

I.1.2.1 Températures :

L'analyse du tableau précédent montre que le mois le plus chaud est le mois de juillet avec une température maximale de **44,15 °C** et le mois le plus froid et le mois de janvier avec une température de 4,357 °C.

I.1.2.2 Précipitation :

Dans la région de Ouargla les précipitations sont rares et irrégulières leur répartition sont marquées par une période de sécheresse étalée sur toute l'année les précipitations maximale le mois novembre 8.55 mm et le mois minimale juin 0.1mm.

I.1.2.3 Humidité :

L'analyse des données relatives à l'humidité montre que l'air dans la région d'Ouargla est pratiquement sec le mois maximal janvier 47,025 et le mois minimal juillet 16,3

I.1.2.4 Vent :

Ouargla est en général caractérisée par des vents fréquents et soufflent durant toute l'année avec des vitesses qui varient d'un mois à un d'autres. Le mois maximale 28,525m/s et le minimale 21,4 direction m/s des vents dominants est de nord. Nord-est et sud-est.

I.1.2.5L'évapotranspiration :

Est très importante surtout pendant les mois chauds où on note un maximum de 44.15mm au mois de juillet et un minimum de 19.08mm au mois de décembre.

Le diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausson

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

Le diagramme Ombrothermique de la région d'Ouargla pour la période (1996 – 2021), indique que la période sèche s'étale sur toute l'année.

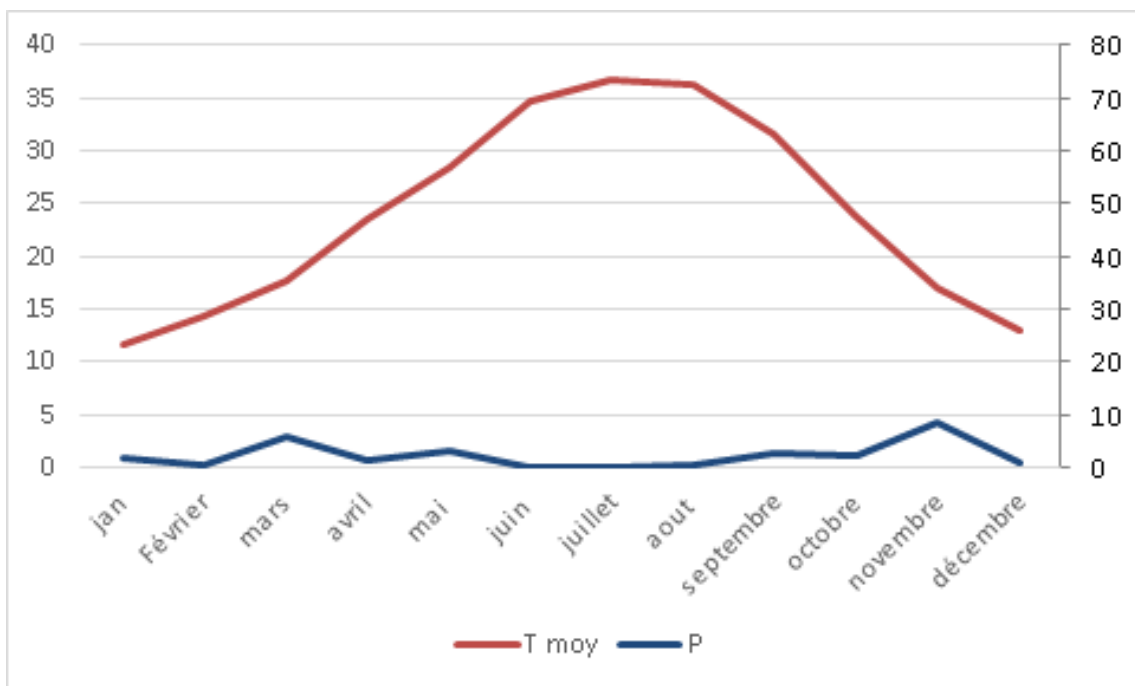


Figure 2 : Diagramme Ombrothermique de Gausson de la région d'Ouargla période (1996 – 2021).

I.1.3 Contexte hydrologique :

Au Sahara, il existe deux ensembles aquifères séparés par d'épaisses séries évaporitiques ou argileuses de la base du crétacé supérieur : l'ensemble inférieur appelé le Complexe Intercalaire (CI) ou "Albien" et l'ensemble Terminal (CT) (**Hamdi-Aïssa, 2001**).

La cuvette d'Ouargla appartient au Bas-Sahara algérien. Il s'agit d'un immense bassin sédimentaire, en forme de synclinal dissymétrique, particulièrement bien doté en couches perméables favorables à la circulation souterraine des eaux. Certaines, recouvertes de terrains imperméables, assurent l'existence de nappes captives alors que d'autres, situées au sommet des dépôts et sans couverture étanche, permettent la formation de nappes phréatiques (**Bonnard et Gardel, 2002**).

I.1.4 Contexte géologique :

D'après **HAMDI AISSA (2001)**, la cuvette d'Ouargla est constituée de roches sédimentaires alluviales qui dérivent de mornes jaunâtres plus ou moins gréseuses, notamment calcaire locustes et sable récent de quaternaire.

Selon **DJEDDA et DJETTOU (1991)** cité par **BENZAHI (1997)**, la géomorphologie d'Ouargla est composée de trois zones principales à savoir les dunes de sable, les zones basses et assez basses. Les formations dunaires de 0 à 150 m d'altitude, occupent la plus grande partie de la superficie et sont constituées de sable fin. Les zones basses sont caractérisées par une topographie peu marquée, correspondant aux dépôts alluviaux destinés à la culture des palmeraies. Par contre les zones assez basses de la région jouent le rôle de décantation.

I.1.5 Contexte hydrogéologique :

Selon (**Dubief, 1953**) le réseau hydrographique de la cuvette de Ouargla se compose de l'Oued M'Ya, Oued M'Zab et Oued N'sa :

Oued M'ya :

Le bassin de l'Oued M'Ya couvre une forme de vaste gouttière relevée du Sud (800 m) avec une inclinaison très faible (0,1 à 0,2%) vers le Nord-Est. Il s'étend sur 19 800 km². Le cours fossile de l'Oued M'Ya inférieur est jalonné par de vastes sebkhas jusqu'à Ouargla, distant de 200 km environ du point extrême atteint par les dernières crues (**DUBIEF, 1953**).

Oued M'Zab :

Situé au Nord de la cuvette de Ouargla coule d'Ouest en Est sur environ 320 km de la région de BOTMA ROUILA à 750 m d'altitude jusqu'à la SEBKHAT SEFIOUNE (au Nord de Ouargla).

Oued N'sa :

Le bassin versant d'oued N'sa couvre une superficie de 7 800 km². Il coule selon une direction Ouest-Est dans son cours supérieur, en direction Nord-Ouest – Sud Est dans son cours moyen sur une longueur d'environ 100 km et de nouveau vers l'Est où son cours est inférieur pour se déverser dans la SEBKHAT SEFIOUNE

I.1.5.1 Les systèmes aquifères dans la région de Ouargla

La région d'étude est connue par l'exploitation de trois nappes dont les principales caractéristiques hydrogéologiques.

La nappe Phréatique :

S'écoule du Sud vers le Nord suivant la pente de la vallée. Elle est alimentée par les eaux souterraines, les eaux de drainage, les eaux usées urbaines, les précipitations et les rares apports des Oueds. Cette nappe n'est pas exploitée pour la consommation humaine en raison de sa salinité élevée variant entre 7 et 25 g/l.

La nappe du complexe terminal :

Cet aquifère couvre une superficie de 350.000 Km². Il est subdivisé en deux nappes

La nappe du Mi pliocène (nappe des sables)

Cette nappe s'écoule du Sud-Ouest vers le Nord Est. Son épaisseur moyenne utile varie de quelques dizaines de mètres à 300 m, soit une moyenne de 100 m à travers la région. La profondeur moyenne d'un forage non jaillissant utilisé pour capter cette nappe est de 100 à 250 m. Les débits exploités sont de l'ordre de 30 l/s. Les eaux de cette nappe sont de faciès chloruré sodique ou sulfaté sodique. Elles sont caractérisées par une température variant de 23 °C à 25 °C et une salinité allant de 1,8 à 4,6 g/l.

La nappe Eocène-Sénonien (nappe des calcaires)

Possède une épaisseur moyenne utile variant de 150 à 250 m. La profondeur moyenne d'un forage non jaillissant utilisé pour capter cette nappe varie de 180 à 350 m. Les débits

exploités sont de l'ordre de 54 l/s. Ces eaux sont caractérisées par une température de l'ordre de 30 °C et une salinité variant de 1,8 à 4,4 g/l.

La nappe du continentale intercalaire :

Cette nappe dite Albienne s'écoule suivant deux axes principaux Nord-Ouest/Sud-Est et Nord-Ouest/Sud sur une superficie de 800.000 Km². Les débits exploités sont de l'ordre de 200 l/s. Les eaux de cet aquifère qui sont du faciès sulfaté sodique présentent une salinité variant de 1.5 à 2 g/l et une température variant de 51°C à 66°C.

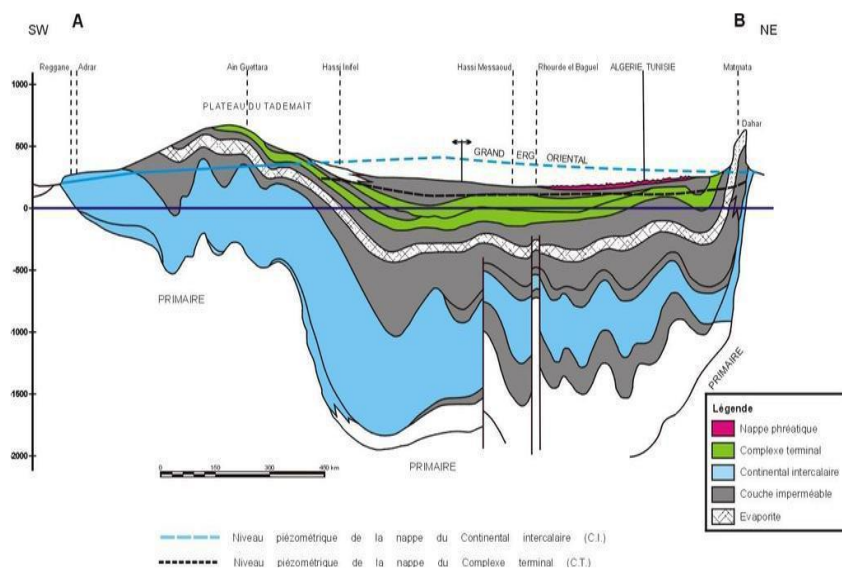


Figure 3 : Coupe hydrogéologique du système aquifère du Sahara septentrional (UNSECO 1972).

I.1.5.2 Caractéristiques Lithologiques

La région d'étude est une dépression encadrée et dominée par les plateaux du mi pliocène de HASSI MESSAOUD au Sud-Est et ceux de la dorsale mozabite à l'Ouest. Ces plateaux ont été érodés lors des cycles pluvieux à travers le temps. Elle se caractérise par la prédominance de dépôts paléo quaternaire et des affleurements éocènes et crétacés. De point de vue lithologique et pétrographique, on rencontre des alluvions actuelles, des sebkhas et croûtes gypso-salines de sables éoliens mobiles, des regs et terrasses, des poudingues, des calcaires lacustres, des conglomérats, des calcaires marneux à rognons siliceux, des marnes et enfin des calcaires dolomitiques.

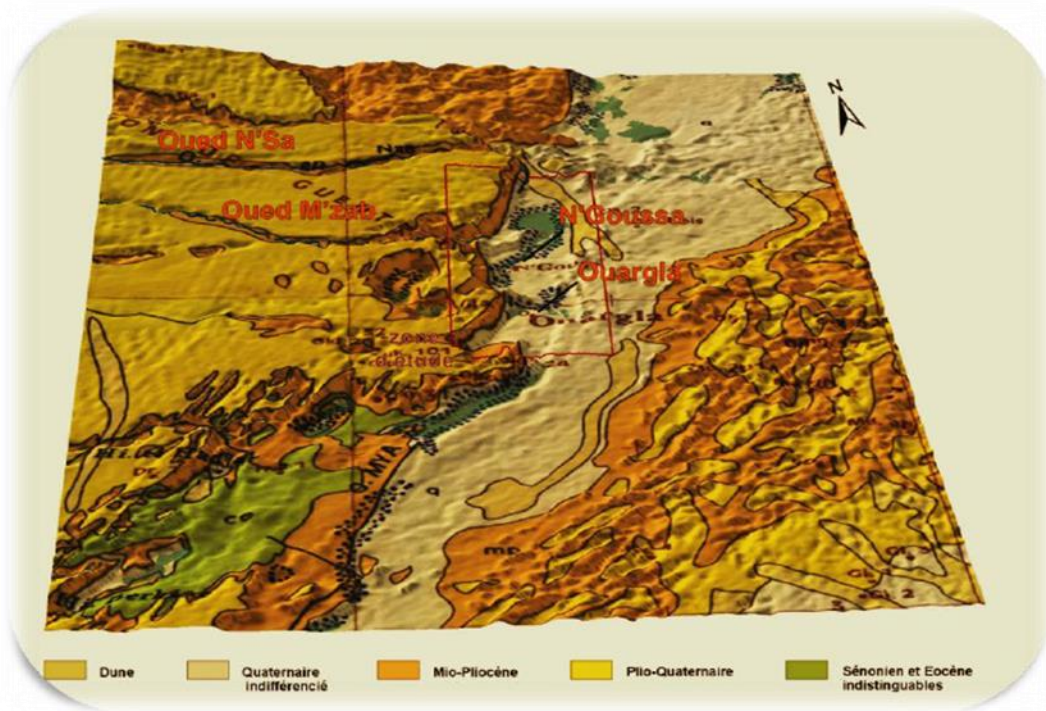

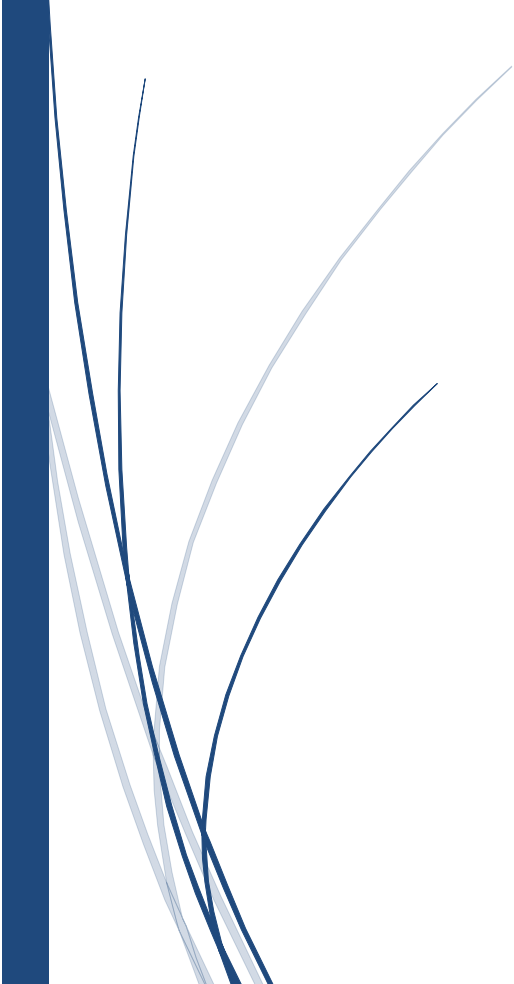


Figure 4 : Spécificités géologique et topographique de la cuvette d'Ouargla.



Chapitre II :
Généralité sur la qualité Des eaux
D'irrigation de la zone d'étude



II.1 Généralité sur les eaux d'irrigation

II.1.1 Origines de l'eau d'irrigation :

L'irrigation en cas de déficit d'eau induit par un déficit pluviométrique, un drainage excessif ou une baisse de nappe, en particulier dans les zones arides est inévitable pour en augmenter la production et permettre le développement normal des végétaux, et se fait généralement par des eaux souterraines ou bien les eaux usées épurées en raison de manque des eaux de surface.

II.1.1.1 Les eaux de surface :

Les eaux de surface proviennent surtout des pluies, et sont constitué d'un mélange d'eau de ruissellement et d'eau souterraines, l'eau de pluie qui ne pénètre pas dans le sol reste à sa surface, elle peut donc s'écouler et former les cours d'eau ou rester stockée lorsqu'un obstacle s'oppose à l'écoulement ce qui forme les lacs, les mares, et les étangs naturels ou bien les barrages artificiels dans le cas de l'intervention de l'homme.

II.1.1.2 Les eaux souterraines :

L'eau souterraine est une eau qui s'accumule sous terre. Elle provient principalement de l'infiltration des eaux superficielles ; accessoirement de la condensation de la vapeur d'eau atmosphérique dans les cavités karstiques ou dans les pores du sol. Des hypothèses font intervenir aussi la condensation des gaz émis par le magma, l'infiltration des eaux marines, la dispense ou transformation des roches meubles en roches compactes par expulsion de l'eau.

II.1.1.3 Les eaux usées épurées :

Les eaux usées ont différentes origines : Domestique, industrielle et agricole. Dans le passé, les volumes rejetés étaient pris en charge par les cours d'eau, mais l'amélioration du niveau de vie et l'augmentation des volumes exploités, surtout en matière d'eau souterraine, à fait que l'autoépuration ne suffisait pas pour éliminer ces volumes importants de pollution. Et dans le but de protéger l'environnement de ces charges polluantes, on a créé des usines de traitement ou bien des stations d'épuration des eaux usées.

Les eaux usées épurées ont constitué , ces dernières décennies, une nouvelle ressource et une bonne alternative pour remédier au manque d'eau causé , d'une part par la croissance démographique importante, accompagnée d'un besoin grandissant en eau; une eau qui sera, après utilisation, rejetée avec une charge polluante de différentes natures et de ce fait,

impropre à une ultérieure l'utilisation, d'autre part, les aléas climatiques et les épisodes de sécheresse qui ont aggravé cette pénurie d'eau.

II.1.2 Evaluation de la qualité des eaux d'irrigation :

D'après (HISCOCK et al, 1991), la qualité chimique naturelle des eaux dépend essentiellement de leur origine, de la nature des alluvions et des roches qui emmagasinent l'eau, ainsi que des conditions physico-chimiques caractéristiques du milieu, et parfois d'activités humaines (agricole, industrielle). la qualité d'une eau est définie par des paramètres physiques, chimiques et biologiques, mais également par son usage ; ainsi, une eau impropre à la consommation peut être adaptée à l'irrigation ou à la pisciculture.

II.1.2.1 Les principaux critères d'évaluation d'une qualité d'eau d'irrigation

Souvent, on évalue la qualité d'une eau d'irrigation en se basant sur deux critères essentiels la conductivité électrique et le SAR.

II.1.2.1.1 La CE

La salinité exprimée par la conductivité électrique (CE_i) et le SAR.

Estimée par le sodium d'adsorption ratio (SAR), le SAR décrit la quantité de sodium en excès par rapport aux cations calcium et magnésium.

Voici la façon dont on calcule le SAR (le sodium, le calcium, et le magnésium sont exprimés en meq/l), cette équation a été réalisé par GAPON en 1933 (DURAND., 1958 in HATI et SALHI., 2012)

$$\text{SAR} = \frac{[\text{Na}^{+2}]}{\sqrt{\frac{[\text{Ca}^{+2}] + [\text{Mg}^{+2}]}{2}}}$$

Les études réalisées par (DURAND., 1958 in HATI et SALHI., 2012) sur la qualité des eaux en Algérie montrent que 5% des eaux en classe C1, 28% des eaux en classe C2, 28% des eaux en classe C3 et 21% au-delà de C4 (6 mhoms/cm)

Tableau 2 : Classification des eaux d'irrigation selon la Conductivité électrique (CE)
Indice de salinité

Classes	Teneur (DS/m)	Degré de salinité	Effets de la salinité
Classe 1 (C1)	CE<0,25	Eaux non salines	Utilisables pour l'irrigation de la plupart des cultures
Classes 2 (C2)	0,25<CE<0,75	Eaux à salinité Moyenne	Utilisables avec un léger lessivage
Classes 3 (C3)	0,75 <CE<2,25	Eau à forte salinité	Ne devrait pas être utilisée dans les Sols où le drainage est faible
Classes 4 (C4)	2.25< CE <5	Eau à forte salinité	Inutilisables, comprend les eaux qui ne sont pas propres à l'irrigation
Classe 5 (C5)	CE> 5	Eaux à salinité Excessive	Inutilisables, sauf sur sable drainé et pour des cultures très tolérantes comme le palmier dattier.

Source : Durand (1982)

II.1.2.1.2 Le SAR :

D'après (COUTURE., 2004 in HATI et SALHI., 2012) Le sodium est l'un des éléments les plus indésirables dans l'eau d'irrigation. Il contribue directement à la salinité totale de l'eau et peut être toxique. La concentration de sodium dans l'eau d'irrigation est

À l'aide du SAR, on divise les eaux d'irrigation en quatre classes (voir tableau)

La classification est basée principalement sur l'effet du sodium sur les conditions physiques du sol.

Tableau 3 : Classification des eaux d'irrigation vis-à-vis du SAR (U.S.S.L., 1954).

Classe	Teneur	Degré de SAR	Effet du Sodium
Classe 1 (S1)	$0 < SAR < 10$	Bas taux de sodium	Peu de danger d'alcalinisation. l'eau peut être utilisée sur pratiquement n'importe quel type de sol.
Classes 2 (S2)	$10 < SAR < 18$	Taux moyen de sodium	Eaux utilisables sur les sols à texture grossière ou les sols organiques ayant une bonne perméabilité.
Classe 3 (S3)	$18 < SAR < 26$	Haut taux de sodium	Eaux nécessitant un aménagement spécial (bon drainage, fort lessivage, addition de matières organiques).
Classes 4 (S4)	$SAR < 26$	Très haut taux de sodium	Danger d'alcalinisation fort. Cette eau est généralement inadéquate pour l'irrigation

Source: (U.S.S.L., 1954 in TERCHI., 2014)

II.1.2.2 Méthodes d'évaluation de la qualité des eaux irrigation

II.1.2.2.1 Le tableau des Directives de la FAO :

La FAO, et suite aux travaux de Ayers et Westcot, (1988), a mis des directives permettent d'évaluer la qualité de l'eau d'irrigation. Elles constituent une première étape pour détecté les restrictions dues à une eau d'irrigation. Elles mettent l'accent sur l'influence, à long terme, de la qualité de l'eau d'irrigation sur la dégradation des sols et la production des cultures. Le tableau I.4 est un instrument de gestion, comme beaucoup d'outils de ce type en agriculture. Il constitue, selon la FAO, une première étape dans la détermination des limites de qualité d'une ressource en eau en agriculture.

Tableau 4 : Les directives pour l'interprétation d'une eau d'irrigation selon la **FAO, (1988).**

		Restriction pour l'irrigation		
		Aucune	Légère à modérée	Forte
Salinité (influe sur l'eau disponible pour la plante)				
CEi	dS/m	<0.7	0.7-3.0	>3.0
TDS	mg/l	<450	450-2000	>2000
Infiltration (influe sur la vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol : utiliser à la fois CEi et SAR)				
SAR = 0-3 et CEi =		>0.7	0.7-0.2	<0.2
SAR = 3-6 et CEi =		>1.2	1.3-0.3	<0.3
SAR = 6-12 et CEi =		>1.9	1.9-0.5	<0.5
SAR = 12-20 et CEi =		>2.9	2.9-1.3	<1.3
SAR = 20-40 et CEi =		>5.0	5.0-2.9	<2.9
Toxicité de certains ions (affectent les cultures sensibles)				
Sodium :				
Irrigation de surface	SAR	<3	3-9	>9
Irrigation par aspersion	méq/l	<3	>3	□
Chlore :				
Irrigation de surface	méq/l	<4	4-10	>10
Irrigation par aspersion	méq/l	<3	>3	
Bore	mg/l	<0.7	0.7-3.0	>3.0
Effets divers (affecte les cultures sensibles)				
Azote (NO ₃ -N)	mg/l	<5	5-30	>30
Bicarbonate (HCO ₃) (pour aspersion sur frondaison)	méq/l	<1.5	1.5-8.5	>8.5
pH		Zone normale : 6.5-8.4		

(Source : Ayers et Westcot, (1988))

II.1.2.2.2 Le Diagramme de RIVERSIDE (1954) :

Les classes de potabilité des eaux d'irrigation (C1S1, C5S4) correspondent, dans le diagramme de Richards au SAR (en ordonnées pour la lettre S) et à la conductivité (en abscisses pour la lettre C). Ainsi la classe C1S1 (coin bas à gauche) est considérée comme excellente car elle correspond à des valeurs minimales du SAR et de la conductivité ; en revanche, la classe C5S4 (coin haut à droite) est la plus mauvaise, car les valeurs du SAR et de la conductivité sont à leur maximum. Les tableaux et donnent, respectivement, le diagramme de **RIVERSIDE**, les classes issues du diagramme de **RIVERSIDE** et l'interprétation de chaque classe.

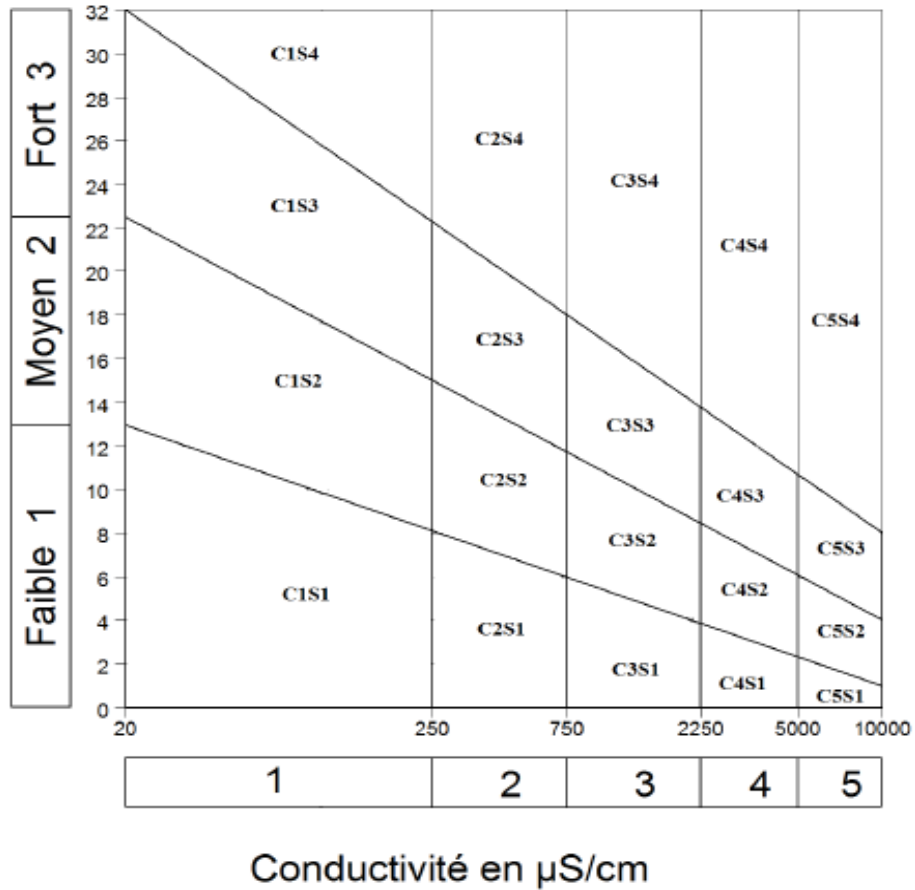


Figure 5 : Diagramme de RIVERSIDE (Richards, 1954).

Les classes issues du diagramme de **RIVERSIDE** (Clemant et Galand, 1979)

	Classes CE ($\mu\text{S/cm}$)				
	C1 0 – 250	C2 250 – 750	C3 750–2250	C4 2250 – 5000	C5 5000 – 10000
S1 0 – 10	C1S1	C2S1	C3S1	C4S1	C5S1
S2 10 – 18	C1S2	C2S2	C3S2	C4S2	C5S2
S3 18 – 26	C1S3	C2S3	C3S3	C4S3	C5S3
S4 > 26	C1S4	C2S4	C3S4	C4S4	C5S4

Chapitre II : Généralité sur la qualité des eaux d'irrigation de la zone d'étude

Interprétation des classes du diagramme de **RIVERSIDE** selon **Durand, (1982)**
(Clemant et Galand, 1979)

Interprétation des Classes	
	Eau présentant une bonne qualité pour l'irrigation, utilisable avec précautions pour les plantes sensibles.
	Eau de qualité bonne à moyenne a utilisé avec précaution pour les sols mal drainés et pour les plantes sensibles
	Qualité moyenne à médiocre a utilisé avec précaution ; nécessite un drainage avec des doses de lessivage et/ou apport de gypse.
	Eau de qualité médiocre à mauvaise, utilisée avec précaution pour les sols lourds et les plantes sensibles, l'emploi pour les sols légers et bien drainés nécessite une dose de lessivage et/ou apport de gypse.
	Eau de qualité très mauvaise utilisée que pour les sols légers et bien drainés et pour les plantes résistantes avec nécessité de doses de lessivages et/ou apport de gypse.
	Qualité très mauvaise a n'utilisé que pour les circonstances exceptionnelles.
	Eau déconseillée pour l'irrigation.

(Selon : Clemant et Galand, 1979 ; Durand, 1982)

II.1.2.2.3 Le diagramme de Wilcox :

Les concentrations élevées de sodium contenu dans une eau d'irrigation limitent souvent son utilisation en irrigation. Il est absorbé dans des sites d'échange de cations dans le sol et cause la dispersion des agrégats (Minhas et al. 2007). Ainsi, les pores se trouvent celles et, en conséquence, la perméabilité du sol est réduite, en particulier pour les sols argileux qui deviennent anaérobique, sodique ou compactés (Malet et Job, 2006).

La classification de **Wilcox, (1948)**, est fondée sur la conductivité électrique (CE en $\mu\text{S}/\text{cm}$) en abscisse et la teneur en sodium dans l'eau qui est exprimée en pourcentage en coordonnées.

$$Na = \frac{Na + K}{Ca + Mg + k + Na}$$

A l'issue de la classification de **Wilcox**, cinq classes pourront être attribuées à une eau

D'irrigation : Excellente, bonne, admissible, médiocre et mauvaise.

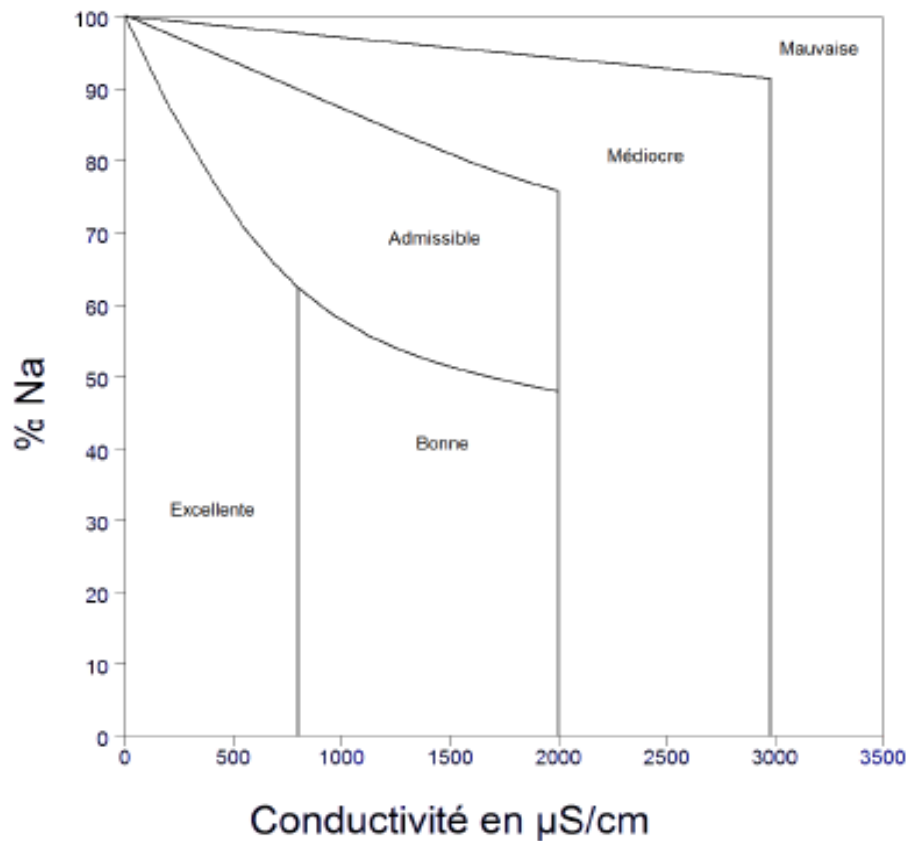


Figure 6 : Le diagramme de Wilcox

II.2 Evaluation de la qualité des eaux d'irrigation dans la région Ouargla

Introduction :

L'irrigation, une pratique qui consiste pour l'homme à apporter de l'eau aux cultures, ne cesse d'étonner et de lancer des défis. Elle ne concerne que 273 millions d'hectares dans le monde, éparpillés très irrégulièrement sur tous les continents. Pourtant elle a une importance très supérieure à la surface modeste, bien qu'en continuelle augmentation, qu'elle couvre. A l'origine de plus des deux tiers de la production agricole, elle a une productivité en moyenne supérieure au double de celle de l'agriculture pluviale. Elle permet de spéculations fructueuses, deux à trois récoltes par an, et des cultures sur des terres stériles, ou sous les climats les plus secs, Pourtant, au XXe siècle, ses échecs sont nombreux, surtout dans le tiers

mondé et tendent à éclipser ses réussites indéniables et ses rapides progrès techniques (HALILAT, 2004).

II.2.1 Historique de l'irrigation dans Ouargla :

Le Sahara algérien, l'agriculture irriguée, aurait dépassé en 1998 les 150.000 ha, répartis sur 60.000 ha de palmier, 30.000 de maraîchage et 60.000 ha de céréales. Pour la zone exploitant les eaux du continental intercalaire (C.I) et du complexe terminal (C.T). La superficie actuellement irriguée est de l'ordre de 100.000 ha. L'évolution de la consommation en eau pour l'irrigation des périmètres irrigués n'a pas été linéaire du fait des changements des stratégies intervenues au cours des trente dernières années (HALILAT, 2004).

II.2.2 Le réseau de l'irrigation :

L'irrigation superficielle avait été pendant des siècles la seule méthode d'application de l'eau dans les terres cultivées et quoique des techniques d'irrigation modernes et très perfectionnées telles que l'irrigation par aspersion et l'irrigation goutte à goutte aient été développées durant ce siècle, les fondements globaux des méthodes d'irrigation superficielle continuent à être utilisés dans les deux tiers des terres irriguées. Il est possible que ce pourcentage augmente dans le futur si l'augmentation du coût de l'énergie prouve qu'il est un facteur prohibitif pour l'utilisation alternative et la grande énergie des techniques d'application de la consommation d'eau.

II.2.3 situations actuelle de l'irrigation dans la région de Ouargla :

A Ouargla, comme sur un grand nombre d'oasis, le type d'irrigation est gravitaire ou appelé irrigation de surface. La méthode consiste à répartir l'eau directement sur la parcelle cultivée. Elle est dite aussi irrigation par planche ou irrigation contrôlée. C'est un mode d'irrigation assez rudimentaire et non coûteux en investissement. Traditionnellement, les séguias sont réalisés en terre. L'eau, à partir du forage, est conduite sur des seguias en terre jusqu'aux bassins répartiteurs. L'eau est amenée au niveau de la parcelle puis distribuée dans des canaux de terres qui alimente les raies. Les pertes par infiltration et la difficulté de contrôler les débits conduisent à un gaspillage d'eau et à un arrosage hétérogène.

Le système est à base de la céréaliculture sous centre pivot. Ouargla sont précurseurs à ce type d'agriculture capitaliste. Dès les années 1988, après l'installation des premières fermes céréalières à GASSI TOUIL, ce moyen d'irrigation a pris place dans les activités agricoles au Sahara (SALHI A, 2017).

II.2.4 Ressources en eau mobilisable :

La région d'Ouargla se distingue, comme toutes celles du Sahara septentrional, par l'immensité des réserves hydriques qu'elle renferme dans son sous-sol. Ces réserves sont essentiellement constituées de 04 nappes d'aquifères dont la profondeur varie entre un mètre et 1800 mètres. Cette région a vu ces dernières années une mobilisation très importante des ressources hydriques malgré les risques qu'elle peut engendrer (AZIB, 2010).

II.2.5 Conséquence de l'irrigation dans la région d'Ouargla :

L'irrigation entraîne généralement la remontée des nappes dans les sols jusqu'à l'engorgement de la zone racinaire des cultures. La nature saline des nappes phréatiques, en particulier dans les régions arides et semi-arides du monde, provoque l'accumulation des sels dans la zone racinaire (YEO, 1999). La remontée des sels solubles par ascension capillaire dépend de la texture des sols et la profondeur de la nappe phréatique (DUBOST, 1991) La dégradation des sols par salinisation augmente avec le niveau des eaux phréatiques, provoquant un phénomène d'hydro-holomorphie, la formation de croûtes gypseuses. Cette situation peut s'aggraver davantage en l'absence d'aménagements hydro-agricoles cohérents adaptés (DADDI BOUHOUN et al, 2012). Selon BENAÏSSA (2017), le sol des stations irriguées par les eaux de moi-pliocène ont enregistré une augmentation remarquable dans le pH et la conductivité électrique comparés à ceux irrigués par les eaux de l'Albain.

II.3 la réutilisation des eaux usées épurées dans l'irrigation :

II.3.1. Généralités sur les eaux usées épurées :

La plupart des activités humaines qui utilisent de l'eau produisent des eaux usées. Étant donné que la demande d'eau dans son ensemble augmente la quantité d'eaux usées produites, et leur charge polluante globale, sont en augmentation constante dans le monde entier. Dans tous les pays, à l'exception des plus développés, la grande majorité des eaux usées sont directement rejetées dans l'environnement, sans traitement adéquat, ce qui a des effets néfastes sur la santé humaine, la productivité économique, la qualité des ressources d'eau douce environnementales, et les écosystèmes.

Les eaux rejetées après leurs utilisations pour les activités domestiques, industrielles, artisanales ou agricoles et celles déversées à la suite d'évènements pluvieux constituent les eaux usées. Celles-ci sont généralement classées en trois grandes catégories :

Chapitre II : Généralité sur la qualité des eaux d'irrigation de la zone d'étude

- Les eaux usées domestiques
- Les eaux usées industrielles
- Les eaux pluviales et de ruissellement.

Les eaux usées sont composées d'environ 99% d'eau et 1% de matières solides en suspension, colloïdales et dissoutes.

II.3.1.1. Etapes de traitement des eaux usées :

L'objectif principal du traitement est de produire des effluents traités à un niveau approprié et acceptable du point de vue du risque pour la santé humaine et pour l'environnement. À cet égard, le traitement des eaux résiduaires le plus approprié est celui qui fournit, avec certitude, des effluents de qualité chimique et microbiologique exigée pour un certain usage spécifique.

Les différents degrés de traitements conventionnels sont (FAO, 1988) :

- Traitement préliminaire : Enlèvement des solides grossiers et d'autres grands fragments de l'eau usée brute.
- Traitement primaire : Enlèvement des solides organiques et inorganiques en suspension ainsi que les matériaux flottants.
- Traitement secondaire : Enlèvement des matières organiques solubles et des matières en suspension des eaux usées issues du traitement primaire.

Traitement tertiaire et/ou avancé : Enlèvement de constituants spécifiques de l'eau usée tels que les nutriments et les métaux lourds, qui ne sont pas enlevés par le traitement secondaire. La désinfection, habituellement avec du chlore Est employée pour réduire les constituants microbiologiques

II.3.1.1.1 Les procédés de traitements des eaux usées :

Selon le degré d'élimination de la pollution et les procédés mis en œuvre, plusieurs niveaux de traitements sont définis : les prétraitements, le traitement primaire et le traitement Secondaire, Dans certains cas des traitements tertiaires sont nécessaires, notamment lorsque L'eau épurée doit être rejetée en milieu particulièrement sensible.

Chapitre II : Généralité sur la qualité des eaux d'irrigation de la zone d'étude

Une station d'épuration comporte généralement une phase de prétraitement, pendant laquelle les éléments les plus grossiers sont éliminés par dégrillage (pour les solides de grandes tailles), puis par flottaison/décantation (pour les sables et les graisses), vient ensuite un traitement dit primaire, une décantation plus longue, pour éliminer une partie des MES, des traitements physico-chimiques et ou biologiques sont ensuite appliqués afin d'éliminer la matière organique. Ils sont généralement suivis d'une phase de clarification qui est encore une décantation, il existe également des traitements dits extensifs, comme le lagunage, qui combinent des traitements biologiques, physiques et naturels.

A) Les prétraitements :

Les eaux brutes doivent généralement subir, avant leur traitement proprement dit, un prétraitement qui comporte un certain nombre d'opérations, uniquement physiques ou mécaniques. Il est destiné à extraire de l'eau brute, la plus grande quantité possible d'éléments dont la nature ou la dimension constitueront une gêne pour les traitements ultérieurs. Selon la nature des eaux à traiter et la conception des installations, le prétraitement peut comprendre les opérations : (le dégrillage), principalement pour les déchets volumineux, (le dessablage) pour les sables et graviers et (le dégraissage-déshuilage ou d'écumage-flottation) pour les huiles et les graisses.

❖ Le dégrillage :

L'eau usée en provenance des égouts passe entre les barreaux métalliques d'une grille ou d'un tamis) qui retiennent les déchets volumineux (papiers, feuilles, matières plastiques, objets divers ...) et l'effluent est relevé jusqu'au niveau de l'usine à l'aide de vannes d'Archimède ou de pompes.

❖ La dilacération :

C'est une opération qui concerne essentiellement les eaux résiduaires urbaines, et qui a pour but de déchiqueter ou de désintégrer les matières solides décantables fines, qui peuvent continuer le circuit de l'eau vers le stade de traitement ultérieur et on a :

- La dilacération au fil de l'eau
- La dilacération sous pression

❖ Le dessablage :

Les sables et graviers susceptibles d'endommager les installations en aval (ensablement de conduites, des bassins ; usure des pompes et autres organes métalliques ...)

Chapitre II : Généralité sur la qualité des eaux d'irrigation de la zone d'étude

se déposent au fond de bassins conçus à cet effet. Ils sont récupérés de différentes façons ; raclage vers une fosse de collecte, pompe suceuse...

❖ Le dégraissage :

Le dégraissage avant rejet au réseau Actuellement, avant l'admission des eaux dans le réseau de collecte l'administration sanitaire impose aux usagers la mise en place de séparateurs à graisses préfabriqués ou construit sur place.

B) Le dégraissage en pré traitement de station d'épuration :

Un dégraissage grossier peut être obtenu soit dans une chambre où des eaux sont tranquillisées dans un bac à cloisons siphonides, soit dans décanteur primaire circulaire muni d'une insufflation d'air favorisant la remontée des particules de graisses et leur agglomération en surface.

❖ Le dégraissage déshuilage :

Les graisses et les huiles étant des produits de densité légèrement inférieure à l'eau Issues non seulement des habitations, mais aussi des restaurants, des garages, des chaussées, des usines, des abattoirs, ... etc.

Le déshuilage est une opération de séparation liquide-liquide, alors que le dégraissage Est une opération de séparation solide-liquide, Ces deux procédés visent à éliminer la présence des corps gras dans les eaux usées, (M. METAHRT Mohammed Saïd).

II.3.2 Critères de qualité des eaux usées pour l'irrigation :

Les caractéristiques de qualité chimique et physique sont identiques pour n'importe quelle eau d'irrigation. À cet égard, 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 (FABY et BRISSAUD, 1997).

II.3.3 Situation de la réutilisation des eaux usées dans l'agriculture en Algérie :

Les eaux usées traitées pourraient être considérées comme une (nouvelle) ressource en eau, qui peut être ajouté au bilan général de l'eau d'une région. Elles peuvent remplacer l'utilisation de l'eau potable pour l'irrigation ou à d'autres fins, en même temps, en diminuant ainsi la pression sur les ressources en eau (Asano, 1998).

Néanmoins, l'irrigation avec des eaux usées non traitées peut représenter un risque pour la santé publique, vue qu'elles peuvent contenir des bactéries pathogènes, des vers, des virus, des métaux lourds et des composés organiques anthropiques dangereux (UNEP,2010).

Chapitre II : Généralité sur la qualité des eaux d'irrigation de la zone d'étude

L'urbanisation croissante et l'intensification de l'agriculture produisent des quantités importantes d'eaux usées qui sont souvent utilisées pour l'irrigation dans les zones rurales urbaines.

II.3.4 Présentation de la Station d'épuration de Sidi Khouiled :

Le site d'implantation de la station d'épuration a été retenu au cours de l'établissement du schéma directeur et de l'avant-projet sommaire, le site retenu pour la mise en place de la station d'épuration est situé à proximité du point de rejet du réseau d'eaux usées de l'autre côté de la route de Sidi Khouiled vers Hassi Ben Abdellah.

Ce site permet de répondre aux besoins fonciers et aux objectifs d'assainissement (proximité du réseau de transfert des eaux usées existant).

Le site d'implantation est limité :

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

La forme géométrique du site s'apparente à un rectangle dont les dimensions sont :

- Largeur : environ 130 m
- Longueur : environ 300 m



Figure 7 : Localisation de la Station d'épuration de Sidi Khouiled (google Erthe2022)


Chapitre II : Généralité sur la qualité des eaux d'irrigation de la zone d'étude

Le site d'implantation retenue se situe au Nord-est de Ouargla entre les deux branches du canal de drainage La filière de traitement retenue est constituée :

- De prétraitement
- D'un premier étage de traitement par lagunage aéré
- D'un second étage de traitement par lagunage aéré
- D'un troisième étage de traitement par lagunage de finition
- De lits de séchage des boues



Figure 8 : les étapes de traitement à la STEP DE Sidi khouiled (Originale, 2022)

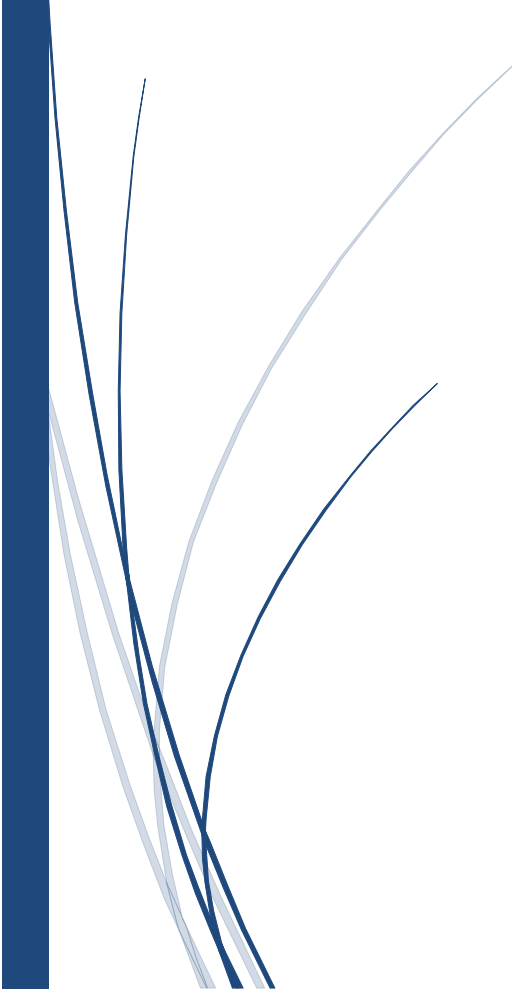


Chapitre III:

Caractérisation et

dégradation du sol dans la

région d'Ouargla



III.1 Généralités sur la salinisation des sols irrigués

III.1.1 Salinité et salinisation :

Les sels des sols et des eaux, ont été reconnus comme un problème depuis des milliers d'années, particulièrement dans les régions arides et semi-arides où il n'y a pas suffisamment de pluie pour lessiver les sels au-delà de la zone racinaire.

III.1.1.1. Définition de la salinisation :

Il y a plusieurs définitions de la salinisation : La salinisation est définie par **SERVANT (1975)**, comme étant l'ensemble des mécanismes suivant lesquels le sol s'enrichit en sels solubles et acquiert, à un degré plus ou moins fort, le caractère salé. **CHERBUY (1991)** a ajouté qu'il s'agit d'un processus résultant de la migration des sels à travers le profil du sol et de leur accumulation, par précipitation en profondeur.

La salinisation est un processus d'accumulation des sels à la surface du sol et dans la zone racinaire qui occasionne des effets nocifs sur les végétaux et le sol, il s'en suit une diminution des rendements, et à terme, une stérilisation des sols (**MERMOUD, 2006**).

Selon, **MERMOUD (2001)** vient d'indiquer que ce phénomène d'accumulation des sels solubles (en particulier le sodium) à la surface du sol et dans la zone racinaire, occasionne des effets nocifs sur les végétaux qui vont induire une diminution des rendements et une stérilisation du sol.

Selon, **FRANÇOIS (2008)** a actualisé la définition de la salinisation comme étant un phénomène par lequel un sol devient sur salé. La salinisation résulte le plus souvent de l'irrigation de sols mal drainés sous climat aride. La stagnation de l'eau dans les couches superficielles du sol par défaut de drainage se traduit par une accumulation de sels dans les horizons les plus superficiels, car les mouvements ascendants, liés à la forte évaporation due au climat chaud et aride, excèdent de beaucoup l'infiltration et donc le lessivage.

III.1.1.2 Définition de la salinité :

Plusieurs auteurs ont défini la salinité des sols comme étant la présence de concentration excessive de sels solubles, ou lorsque les concentrations en Na, Ca, Mg sous formes de chlorures, carbonates, ou sulfates sont présentes en concentrations anormalement élevées, Un sol salé indique la prédominance de Na Cl (**ASLOUM., 1990**).

Chapitre III : Caractérisation et dégradation du sol dans la région d'Ouargla

La salinité des sols et des eaux, constitue un obstacle majeur sur la croissance des végétaux, dans les régions arides et semi-arides.

III.1.1.3 Définition des sols salés (sols halomorphes) :

Les sols salins sont naturellement présents sous tous les climats et sur tous les continents. Ils sont là où l'évaporation excède les précipitations pluviales de façon permanente ou temporaire, ils sont étroitement liés à une source de salinité d'ordre géologique (Évaporites), hydrogéologique (eaux souterraines) ou hydrologique (eaux marines) (**GIRARD et al. 2005**).

Les sols salés sont ceux dont l'évolution est dominée par la présence de fortes quantités de sels solubles. On parle en général de sol salé lorsque la concentration des solutions dépasse $0,5 \text{ g.l}^{-1}$ (**ROBERT., 1996**).

Génétiquement, les sols sont constitués par deux unités très différentes, les salins, dans lesquels les sels de sodium, de calcium ou de magnésium sont sous la forme soluble de sels simples ou complexes. Les sols à complexe sodique dans lesquels les cations, essentiellement le sodium sont sous la forme échangeable, les sels solubles étant très peu abondants (**BOUTEYRE et LOYER., 1992**).

La teneur en sels est le critère le plus important pour évaluer la qualité de l'eau d'irrigation. Cette teneur peut être exprimée en termes de conductivité électrique ou en ppm ou méq/l. Généralement, une augmentation de la teneur en sels dans l'eau d'irrigation résultera dans une augmentation de la salinité de la solution du sol.

III.1.1.4 Genèse de conditions salines et /ou sodique :

La formation d'un sol salin (parfois dit « salé ») ou sodique résulte généralement de l'accumulation des sels dans les horizons de surface (**CHURCHMAN et al. 1993 ; NAIDU & RENGASAMY 1993 ; SUMNER 1993 ; KEREN 2000 ; LEVY 2000 ; BRADY & WEIL 2002 ; ESSINGTON 2004**).

Ce processus dépend essentiellement du régime hydrique du sol et des sources de sel. Lorsque le climat est chaud et sec, entraînés par les eaux capillaires suivant le flux d'évaporation, les sels sont accumulés en surface. Les sels les plus communs présents dans la solution du sol correspondent aux cations Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , et aux anions Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , NO_3^- (**KEREN 2000 ; ESSINGTON 2004**). De façon analogue à la formation d'un

Chapitre III : Caractérisation et dégradation du sol dans la région d'Ouargla

sol salin, un sol devient sodique lorsque la proportion d'ions Na^+ dépasse celles des autres électrolytes de plusieurs ordres de grandeur (SUMNER 1993, LEVY 2000, ESSINGTON 2004). Cela dépend de la source de sels mais aussi des conditions physicochimiques du sol.

Selon (BOLT et al 1978), la salinité se produit si :

$$\text{CEIQI} > \text{CEd} \times \text{Qd}$$

Où : CEi : conductivité électrique moyenne de l'eau d'irrigation.

Qi : quantité d'eau d'irrigation.

CEd : conductivité électrique moyenne de l'eau de drainage.

Qd : quantité d'eau de drainage

III.1.1.5 Facteurs intervenant dans le processus de la salinisation :

Selon WYN JONES et GOUSTON (1991), la salinisation des sols peut être due à :

- La lixiviation des sels solubles et/ou à l'évaporation, qui déposent leurs sels dans les sols.
- En régime, non saturé, la remontée capillaire entraîne un transport des sels par flux de masse vers la surface du sol où ils s'accumulent après évaporation de l'eau (RAJU *et al.* 1995).

III.1.1.6 Types de la salinisation :

D'après CHERBUY (1991), la salinisation d'un milieu, implique la présence d'une source de sels qui peut être naturelle, dénommée primaire, et une salinisation anthropique, généralement liée à l'irrigation, que l'on appellera secondaire.

III.1.1.6.1 Salinisation primaire ou naturelle :

La salinisation primaire, d'origine géologique, marine ou lagunaire correspond à une salinisation liée au fonctionnement naturel des terrains, sous l'influence du climat, de l'altération des roches et de la dynamique des eaux.

III.1.1.6.2 Salinisation secondaire :

Dans les zones à climat aride et semi-aride, la pratique de l'irrigation représente l'une des plus importantes causes de la salinisation secondaire. Actuellement, on dénombre environ 350 millions hectares irrigués dans le monde (SZABLOCS, 1994). Ces chiffres sont susceptibles d'être augmentés à l'avenir. En effet, (HAMDY *et al.* 1995) ont constaté que les

terres irriguées affectées par la salinité correspondent à 27% de la surface irriguées dans le monde. Cette menace selon **CHEVERRY (1995)** occasionne, chaque année des pertes de terres, variables selon les auteurs de 10 à 12 millions hectares.

III.1.1.7 Conditions climatiques de la salure :

Les climats comportent deux caractéristiques qui s'ajustent parfaitement aux mécanismes de la mobilisation et de l'accumulation du salant (**GAUCHER ET BURDIN, 1974**) :

Un régime irrégulier des précipitations avec une dominance des averses brutales qui sont séparées par des périodes de sécheresse : ce mécanisme de mobilisation du salant est assuré par les averses, qui peuvent éventuellement détacher des matériaux solides salés à partir des gisements originels et les transporter par ruissellement. Ces eaux vont par la suite s'accumuler dans des zones de dépression et causer ainsi une remontée du niveau phréatique.

Une saison sèche prolongée, pendant laquelle la chaleur et l'insolation provoquent une évaporation intense : ce mécanisme s'opérant en période sèche, il est le résultat d'une évaporation qui provoque l'ascension du salant par remontée capillaire.

III.1.1.8 Classification des sols salés :

Selon **DUCHAUFOR (1983)**, deux sous classes de sols halomorphes sont distinguées, sols à complexe sodique ou sols alcalins et Sols salins à complexe calcique.

III.1.1.8.1 Sols à complexe sodique ou sols alcalins :

Caractérisés par une saturation marquée en Na et une accumulation des sels en profondeur. Ces sols se caractérisent par la présence d'une quantité importante de sodium qui dépasse les 15% de le C.E.C. (Capacité d'Echange Cationique). La conductivité électrique (C.E) ne dépasse pas 4 ds/cm à 25°C, et le pH est supérieur à 8,5. La relative abondance de l'ion sodium, dans la garniture ionique absorbant, peut avoir deux origines distinctes :

- ✓ Elle peut provenir du sodium libéré par l'altération de certains minéraux alcalins.
- ✓ Elle peut résulter d'une saturation progressive du complexe en sodium, aux dépens d'une solution saline (**DUCHAUFOR, 1983**). Ces sols ont un profil peu stable, en raison de la grande facilité de dispersion des argiles, ils sont asphyxiants plutôt que physiologiquement secs.

III.1.1.8.2 Sols salins à complexe calcique :

Caractérisés par une accumulation marquée des sels solubles en surface. Ces sols se rencontrent dans les zones à climat sec. Ils se caractérisent par un pH généralement inférieur à 8,5 et supérieur à 7 et le sodium n'y forme pas plus de 50% des actions en solution (**DAJOZ, 1982**). La conductivité électrique de l'extrait aqueux à saturation est supérieur à 4,5dS.m⁻¹ à 25°C, dans les horizons de surface (25 cm); 15 dS.m⁻¹ dans les horizons inférieurs (suivant la texture) (**DUCHAUFOR, 1983**); avec un taux de sodium échangeable (E.S.P) inférieur à 15% de la C.E.C du sol. Ces sols présentent une structure non dégradée, caractérisés par une richesse en sels solubles, tels qu'ils inhibent la croissance de la plupart des plantes cultivées (**AUBERT, 1978**).

III.1.1.9 Caractères des sels

III.1.1.9.1 Solubilité des sels :

Les sels présents dans les sols n'ont pas la même solubilité, il en ressort que les chlorures sont les plus solubles, les sulfates, les carbonates et les bicarbonates sont moyennement soluble. Lorsque les sulfates et les carbonates sont associés au calcium, ils deviennent presque insolubles (**AUBERT, 1978**).

III.1.1.9.2 Mobilité des sels :

Les sels dans le sol peuvent se déplacer d'un horizon à un autre sous l'action de divers facteurs. Les sels les plus solubles sont généralement les plus mobiles mais leur mobilité dépend : Des états physiques de l'eau du sol, du gradient de température existant dans ce sol, et de sa texture (**AUBERT, 1978**).

III.1.1.10 Mesures de la salinité

III.1.1.10.1 La conductivité électrique :

La salinité d'un sol se mesure par la conductivité électrique (CE) d'un extrait de la pâte saturée. Le « US Salinité Laboratoire Staff » en 1954 a proposé le seuil de 4 DS/m pour définir un sol salin (**ESSINGTON, 2004**). (Dans les années 70, on reconnaissait que la distinction entre un sol non salin et un sol salin est intimement rattachée à la tolérance aux sels des plantes considérées. On peut distinguer deux grands groupes de sols affectés par l'excès de sels :

Chapitre III : Caractérisation et dégradation du sol dans la région d'Ouargla

Les sols salins : ont un excès de sels solubles de toutes sortes, excès suffisants pour affecter la production végétale sans affecter les propriétés physiques.

Les sols sodiques : ont un niveau de saturation du complexe adsorbant par du Na⁺ suffisant pour affecter la structure du sol et la production végétale (**CHURCHMAN et al. 1993 ; NAIDU & RENGASAMY, 1993 ; SUMNER, 1993 ; KEREN, 2000 ; LEVY, 2000 ; BRADY & WEIL, 2002 ; ESSINGTON, 2004**).

III.1.1.10.2 Sels totaux dissous :

Historiquement, la salinité du sol ou de l'eau a été évaluée en déterminant la quantité totale de sels dissous dans la solution (TDS). On la réalisait en faisant évaporer l'eau jusqu'à faire précipiter les sels dont le poids est ensuite déterminé. L'extraction des sels dans le sol s'effectue par (**ESSINGTON, 2004**) :

Extrait 1 :5 : Détermination de la salinité dans un filtrat d'une suspension de sol dans l'eau dans un ratio sol : eau de 1 :5. Mais elle donne des valeurs élevées car elle cause la dissolution de CaCO₃ et du gypse (CaSO₄, 2H₂O).

Extrait de la pâte saturée : Détermination de la salinité dans un extrait (filtré) de la pâte saturée. C'est la méthode la plus appropriée du fait que cette humidité est la plus proche de celles rencontrées sous les conditions au champ. Mais elle est fastidieuse comparée aux autres extraits plus dilués.

III.1.1.11 Répartition et importance des sols salés :

Les sols salés occupent une superficie de 950 millions hectares (**ZID et GRIGNON, 1991 ; HASAN, 1995**). Il n'a été estimé que 20% des 275 millions hectares des terres irriguées (**FLOWERS et FLOWERS, 2005**) et 15% (227 millions hectares) des terres cultivables sont affectés par la salinité (**MUNNS, 2002**).

En Afrique du nord et au Moyen-Orient, elle couvre près de 15 millions d'hectares, dont 15% sont dépourvus de toute végétation (**LE HOUEROU, 1986**). Quinze millions d'hectares de terres agricoles sont touchées par une salinité croissante des sols au Maghreb, au Moyen-Orient (**BEN AHMED et al. 1996**). Ainsi, en Tunisie, les sols salés couvrent environ 10% de la superficie globale du pays, soit à peu près 25% de la surface totale des sols cultivables (**BEN AHMED et al. 2008**). En Egypte, 35% des aires cultivées sont salinisées, 90% d'entre elles souffrent d'engorgement (**MAINGUET, 2003**).

Chapitre III : Caractérisation et dégradation du sol dans la région d'Ouargla

En Algérie les zones semi-arides et arides couvrent près de 95% du territoire (**BENKHELIF et al. 1999**). Les sols salés sont très répandus dans les régions arides, représentant environ 25% de la surface (**HALITIM, 1988**) soit 3,2 millions hectares (**HAMDY, 1999**).

III.1.1.12 Mise en valeur des sols salés :

Une bonne utilisation agricole des sols salés nécessite (**GIRARD et al. 2005**) :

- L'élimination des excès en sels (lixiviation) et la suppression de la source de sodium (drainage de la nappe salée). Ces pratiques seront d'autant plus aisées que le sol est perméable et que l'eau (pluie, irrigation) est abondante et de bonne qualité.
- L'utilisation des plantes résistantes à la salinité.
- La reconstitution de la fertilité par des amendements qui enrichissent les argiles en calcium échange

III.2 Caractérisation des sols dans la région d'Ouargla

III.2.1 Classifications pédologiques :

Selon **Daoud et Halitim (1994)**, la région de Ouargla se caractérise par une grande Hétérogénéité de sols représentés par les Lithosols (yermic), les Arenosolaridic, les Stagnosols, Gley sols, les Solonchaks et par les Gypse sols.

L'étude de **HAMDI-AÏSSA (2001)** réalisée avec la télédétection et la prospection sur Terrain a montré que les sols dans la cuvette d'Ouargla sont à prédominance sol sodique, hydro-halomorphe et minéraux bruts. L'étude des états de surface des sols, après classification Ascendante hiérarchique, montre qu'ils sont constitués de cinq Pédo-paysages .1.

Un plateau à 180-200 m d'altitude, caractérisé par une croûte pétro-calcaire, surmontant une croûte pétro-gypsique.2. Les glacis et les versants Ouest de la cuvette, sont en grande partie recouverts de matériaux alluvion-éoliens, sans développement pédologique notable (Régosols sableux et/ ou à graviers).

Les bordures des glacis étagés à 180 m, à 160 m et à 140 m, bien visibles, en partie érodées, se caractérisant par l'affleurement du substrat gréseux du Moi-pliocène (Lithosols).

Chapitre III : Caractérisation et dégradation du sol dans la région d'Ouargla

La cuvette comprend un ensemble légèrement surélevé, constituant le pédopaysage gypseux, caractéristique du chott situé entre 140 et 135 m d'altitude. Il est subdivisé :

□ Sols à croûtes gypseuses de surface, □ □ Sols gypso-salins, à croûtes gypseuses de sub-surface et croûtes salines de surface. Le centre de la cuvette de 135-130 m d'altitude, correspond au pédopaysage salin à croûtes salines de surface. Les études de sols dans la cuvette d'Ouargla de **DUTIL (1971)** et les cartes pédologiques établies par **HAMDI-AÏSSA (2001)** montrent que les sols de la cuvette présentent des encroûtements et croûtes gypseuses à gypso-calcaires de nappes.

III.2.2 Cause de la dégradation des sols :

La dégradation de sol au niveau des oasis varie en fonction du type de problèmes posés, Au Sahara algérien, les problèmes recensés ces dernières années sont principalement la remontée des eaux phréatiques et la salinisation des sols (**DUBOST et al., 1983 ; DUBOST, 1991 ; SAKER, 2000 ; HAMDI-AÏSSA, 2001**).

III.2.2.1 Remontée de la nappe phréatique :

Les causes de la remontée des eaux phréatiques dans les régions du Sud Est algérien sont multiples, d'ordre naturel et anthropique. Elles sont principalement, la mauvaise gestion des eaux usées et agricoles, jumelée par une prédisposition hydrogéologique et topographique non favorable (**DUBOST et al., 1983 ; DUBOST, 1991 ; SAKER, 2000 ; HAMDI-AÏSSA, 2001**).

Le niveau des nappes phréatiques dans les régions du Sud Est algérien est variable en fonction du niveau de drainage dans les régions phoenicicoles. Il peut être profond à Biskra, situé plus au Nord. Cependant, il devient de plus en plus superficiel, de 0 à 3 m de profondeur, vers certaines régions situées plus au Sud, comme Tolga, Oued Rhir, Oued Souf et Ouargla (**DUTIL, 1971 ; MUNIER, 1973 ; DUBOST et al., 1983 ; DUBOST, 1991 ; HAMDI-AÏSSA, 2001**).

III.2.2.2 Salinisation des sols :

L'intensité de l'évaporation et le niveau élevé de la nappe phréatique tend à aggraver ce problème, en déplaçant les sels solubles dans la zone racinaire et vers la surface du sol (**HORNEY et al., 2005**). La salinisation secondaire existe depuis longtemps en agriculture, particulièrement dans les régions arides et semi-arides (**SZABOLOCS, 1986**). La salinisation est un problème général au Sahara. Il est causé par la non maîtrise de l'irrigation-drainage

dans les palmeraies (DURAND, 1958). Le drainage reste difficile dans les régions du Sud Est algérien soumises au phénomène de remontée des eaux phréatiques, qui ont un problème d'exutoire pour les eaux de drainage (CÔTE, 1998).

III.2.3 Conséquence de la dégradation de sol :

La dégradation des conditions édaphiques dans la région d'Ouargla, par salinisation et remontée des eaux phréatiques, présente des conséquences néfastes sur le sol (DJERBI, 1994). La salinisation est à l'origine de plusieurs problèmes pour le sol et les plantes. Ils sont de nature et d'intensité variables selon le sol, le climat, la plante et la conduite culturale (AYERS et WESTCOT, 1988). Les problèmes les plus rencontrés sont associés à la salinité, la solidité et la toxicité spécifique de certains ions (ARAGUES, 1983).

III.2.3.1 Effets de la nappe phréatique :

Le niveau élevé de la nappe phréatique présente des conséquences néfastes sur le sol (DJERBI, 1994). Ce problème produit trois types d'effets au niveau des sols, d'ordre physique, physico-chimique, chimique et biologique. Les problèmes d'ordre physique sont l'instabilité structurale et la réduction de l'aération des sols (Hydromorphie). La pauvreté en oxygène dans les sols produit l'asphyxie et la pourriture racinaire chez les végétaux (CALLOT et al. 1982).

La salinisation et l'alcalinisation des sols sont des problèmes physico-chimiques qui touchent les zones mal drainées (DURAND, 1958). D'après DUBOST et al. (1983), l'augmentation du niveau de la nappe phréatique augmente l'évaporation des eaux phréatiques et les dépôts salins dans le sol. L'action néfaste des nappes superficielles sur les propriétés chimiques du sol se traduit à deux niveaux. Le premier par la modification des formes de Fe et Mn, notamment la réduction des oxydes ferriques, en faisant apparaître des tâches verdâtres de Gley (DUBOST, 1991). Le deuxième problème chimique, ce sont les accumulations gypseuses. La remontée des nappes phréatiques chargées en sels, dans les climats hyperarides favorise l'accumulation du gypse (DURAND, 1958). Les études effectuées par les chercheurs montrent que la nature des sols au Sud Est algérien change en fonction des régions phoenicicoles. Ils peuvent être de types éoliens, alluvionnaires, alluvio-éoliens et de texture sableuse à argileuse. Il est observé que les sols des zones de nappes peu profondes, présentent des accumulations gypseuses, gypso-salines et gypso-calcaires (DUTIL, 1971; SAKER, 2000 HAMDI AÏSSA, 2001). Enfin, l'activité biologique diminue au niveau des sols de

nappes superficielles (**DJERBI, 1994**). Cela agit négativement sur l'évolution de la décomposition de la matière organique des sols (**ROBERT, 1992**).

III.2.3.2 Effets de la salinisation :

Actuellement, deux aspects de salinisation des sols sont admis, la salinisation par excès de sels solubles et l'alcalinisation qui commence à se manifester dès que le taux de sodium échangeable dépasse les 15 % de la C.E.C. (**DERDOUR, 1981**). Les problèmes engendrés sont la salinité et la solidité des sols (**ARAGUES, 1983**).

D'après **SERVANT (1978)**, les sels les plus abondants dans les zones arides et subarides, sont de deux types, neutres (tel : Na Cl, Na₂SO₄·10H₂O, Na₂SO₄, MgSO₄, 7H₂O, CaSO₄, 2H₂O) et alcalines (tel : Na₂CO₃, NaHCO₃, 2H₂O, NaHCO₃, 2Na₂SO₄, Na₂CO₃). Les sels non sodiques ne présentent pas de danger pour le sol, contrairement pour ceux qui sont sodiques. La solidité des sols se traduit par des conséquences négatives sur les propriétés du sol la dispersion des argiles, la dégradation de la structure, la perte de perméabilité et ainsi une action néfaste sur l'évolution de la matière organique (**GOLDBERG et al. 1988 ; MALLOHI, 1982 ; MALLOHI et JACQUIN, 1988 ; MALLOHI, 1989**).



Matériel et Méthode

Introduction

L'objectif de cette étude est le suivi de l'évolution des caractéristiques physico-chimiques d'un sol de la région d'Ouargla sous irrigation avec une eau usée épurée en provenance de la station de SIDI KHOULED

La méthodologie adoptée est le suivi des caractéristiques d'un sol irrigué avec l'eau précédemment cité et la comparaison des résultats à un état initial (témoin) sol non irrigué.

IV.1. Choix de la station d'étude :

La commune de Hassi Ben Abdallah demeure la principale région pilote en matière de mise en valeur agricole, Elle a connu une dynamique notable par rapport aux autres régions de la wilaya de Ouargla où sa superficie agricole utile (SAU) est passée selon la DSA (2014) de 3825 ha en 2009 à 7203,31 ha en 2014, Le choix de la zone de Hassi Ben Abdallah est guidé par un ensemble de facteurs :

La nappe phréatique, qui constitue une contrainte majeure pour l'agriculture dans la cuvette de Ouargla, se trouve à une profondeur considérable (1 à 8 m) dans la commune de Hassi Ben Abdallah (BENAÏSSA, 2017), Cela est encouragé par le fait qu'elle possède suffisamment de bonnes terres installées sur un reg dont l'altitude est de 160 m, et ne nécessitant pas de réseau de drainage, qui semble s'effectuer naturellement de manière satisfaisante (AZYBE, 2010).

IV.1.1 Site de prélèvement :

Cette étude a été menée dans la zone agricole de la commune de HASSI Ben Abdallah, dans une petite exploitation agricole appartenant à un particulier dont la situation est donnée par (la figure 1) la palmeraie s'étale sur une petite superficie d'environ 1 hectare, plantée de jeunes palmiers. Les monolithes de sol ont été prélevés dans un périmètre ne dépassant pas les 180 m² de superficie, ce sol n'est pas planté et il n'a jamais été irrigué.

IV.1.2 Choix de la station d'installation des colonnes du sol :

Le choix de la station d'installation des colonnes d'étude a été porté sur l'exploitation agricole de l'université de Ouargla située au niveau de la faculté des sciences de la nature et de la vie, vue l'existence d'une infrastructure hydro-agricole phoenicole permettant la réalisation d'un dispositif expérimental dans les conditions naturelles sous palmiers. Notre dispositif expérimental d'étude a été installé dans le sous-secteur A1 sous palmiers.

IV.1.2.1 L'exploitation agricole de l'université d'Ouargla (I.T.A.S) :

A été créée en 1959, par le service colonial pour la mise en valeur, sous l'appellation de périmètre de "GARETCHEMIA". Elle est située au sud-ouest d'Ouargla, durant la première phase de la révolution agraire, le périmètre est passé en groupes de mise en valeur (G.M.V). En 1979, l'exploitation a été confiée à l'institut Technologique d'agriculture Saharienne (I.T.A.S). En 1992 l'exploitation est passée à l'Institut Nationale Supérieur d'Agronomie Saharienne (I.N.F.S.A.S), En 1997 l'exploitation a été confiée au centre universitaire, Et actuellement l'exploitation est sous la tutelle de l'université d'Ouargla.

IV.1.2.2 Localisation de l'exploitation :

L'exploitation est située au sud-ouest de la ville d'Ouargla, à six kilomètres environ du centre-ville. Elle se présente sous forme d'un glacis d'une grande homogénéité topographique. Elle se trouve dans une zone peu élevée, à la bordure d'un chott. Le dénivelé topographique entre le chott et l'exploitation est d'environ deux mètres, Ses coordonnées sont les suivantes (UKMO, 2013) :

- Latitude : 31°,57' Nord.
- Longitude : 5°,20' Est.
- Les altitudes sont comprises entre 132.5 et 134.0 m

IV.1.2.3 Site d'installation des colonnes du sol :

Les monolithes du sol ont été installés au niveau du secteur A1 dans une fosse creusée dans le sol la fosse est d'une profondeur de 1m de sorte que les colonnes soient complètement enterrées mais le dispositif permet le drainage des eaux excédentaires.

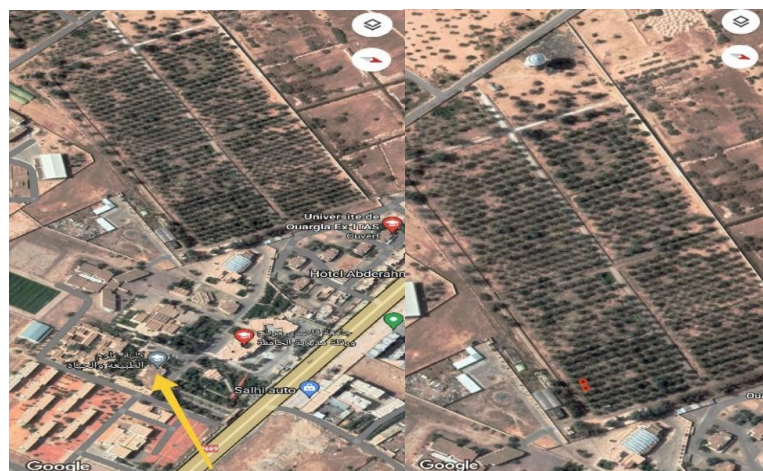


Figure 9 : l'exploitation agricole de l'université d'OUARGLA (I.T.A.S)

IV.2 Méthodes d'étude :

.Ce travail consiste en un suivi de l'évolution des paramètres physico-chimiques d'un sol, dans des conditions contrôlées plus au moins contrôlées. .

IV.2.1 Approche méthodologique :

La méthode est basée sur le prélèvement des monolithes de sol et leur installation, On procède à leur irrigation avec l'eau usée purée.

Les monolithes du sol ont été prélevés et installés au niveau de l'exploitation de l'université d'Ouargla dans le cadre des travaux précédents. Notre travail consiste à l'irrigation de ces colonnes pendant une durée de trois mois au cours de laquelle on fait des prélèvements du sol pour effectuer un suivi temporel des propriétés physico-chimiques du sol.

La figure suivante montre les étapes méthodologiques de la réalisation de l'expérimentation :

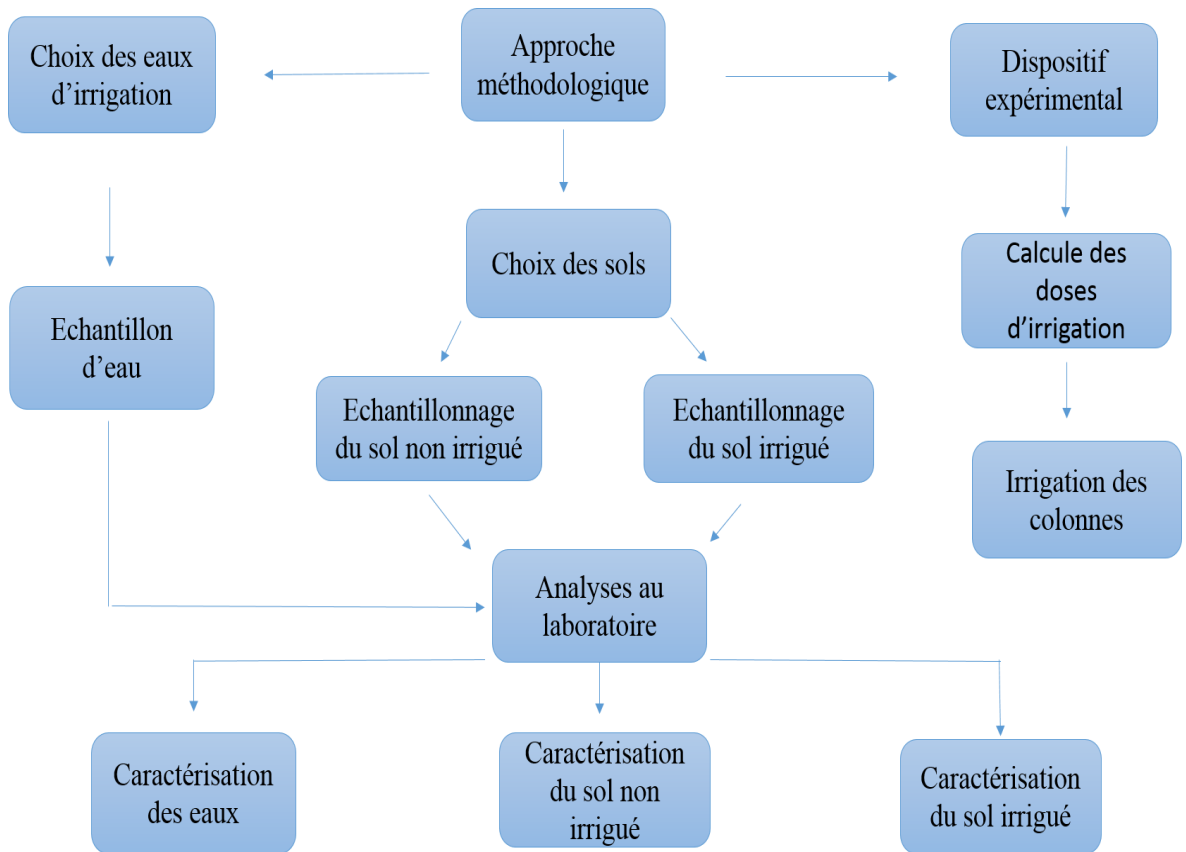


Figure : Résumé de la méthodologie du travail

IV.2.2 Protocole expérimentale et irrigation des colonnes du sol :

Comme il a été signalé précédemment, l'ensemble des étapes de prélèvement et d'installation des colonnes du sol non remanié a été réalisé dans le cadre d'un travail de doctorat.

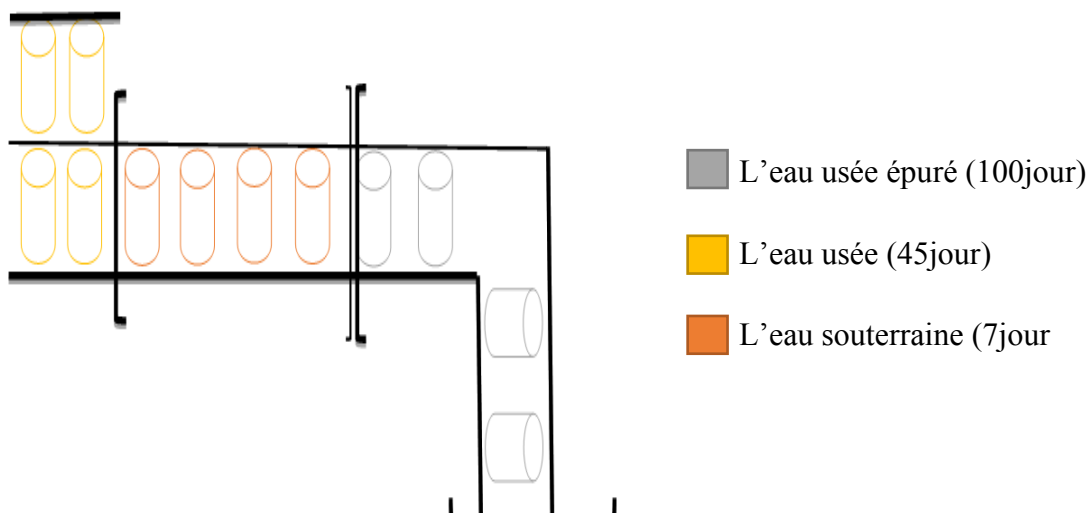
Dans le cadre de ce mémoire du Master notre travail consiste en un suivi des caractéristiques du sol au cours du trois mois d'irrigation.

IV.2.2.1 Dispositif expérimental :

Le fond de chaque colonne de sol est posé sur une couche de gravier (d'environ 5 cm d'épaisseur) contenue dans un tube en PVC (de mêmes dimensions que le tube de la colonne) pour maintenir le sol en place tout en favorisant son drainage. La base de la colonne expérimentale est fermée avec une plaque étanche en PVC perforée à son centre et connecté à un entonnoir (photo). L'ensemble des colonnes en PVC contenant le sol non remanié sont fixées dans des supports en acier (photo suivante) et enterrés en plein champs sous palmiers dattiers, au niveau de l'exploitation de l'UKMO.



Figure 10 : installation des monolithes dans l'exploitation universitaire d'Ouargla (ITAS)



IV-2-2-2 Irrigation des monolithes :

La hauteur du tube en PVC est de 70 cm et l'épaisseur du sol à l'intérieur de ce dernier est de 60 cm ; la différence permettra l'apport d'eau lors de l'irrigation.

L'irrigation des monolithes se fait selon les doses calculées et présentées dans le paragraphe suivant, le dispositif expérimental est disposé en bloc dont on a trois blocs, chaque bloc est composé de quatre colonnes de percolation. Le premier bloc est irrigué pendant sept jours, le deuxième pendant 45 jours et le dernier est irrigué pendant 100 jours.

Dans notre travail on a travaillé sur trois colonnes de chaque bloc ce qui fait 09 colonnes de percolation.

IV2.2.3 Irrigation monolithe :

Calcul de la dose :

La Capacité de stockage pour l'eau

Dans cette étude nous n'avons pas de plante, et de ce fait on a calculé les doses sur la base de la capacité du stockage de sol en eau avec pour épaisseur du sol ; la hauteur du sol dans la colonne du sol non remanié **H = 60cm**.

$$RU = (H_{pcc} - H_{ppF}) * Z_r * da$$

Avec : Z_r profondeur racinaire en dm ; H_{pcc} et H_{ppF} sont les humidités pondérales du sol m^3/m^3 ($H_v = H_p \times da$) ; **da** : densité apparente.

Et donc la RU est le volume maximal stocké par le sol et susceptible d'être utilisé par la plante. Elle est limitée par la profondeur racinaire de la plante.

Observation : Dans ce cas nous n'avons pas de plante nous avons donc **Zr** est l'épaisseur du monolithe de sol.

$$Z_r = 60\text{cm}$$

Par définition la capacité du stockage d'eau c'est le volume maximal retenu par un horizon de sol, il se détermine en fonction du débit entrant et sortant pendant les différentes heures de la journée (**RASSOUL 2019**).

$$CSE = H_{Cr} * E * da$$

La mesure de la densité apparente du sol est faite par la méthode de cylindre **da = 1.4**

La mesure de l'humidité à la capacité de rétention est faite par la méthode de la marmite de Richard HCr = 5 %.

Avec : H_v est l'humidité volumique en % et E est l'épaisseur de l'horizon en dm. La somme des CSE des horizons successifs, jusqu'à la profondeur maximale donne la CSE de sol dans son ensemble.

Donc : $CSE = 1.4 \times 5 \times 6$ **ce qui donne une CSE = 42 mm**

Selon **Djaouadi 2019** on déclenche l'irrigation dès que la CSE est réduite de 30%

Donc : quantité d'eau maximale 42 mm	→	100%
Quantité d'eau à apporter en mm	→	30 %

La quantité d'eau à apporter par irrigation = 12,6 mm

IV.2.2.3.1 Pilotage de l'irrigation :

Détermination de l'ETP :

L'évapotranspiration est le paramètre essentiel du bilan hydrologique, elle constitue le transfert de l'eau de la terre vers l'atmosphère par évaporation des eaux de surface et du sol et par la transpiration des végétaux (**GERRARD, 1999**).

Les valeurs de l'ETP utilisées dans notre étude sont calculées à l'aide du logiciel CROPWAT en utilisant les données climatiques de la station d'Ouargla période 1996/2018. Les ETP moyennes journalières pour les mois d'Octobre, novembre décembre et janvier sont respectivement de : **5,8** mm/jour, **3,54** mm /jour, **2,45** mm / jour et 2,78 mm / jour.

Selon l'ETP moyenne journalière et la quantité d'eau à apporter les intervalles d'irrigation pour chaque mois sont :

- | | |
|--|---|
| 1- (Octobre) = $12.6 / 5.8 = 2$ jours. | 3 - (Novembre) = $12.6 / 3.54 = 3$ jrs. |
| 2- (Décembre) = $12.6 / 2.45 = 5$ jours. | 4 - (Janvier) = $12.6 / 2.78 = 4$ jrs. |

Calcul du volume d'eau à apporter à chaque irrigation

- Calcule la surface de monolithe (S)

D = Diamètre des monolithes du sol.

$$S = \frac{\pi \times D^2}{4} \quad S = 0.020096 = 200.96 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Le volume en litre : La quantité d'eau qu'il faut apporter pour arriver à la HCR est de 12,6 mm et qui correspond à un volume de 126 m³ à l'hectare. Pour une surface de 200.96 × 10⁻⁴ m² le volume correspondant en litre est de 253ml.

Calendrier d'irrigation :

Mois	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier
Jour	20/22/24/26/28 /30	01/04/07/10/ 13/16/19/22/25/28/	/06/11/16/21 /26/0131/	05/10/15/20/ 25

IV2.4 échantillonnage de sols et de l'eau :

IV2.4.1 Echantillonnage du sol :

IV2.4.1.1 Sol non irrigué :

Pour la détermination des propriétés physicochimiques initiales des monolithes on a effectué un échantillonnage systématique en diagonale (**RAYEN et al. 2003**) au niveau des fosses laissées lors de prélèvement des colonnes.

IV2.4.1.2 Sol après chaque période d'irrigation :

On a effectué un échantillonnage après chaque période d'irrigation, pour le court terme on a fait un prélèvement après une semaine d'irrigation ; Le deuxième prélèvement est effectué après la fin du moyen terme qui s'étale sur 45 jours et le dernier prélèvement est effectué après 100 jours d'irrigation.

Le prélèvement des échantillons du sol est réalisé à l'aide d'une tarière biologique (cylindrique) de 1,5 m de longueur sur la profondeur de la colonne (0- 60 cm). Les photos suivantes illustrent les prélèvements des échantillons du sol au niveau des monolithes.



Figure 2 : prélèvement de l'eau

IV.2.5 Méthodes d'analyses eaux et des sols :

Nous allons présenter dans cette partie les méthodes de différentes analyses effectuées sur les eaux et les sols.

IV.2.5.1 Méthodes d'analyses des eaux :

Les méthodes utilisées au niveau du laboratoire sont résumées comme suit :

Paramètres physico-chimique :

PH :

Pour déterminer le pH, nous avons utilisé une méthode électro-métrique avec Électrode. L'appareil donne les valeurs du pH et de la température, affichées directement sur Son écran.

La conductivité électrique CE :

La conductivité électrique a été mesurée au laboratoire à l'aide d'un conductimètre. L'unité de conductivité est exprimée par le déci Siemens par mètre (DS/m).

Paramètre chimique :

Il consiste à analyser les anions : SO_4^{2-} , Cl^- , HCO_3^- et les cations : Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ et K^+ (COUTINET 1965 ; AUBERT, 1978 ; GHAROUCHA 1995).

Les méthodes utilisées sont :

- Les anions SO_4^{2-} : par gravimétrie après précipitation à l'état de sulfate de Baryum.
- Les anions Cl^- : sont dosés par la méthode Argent métrique de MOHRF Les anions HCO_3^- sont dosés par titrimétrie au H_2SO_4 .

- Les Cations Ca^{+2} , Mg^{+2} : et sont analysées après dilution (D=50) par spectrophotométrie d'absorption atomique de flamme (SAAF) (PANSU et al 1997).
- Les cations de Na^{+} : sont analysés après dilution (D = 50) par spectrophotométrie à émission atomique de flamme (SEAF) (Pansu et al. 1997).

IV2.5.2 Méthodes d'analyses des sols :

L'ensemble des analyses physiques, physico-chimiques et chimiques du sol ont été faites au niveau du laboratoire de la faculté des Sciences de la Nature et de la Vie (Université de Ouargla) et au niveau du laboratoire de recherche (Université de Ouargla).

Granulométrie

L'analyse granulométrique a été effectuée sur des échantillons de la terre fine (< 2 mm), séchés à l'air libre, on a utilisé la méthode du tamisage par voie humide pour la fraction sableuse (sable grossier, sable fin et fraction >50 μm).

La granulométrie a été effectuée sans décarbonatation pour tous les échantillons. La mesure du pH s'effectue au pH mètre sur une suspension de terre fine, (Mathieu et Peitain, 2009) le rapport terre/liquide de 1 / 5.

Conductivité électrique(CE) :

La conductivité est en fonction de la concentration des sels dissous dans la solution du sol (Aubert, 1978).on a Mesuré la CE au Conductimètre à partir de l'extrait de sol 1/5.

Calcaire total

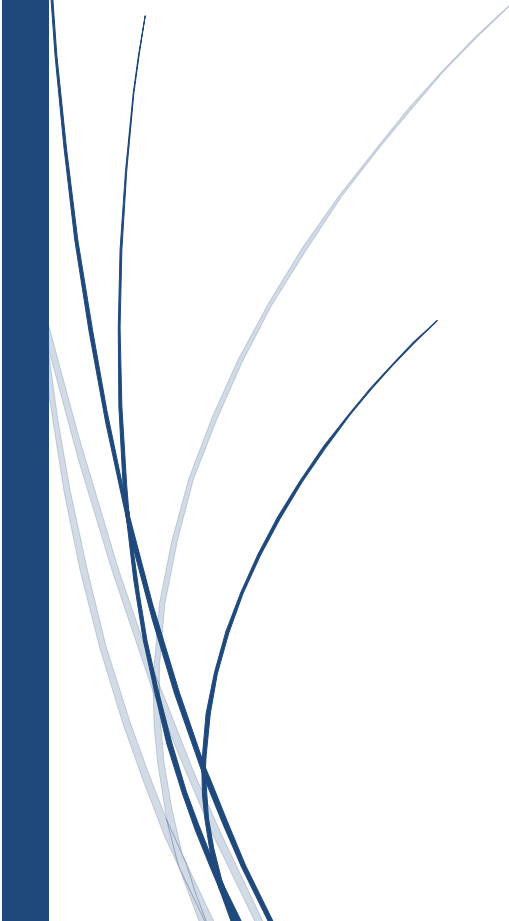
Le dosage du calcaire total est réalisé par la méthode du calcimètre de (BERNAND SOLTNER, 2005), c'est-à-dire par mesure du volume de CO_2 dégagé, suite à l'action d'un excès d'acide chlorhydrique sur un poids connu d'échantillon (BAIZE, 2000).

Gypse ($\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$) :

Chimiquement il est composé de sulfate de calcium hydraté, ayant comme formule : $\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$. (COUTINET, 1965). Le gypse est dosé par la méthode de MOHR(BS) (1979), par calcination au four. L'analyse passe par plusieurs étapes : séchage, tamisage, ébullition avec présence de HCL et BaCl_2 , refroidissement, la précipitation, la filtration, la calcination et le pesage



***Résultats Et
Discussion***



Introduction :

La qualité physique et chimique de l'eau d'irrigation dans le domaine agricole doit être caractérisée et évaluée par une comparaison aux critères d'évaluation qualitatifs de l'eau d'irrigation.

Dans ce chapitre, nous traiterons les résultats des analyses physico-chimiques des eaux et des sols relatifs à notre étude.

V.1 Caractérisation de l'eau d'irrigation dans le site d'étude :

Les résultats des analyses physico-chimiques de l'eau utilisée dans l'étude sont représentés dans le tableau suivant :

TABLEAU 01 : les résultats des analyses physico-chimiques de l'eau usée épurée

		L'eau usée
pH		7.02
CE à 25C°(dm/s)		5.90
Bilan Ionique (meq/l)	NA+	11.324
	K+	1.710
	Ca++	12.580
	Mg++	20.696
	Faciès des cations	Mg>Ca>Na>ka
	CL-	25.110
	SO4-	16.667
	HCO3-	4.687
	Faciès des anions	Cl>SO4⁻>HCO3⁻
Faciès chimique globale		Chloruré magnésique
SAR		2.7

V.1.1 pH de l'eau d'irrigation :

Le pH des eaux usées épurées analysées est de 7,02. Ces résultats révèlent que le pH des eaux est neutre et selon les directives de la FAO il n'y a aucune restriction pour son utilisation dans l'irrigation.

V.1.2 Le Faciès chimique :

La projection des résultats des analyses chimiques sur le diagramme de piper est donnée par la figure suivante :

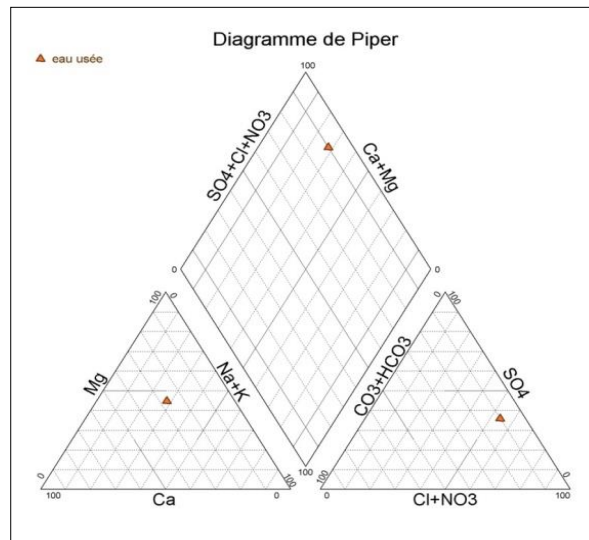


Figure 11 : La projection des résultats des analyses de l'eau d'irrigation sur le diagramme piper

L'analyse du tableau 1 et de la figure 1 montre que l'eau d'irrigation est principalement Chlorurée sodique.

La concentration en anion **chlorure** est de **25,1 mé/L** ; selon les directives de la FAO cette eau peut causer des problèmes graves si elle est utilisée en irrigation.

V.1.2.1 Conductivité électrique à 25 °C :

La valeur de la conductivité électrique de l'eau usée épurée est de 5,9 mS/cm ; Selon les directives de la FAO, il est strictement interdit de l'utiliser dans l'irrigation.

Selon la classification de Durand, (1958), l'eau étudiée appartient à la classe **C5** dont une eau à salinité excessive.

V.1.2.2 SAR :

La valeur du SAR calculée pour l'eau étudiée est de 2,7, elle est <10 et selon ((U.S.S.L., 1954) cette eau est sans aucun danger d'alcalinisation.

La projection sur le diagramme de Riverside

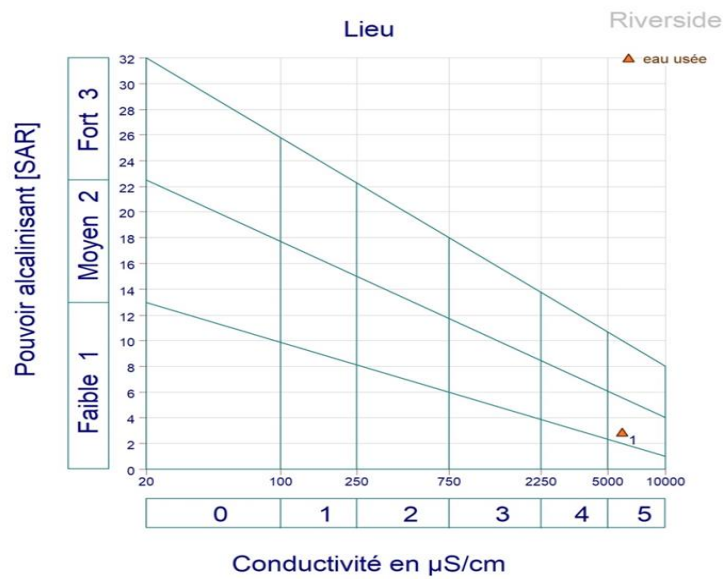


Figure 12 : diagramme de Riverside de l'eau d'irrigation.

L'eau usée épurée, utilisée dans notre étude appartient à la classe **C5S2** donc de qualité très mauvaise a n'utilisé que dans des circonstances exceptionnelles.

VI.1 Caractérisation du sol non irrigué (témoin) :

Le tableau suivant résume les analyses physico-chimiques du sol non irrigué :

Tableau 02 : les résultats des analyses du sol non irrigué (témoin)

				Sol non irrigué
pH				6,88
CE	à	25°C	(Dm/s)	1,66
Bilan Ionique (mé/l)	NA+			2,439
	K+			0,753
	CA++			4,737
	MG++			4,493
	CL-			1,291
	SO⁴⁻			10,570
	HCO³⁻			0,933
SAR				1,1
GYPSE				21,92
CALCAIRE				5,52

VI.1.2 L'Analyse granulométrique des sols témoin :

Dans le tableau suivant sont représentés les résultats de l'analyse granulométrique du sol non irrigué

Granulométrie	Sable très grossier	Sable moyen +sable grossier	Sable fin	Limon argile	texture
pourcentage	5,9 %	81.19%	11.93	0,96%	Sableuse

Le sol étudié est d'une granulométrie sableuse avec un pourcentage du sable de presque 100%.

Le taux du Gypse :

Les résultats obtenus montrent que le taux du gypse est 21.92 % et selon (**Barzanji, 1973**) le sol est fortement gypseux.

Calcaire total :

La teneur en calcaire totale dans la zone d'étude du sol non irrigué est de 5.52 % de CaCO_3 ; Selon (**BAIZE 2000**), le sol est modérément calcaire. Selon (**KHADRAOUI, 2004**), dans la cuvette d'Ouargla, aussi bien en surface qu'en profondeur, les sols ne contiennent que de faibles taux de calcaire, car les roches parentales ne sont généralement pas ou peu calcaires.

Classification selon le PH :

Le pH de sol non irrigué est de 6.88, selon (**AUBERT, 1978**) le sol est très légèrement acide.

Classification selon La conductivité électrique CE :

La conductivité électrique du sol témoin est de **1,66** DS/m donc selon la classification d'AUBERT (1978), le sol est salé.

Classification d'irrigation selon SAR :

La valeur du SAR calculée pour l'eau étudiée est de 1,1 elle est <10 et selon ((**U.S.S.L., 1954**)) cette eau est sans aucun danger d'alcalinisation.

Classification selon le Faciès chimique globale :

Les faciès des anions : $\text{SO}_4^{4-} > \text{CL}^- > \text{HCO}_3^-$

Les faciès des cations : $\text{CA}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{NA}^{2+} > \text{K}$

Faciès chimique globale : Sulfaté calcique ;

La projection des résultats des analyses sur le diagramme de piper est donnée par la figure suivante :

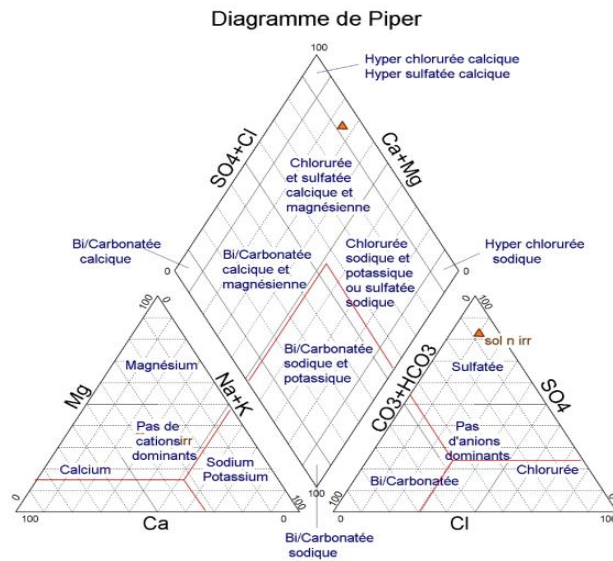


Figure 13 : Diagramme de Piper pour les résultats physico-chimiques du sol témoin.

La projection des résultats des analyses sur le diagramme de **RIVERSIDE** (RICHARD.1954).

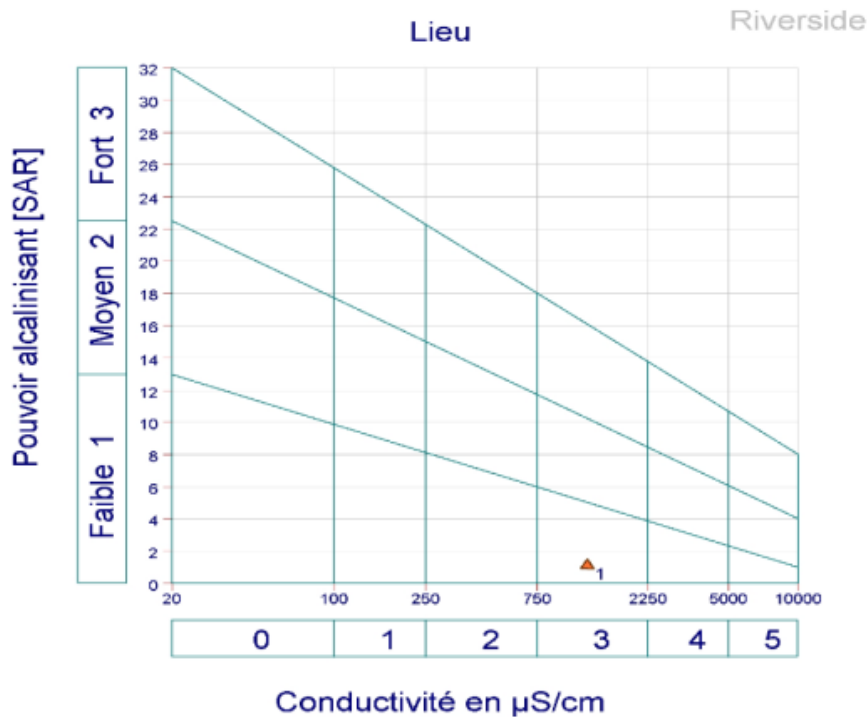


Figure 14 : Représentation sur le diagramme de Riverside de la solution d'extraits 1/5 du sol témoin

La projection sur le diagramme de Riverside (figure précédente) montre que le sol témoin appartient à la classe **C3S1** et de ce fait la solution de sol est très salée.

Tableau 3 : les résultats physico-chimiques moyens du sol irrigué et non irrigué :

		Sol irrigué			Sol non irrigué
		7 jours	45 jours	100 jours	
PH		6.55	9.93	9.95	6.88
CE à 25°		1.66	1.24	1.04	1.66
Bilan ionique mé/L	Na²⁺	1.56	0.53	1.56	2.439
	K⁺	0.63	0.53	0.69	0.753
	Ca²⁺	3.43	3.65	3.14	4.737
	Mg⁺	3.76	1.73	2.35	4.493
	Cl⁻	0.78	1.78	1.77	1.291
	SO⁻⁴	3.64	5.58	5.23	10.570
	HCO³⁻	1.63	1.49	1.40	0.933
SAR		0.84	0.88	0.97	1.1

Faciès chimique globale :

Formule ionique après sept jours d'irrigation :

Le faciès des anions : $SO_4^{2-} > HCO_3^- > Cl^-$

Le faciès des cations : $Mg^{2+} > Ca^{2+} > Na^+ > K^+$

Faciès chimique globale **est Sulfaté magnésique**

Formule ionique après 45 jours d'irrigation :

Les faciès des anions : $SO_4^{2-} > Cl^- > HCO_3^-$

Les faciès des cations : $Ca^{2+} > Mg^{2+} > Na^+ > K^+$

Faciès chimique globale ; **Sulfaté calcique**

Formule ionique après 100 jours d'irrigation

Les faciès des anions : $SO_4^{2-} > Cl^- > HCO_3^-$

Les faciès des cations : $Ca^{2+} > Mg^{2+} > Na^+ > K^+$

Faciès chimique globale ; **Sulfaté calcique**

La projection des résultats des analyses sur le diagramme de piper est donnée par la figure suivante :

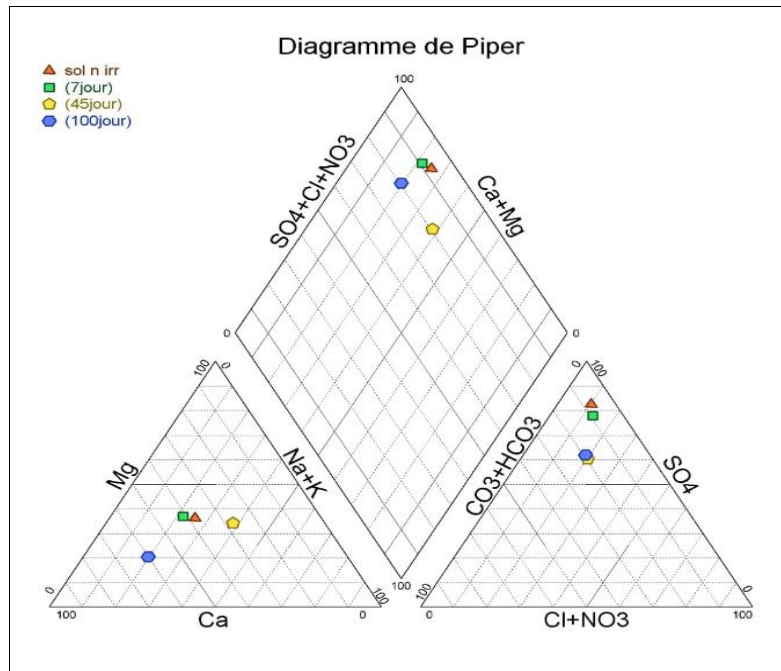


Figure 15 : Diagramme de Piper pour les résultats physico-chimiques du sol Étudié.

Le faciès chimique de l'eau d'irrigation est chloruré magnésique, tandis que le faciès chimique du sol témoin est sulfaté calcique et on constate aucune influence sur le faciès chimique du sol au cours de l'irrigation

Impact de l'irrigation avec les EUE sur le pH eau du sol :

Selon (DAOUD et HALITM 1994), dans les régions arides, les sols sont généralement alcalins, leur pH eau compris entre 7,5 et 8,5. Les sols ont une réaction neutre, acide ou basique. Leurs degrés d'acidité ou de basicité (alcalinité) sont exprimés par le pH (MATHIEU et PIELTAIN, 2009). Dans notre cas, l'analyse des résultats obtenus représentés par les graphiques (Figure9) Sol non irrigués est Neutre, Une très grande augmentation du ph par rapport au sol témoin entre chaque (45jr) ce qui lui approche à un environnement basique.

Pour les sols irrigués par les EUE apes 7jour, on voit une diminution 6.55 Ph Neutre et pour les sols irrigués par les EUE 45jours représente une augmentation 9.93 et Pour les sols irrigués par les EUE 100 jours une jusqu'à 9,95.

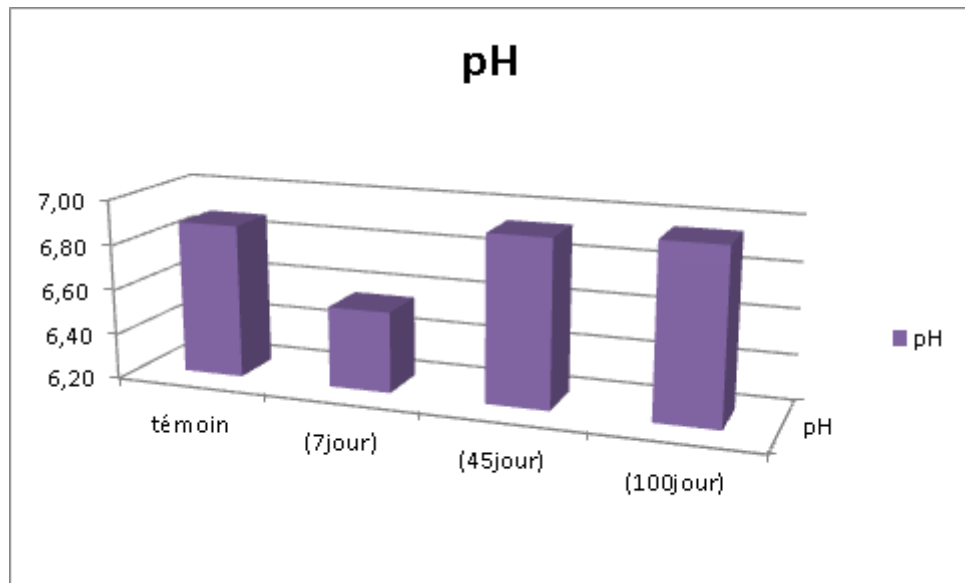


Figure 16 : Variations du PH des solutions d'extraits 1/5 du sol.

L'interprétation :

La conductivité électrique :

Une stabilisation de le débit de conductivité électrique dans les (1^{er} semaines) entre le sol irrigué et le sol témoin .et une diminution de cette dernière par rapport aux jours

Le bilan ionique :

Une forte diminution de la quantité de sulfate par rapport au sol témoin cela vent dire que l'eau usée contient une % de sulfate Solubles l'accumulation des sels en profondeur. L'augmentation de la salinité du sol irrigué par les eaux usées traitées la qualité des EUE chargées en sels. L'effet de la période estivale, essentiellement, l'impact de l'évapotranspiration très intense est bien remarqué sur l'accumulation des sels dans les sols non irrigués. De la forte salinité des eaux usées épurées par le sol irrigués 7jour et 45jour et 100 jour Les doses d'irrigations semblent contribuer au lessivage des sels

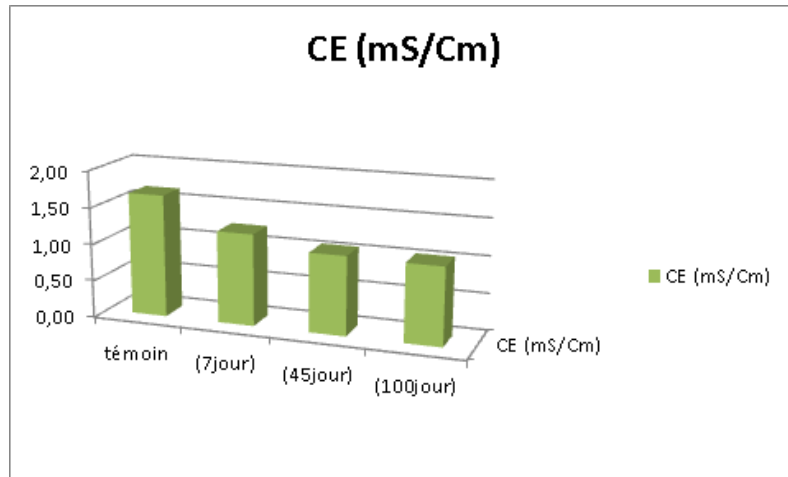


Figure 17 : Variations de la CE moyenne de la solution de sol à la cour du temps

Le SAR :

L’histogramme de la figure représenté le SAR du sol témoin et l’évolution de ce dernier au cours du temps

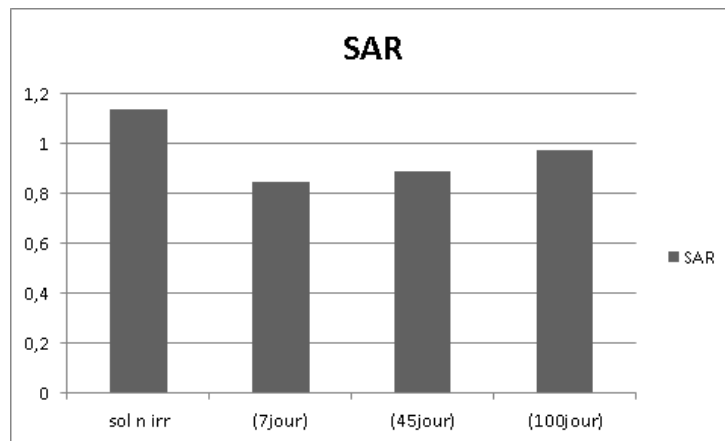


Figure 18 : Evaluation de SAR de la solution du sol au cours de temps.

L’analyse de la figure précédent montre que le SAR du sol témoin est nettement supérieur a celui du sol irrigué.

La projection des résultats des analyses sir le diagramme de **RIVERSIDE (RICHARD.1954)**

Du sol témoin et irrigué sur le diagramme de RIVERSIDE par le Figure suivent montre qu’ils appartiennent a la même classe (C3S1) dont une Salinité très élevée avec absence d’alcalinisation.

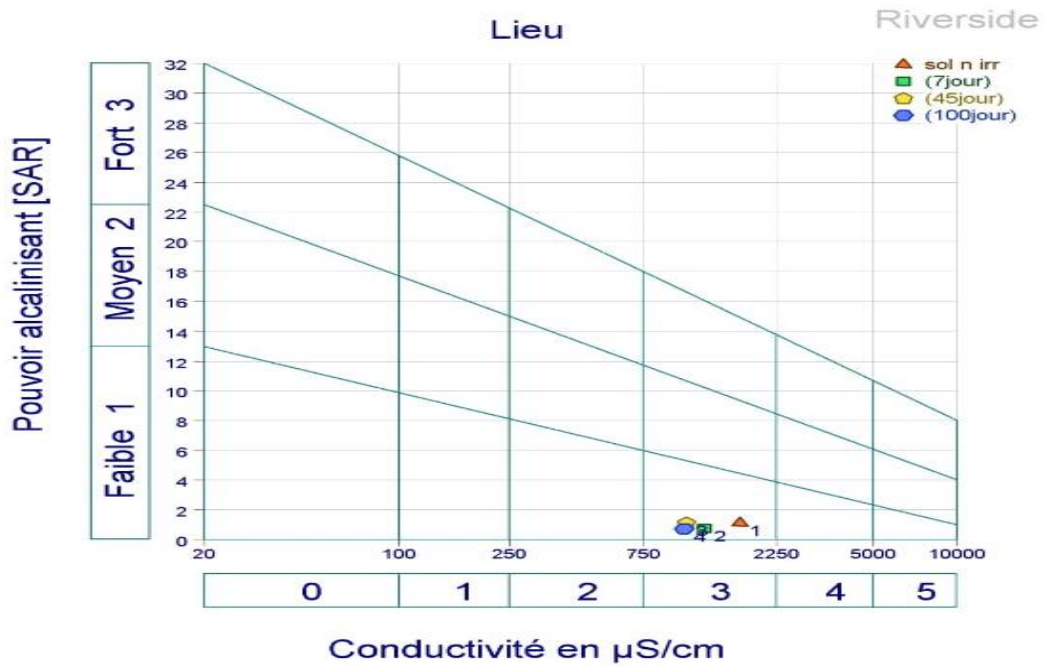


Figure 19 : Représentation sur le diagramme sur le Riverside de la solution d’extraits du sol.

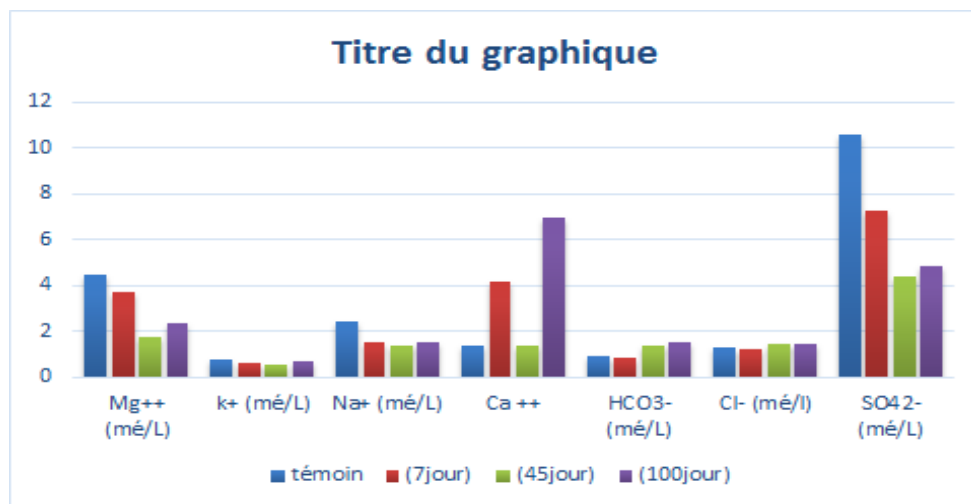


Figure 20 : évolution de l’élément chimique de la solution du sol au cours du temps.

Calcium :

Est un composant majeur de la dureté de l’eau (RODIER et al. 2009) notre résultat dans EUE est inférieur 12.69 mé/l (Tableau10), à celle trouver par (BOUHANNA 2013) 22.16 mé/l, pour l’eau ES 9.36 mé/l. selon BOUTTELI. (2011)

Magnésium :

Est un des éléments les plus répandus dans la nature Le magnésium constitue un élément significatif de la dureté de l'eau (**RODIER et al. 2009** les teneurs dépendent de la composition des roches sédimentaires rencontrées (calcaires dolomitiques, dolomies du Jurassique ou du Trias moyen).

Sodium :

Le sodium est un élément constant de l'eau, toutefois, les concentrations peuvent être extrêmement variables, allant de quelques dizaines jusqu'à quelques centaines de milligrammes (**RODIER et al. 2009**).

Potassium (K⁺) :

Potassium C'est un élément essentiel indispensable pour la nutrition des plantes. D'après (YELI 2009

Chlorure :

D'après (RODIER et al. 2009), Suivant l'irrigation par les eaux riches en chlore, la solution du sol va s'enrichir par cet anion

Sulfate :

Teneurs en sulfates dans les EUE 17.36 mé/l presque similaire a celle trouver par (**BOUHANNA 2013**)

Bicarbonates :

La présence des bicarbonates dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées (calcaire. dolomite. Etc.) Par des eaux chargées en gaz carbonique (**BELHADJ, AISSA 2019**).



CONCLUSION

GENERALE

Conclusion générale

Au terme de ce travail lié à la mise en évidence de l'effet des eaux usées traitées sur le sol dans la région de Hassi Ben Abdallah, une tentative a été faite pour caractériser l'eau de la station de Hassi Ben Abdallah afin de définir l'évolution de la qualité physique et chimique du sol pour la région. .

De cette étude actuelle, nous retiendrons d'abord les caractéristiques différentes de la région de Ouargla. En effet, ce dernier présente un climat désertique chaud de type désertique, caractérisé par des précipitations peu abondantes et erratiques (cumul interannuel < 50 mm), des températures élevées présentant de grandes amplitudes journalières et annuelles, et une faible humidité relative de l'air une évaporation très importante approchant les 3000 mm / âge,

La synthèse des travaux pédologiques réalisés, montre que les sols sont légers à prédominance sableuse et à structure particulière. La fraction minérale est constituée dans sa quasi-totalité de sable. La fraction organique est très faible. Ces sols squelettiques sont très peu fertiles, Car leur rétention en eau est très faible. Ils sont caractérisés par une activité biologique faible, une forte salinité et une bonne aération.

Le pH des eaux usées analysées varié de 7,02. Ces résultats révèlent que le pH des eaux est légèrement neutre et selon les directives de la FAO, ces eaux Peuvent causées des problèmes croissants en les utilisant dans l'irrigation.

L'eau usée appartient à la classe C5 donc la Qualité non utilisable pour l'irrigation La conductivité électrique varié (5.90 DS/m) pour tous les échantillons prélevés dans les Couches de la région d'étude, dépasse les normes des directives de la FAO, et donc elle Présente un problème croissant et grave, si elles sont utilisées pour l'irrigation, Les eaux de Complexe terminal, distribuées entre les classes C4S2, C4S3, C5S2 C5S3,. Selon (**RIVERSIDE**), L'eau usée appartient à la classe C5S2 donc la Qualité très mauvaise a donc ils accusent une très mauvaise qualité et sont déconseillées pour l'irrigation sauf dans des conditions exceptionnelles, En fin dans le souci de préserver l'environnement hydro-édaphique de la région de Ouargla il est impératif de prendre les mesures suivantes :

Se diriger vers les eaux non conventionnelles (eaux usées épurées) si ces dernières présentent une qualité plus intéressante en matière d'irrigation,



ANNEXES



Photomètre à
Flamme (**JENWAY PFP**)



Agitateur



Centrifugeuse



Préparation
L'extrait de du sol 1/5



Bain marin



**Appareil de
mesure PH/CE**



Etuve

Classes de salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait aqueux 1/5 à 25 °C
(MATHIEU et PIELTAIN, 2009)

CE _{e 1:5} à 25 °C	Classe de salinité
CE _{e 1:5} ≤ 0,6	Non salé
0,6 < CE _{e 1:5} ≤ 1	Légèrement salé
1 < CE _{e 1:5} ≤ 2	Salé
2 < CE _{e 1:5} ≤ 4	Très salé
CE _{e 1:5} > 4	Extrêmement salé

Classe des sols gypseux (Barzani, 1973)

Gypse	Nom de classe
0-3	Non gypseux
0.3-10	Légèrement gypseux
10-15	Modèrent gypseux
15-25	Extrèmement gypseux



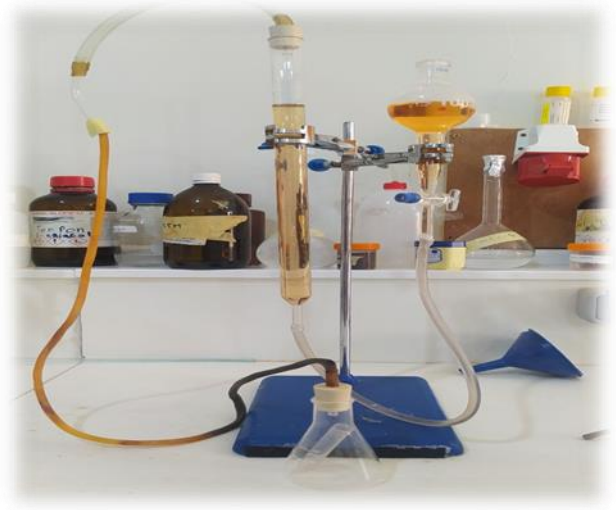
Lagune d'aération de premier



Bassins d'aération



vibreux de tamisage



Calciemètre de BERENDE

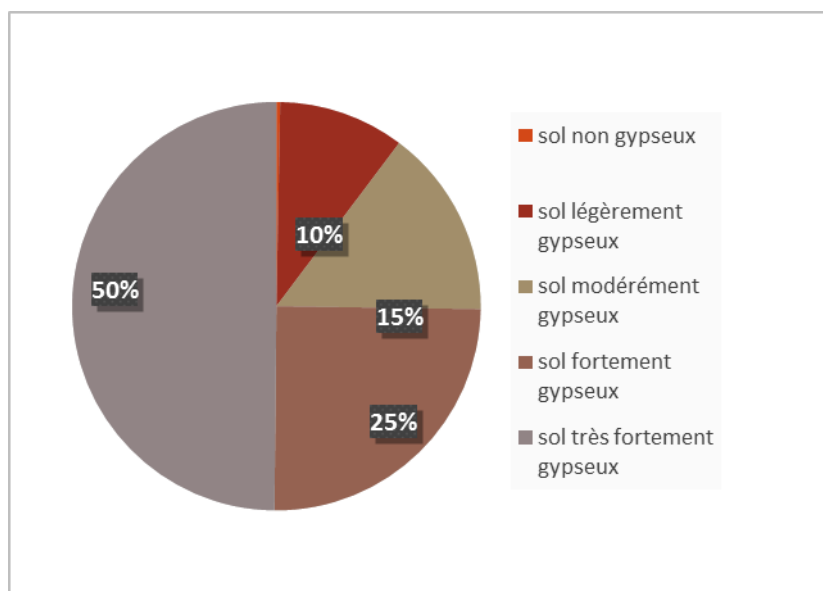


Prélèvement du sol

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

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

Figure 21 : La norme d'interprétation du gypse



Classes de salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait aqueux 1/5 à 25 °C (MATHIEU et PIELTAIN,

Tableau : PARAMETRES MICROBIOLOGIQUES :

GROUPES DE CULTURES	PARAMETRES MICROBIOLOGIQUES	
	Coliformes fécaux (CFU/100ml) (moyenne géométrique)	Nématodes intestinaux (œufs/l) (moyenne arithmétique)
Irrigation non restrictive. Culture de produits pouvant être consommés crus.	<100	Absence
Légumes qui ne sont consommés que cuits. Légumes destinés à la conserverie ou à la transformation non alimentaire.	<250	<0,1
Arbres fruitiers (1). Cultures et arbustes fourragers (2). Cultures céréalières. Cultures industrielles (3). Arbres forestiers. Plantes florales et ornementales (4).	Seuil recommandé <1000	<1
Cultures du groupe précédent (CFU/100ml) utilisant l'irrigation localisée (5) (6).	pas de norme recommandée	pas de norme recommandée

Tableau : LISTE DES CULTURES POUVANT ETRE IRRIGUEES AVEC DES EAUX USEES EPUREES .

Groupes de cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées	Liste des cultures
Arbres fruitiers (1)	Dattiers, vigne, pomme, pêche, poire, abricot, nêfle, cerise, prune, nectarine, grenade, figue, rhubarbe, arachides, noix, olive.
Agrumes	Pamplemousse, citron, orange, mandarine, tangerine, lime, clémentine.
Cultures fourragères (2)	Bersim, maïs, sorgho fourragers, vesce et luzerne.
Culture industrielles	Tomate industrielle, haricot à rames, petit pois à rames, betterave sucrière, coton, tabac, lin.
Cultures céréalières	Blé, orge, triticales et avoine.
Cultures de production de semences	Pomme de terre, haricot et petit pois.
Arbustes fourragers	Acacia et atriplex.
Plantes florales à sécher ou à usage industriel	Rosier, iris, jasmin, marjolaine et romarin.



REFERENCE
BIBLIOGRAPHIQUE

Références bibliographique :

- (cuvette d'Ouargla). Approches micro morphologique, géochimique, minéralogique et (Ed.), Conclusion et recommandation UNESCO, Algérie, Tunisie,
- (GIRARD *et al.*, 2005):** GIRARD P. , PROST J. , BASSEREAU P. , 2005 : Passive or Active Fluctuations in Membranes Containing Proteins Phys . Rev. Lett . 94 , 088102 (Touggourt). Bull, Agr, Saha,
- A.N.R.H., 2010.** L'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques de la Wilaya de Ouargla : Rapports techniques.
Alger,
algériennes. Thèse Doctorat, Univ-François Rabelais,
algériennes. Thèse Doctorat, Univ-François Rabelais, Tours,
- ARAGUES R., 1983.** - The quality and availability of water used in irrigation
- ASLOUM H. , 1990.** Elaboration d'un système de production maraîchère (Tomate , *Lycopersicum esculentum* L.) en culture hors sol pour les régions sahariennes . Utilisation de substrats sableux et d'eaux saumâtres . Thèse de doctorat , développement et amélioration des végétaux , Université de Nice Sophia- Antipolis
- Ayers R.S et Westcot D.W, (1988)** : La qualité de l'eau en irrigation. Bulletin de la FAO d'irrigation et de drainage.29Rév
- AYERS R.S., WESTCOT D.W., 1988.**-La qualité de l'eau en agriculture. Bulletin
- AZIB S., 2010.**- Gestion des périmètres agricoles au niveau de la zone de mise en valeur de Hassi Ben Abdallah. Mémoire Magistère, Université KasdiMerbah- Ouargla,
- BENAISSA A., 2016.**-Impact de la qualité des eaux des forages Albién et Mi pliocène sur certains paramètres physico-chimiques du sol dans la zone de Hassi Ben Abdallah (Wilaya de Ouargla). Mémoire de Master, université kasdiMerbah-Ouargla,
- BONNARD et GARDEL, 2002.** Vallée de Ouargla. Etude d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation. Mesures complémentaires de lutte contre la

remontée de la nappe phréatique. Volet d'étude d'impact sur l'environnement. Mission IIIA: Collecte et analyse des données. Lausanne,

BONNARD et GARDEL. 2003. Vallée d'Ouargla. Etudes d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation. Mesures de lutte contre la remontée de la nappe phréatique. Lausanne, p 42.

CALLOT G., CHAMAYOU H., MAERTENS C., SALSAC L., 1982.-Les

CHERBUY ; 1991. Les sols salés et leur réhabilitation Etude bibliographique

Clement R. et Galand A. (1979). Irrigation par aspersion et réseaux collectifs de distribution souspression. Ed. Eyrolles 1979.

CÔTE M., 1998.- Des oasis malades de trop d'eau? Sécheresse,

COUTURE I ., 2004 in HATI S , SALHI S ., 2012 : Analyse et caractérisation du système (irrigation-drainage) de l'exploitation de l'université de Ouargla et recommandations de réhabilitation..

DADDI BOUHOUN M., 2010.- Contribution à l'étude de l'impact de la nappe phréatique et des accumulations gypso-salines sur l'enracinement et la nutrition du palmier dattier dans la cuvette de Ouargla (Sud Est algérien).Thèse de Doctorat, Université BADJI Mokhtar, Annaba.

DAJOZ, 1982: Précis d'écologie. Ecologie fondamentale et appliquée Ed. Gauthier-Villiers paris. 503 P

DAOUD Y., HALITIM O., 1994.- Irrigation et salinisation au Sahara algérien.

de l'oasis de Ouargla (Sahara algérien). Une analyse des perspectives de développement. Aix-Marseille Université

DERDOUR H., 1981.- Contribution à l'étude de l'influence du taux de sodium

DJERBI M., 1994.- Précis de phéniciculture. F.A.O, Rome, Doctorat.

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

DUBOST D., 1991.- Ecologie, aménagement et développement agricole des oasis algériennes. Thèse Doctorat, Univ-François Rabelais, Tours,

DUBOST D., 1991.- Ecologie, aménagement et développement agricole des oasis

DUBOST D., 1991.- Ecologie, aménagement et développement agricole des oasis

DUBOST D., HADDAD D., KAFI A., MAANE H., 1983.-Rapport préliminaire sur

DUCHAUFOR P. , 1977 . Pédologie .Tome 1 , Ed .Masson , Paris ,

DURAND J.H ., 1983 in SALHI S et HATI S ., 2012 : Analyse et caractérisation du système (irrigation-drainage) de l'exploitation de l'université de Ouargla et recommandations de réhabilitation .

DURAND J.H., 1958.- Les sols irrigables. Etude pédologique, Impr, Imbert,

DUTIL P., 1971.- Contribution à l'étude des sols et des paléosols de Sahara. Thèse

DUTIL P., 1971.- Contribution à l'étude des sols et des paléosols de Sahara. Thèse

Échangeable sur le comportement des sols au compactage. Thèse Magister, I.N.A, Alger,

F. A.O ., 1988 : Food and Agriculture organisation Production et exportation des dates en Algérie . Food and agriculture organisation, [http : www. fao org](http://www.fao.org) consulté

Faby JA., Brissaud F, 1997. L'utilisation des eaux usées épurées en irrigation, Office International de l'Eau, France

FAO d'irrigation et de drainage,

HAMDI AISSA B., 2001.- Le fonctionnement actuel et passé de sols du Nord Sahara

HAMDI AISSA B., 2001. Le fonctionnement actuel et passé de sols du Nord Sahara (cuvette d'Ouargla), approches macromorphologique, géochimique, minéralogique et organisation spatiale. Thèse de doctorat, paris,

HISCOCK K.M., LLOYD J.W., LERNER D.N., 1991.- Review of natural and artificiel de nitrification of groundwater, Wat. Res,

HORNEY R.D., TAYLOR B, MUNK D.S., ROBERTS B.A., LESCH S.M.,

hydraulicconductivity. Soil Sci, Soc, Am, Proc, **ISRAELSEN O.W, HANSEN V, 1965.-**Traité pratique de l'irrigation.

Interactions sol racine, incidence sur la nutrition minérale. I.N.R.A, Paris,

KEREN R. (2000), Salinity. In: Sumer M.E. (Ed). Handbook of Soil Science. CRC Press, NY, USA, pp G3-G25

**KHADROUI A..2007 Sols et hydraulique agricole dans les oasis algériennes
caractérisation d'aménagement**

L'environnement. Cah. Agr, l'Oued Righ et leurs conséquences sur la dégradation des palmeraies. Problèmes posés et les essais d'irrigation localisée du palmier dattier à la station expérimentale de Sidi Mahdi

LONGENECKER D.E., 1959.- Influence of soluble anions on somme physical and

MCNEAL B.L., 1968.-Prediction of the affects of mixed-salt solutions on soil

MERMOUD A, 2006. Cours physique du sol. Maitrise de la salinité des sols, pp1-14

MERMOUD A. , 2006 – Cours de physique du sol : Maîtrise de la salinité des sols .
Ecole polytechnique fédérale de Lausanne,

MUNIER P., 1974.- Le problème de l'origine du palmier dattier et l'Atlantide. Fruits,

Organisation spatiale, Thèse doc, I.N.A-P.G, perspectives de développement. Thèse de Doctorat, Université Louis Pasteur, Strasbourg, physicochemical properties of soils. SoilSci,

PLANT R.E., 2005.- Development of practical site-specific management methods for reclaiming saltaffected soil. Computers and Electronics in Agriculture,

Richards, L.A. (1954). Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. USDA AgriculturalHandbook 60, Washington,

ROBERT M. , 1996. Le sol interface pour l'environnement, ressource pour le développement. Masson , Paris

ROBERT M., 1992.- Le sol, une ressource naturelle à préserver pour la production et

SAKER M.L., 2000.- Les contraintes du patrimoine phoenicicole de la région de

SALHI 2007. Transformations spatiales et dynamiques socio-environnementales

SALHI A., 2017.- Transformations spatiales et dynamiques socio-environnementales de l'oasis d'Ouargla (Sahara algérien). Une analyse des perspectives de développement. Thèse de Doctorat en Géographie l'université Aix-Marseille. Sécheresse, V 5. N° 3, p151 – 160.

SERVANT , J. , 1975. Contribution à l'étude pédologique des terrains halomorphes. L'exemple des sols salés du sud et du sud - ouest de la France. Thèse de Doct Sc nat , ENSA , Francesystems. Proc.17 th coll. Int. Potash Institued Bern, CRIDA, Zaragoza,

SZABOLCS I., 1986.-Agronomical and ecological impact of irrigation on soil and

U .S.S.L ., 1954 in TERCHI ., 2014 : Etude de l'impact de la qualité des eaux d'irrigation sur la fertilité du sol , la plante et le rendement des systèmes d'irrigation . Mémoire de Master en hydraulique.

UNESCO, 1972. - Etude des ressources en eau du Sahara Septentrional. In : UNESCO
Water salinity. Advances in Soil Scienc