Université KASDI Merbah – Ouargla

Faculté Des Sciences De La Nature Et De La Vie

Département Des Sciences Agronomiques

Mémoire

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences agronomiques

Spécialité : Gestion des Agrosystèmes

Présenté par :

Mr. LAHRECHE ABDELBASSET ABD LESSEMED

Melle. BEKKOUCHE YOUSRA

Thème

Impact de l'irrigation par les eaux usées épurées et souterraines sur la salinité des sols à Hassi Ben Abdallah

Soutenu publiquement

Le :22 06/2022

Devant le jury composé de :

M^{me} LAMRANI CHERIFA	Encadreur	MAA	U.K.M. Ouargla
M.DADDI BOUHOUN Mustapha	President	Professeur	U.K.M. Ouargla
M. LADJICI ABDELKADER	Examinateur	MAA	U.K.M. Ouargla

Année Universitaire : 2021 / 2022

Dédicace

Je rends grâce à dieu et dédie ce modeste travail à tous ce qui sont proches spécialement

*A ma chère **mère** qui a éclairé mon chemin et qui ma encouragé et soutenue ainsi*

*A mon cher **père** qui m'a offert tout ce que j'ai besoin toute au long de mes études*

*A mon cher frére **abd el Raouf***

*A ma chère petite sœur **Dounia***

*A toute mes **cousines** et mes **cousins***

*A toute la famille **Bekkouche** et **Merzougui***

*A tous mes amis **Tasnim khaira Rim Iman Sabrina Fadoua Chaima Melissa** sont oublier **Rima***

Yousra Bekkouche

Dédicace

Je dédie ce modeste travail
à ceux que j'aime et ceux qui m'aiment,
À ma précieuse **mère**, qui a tout sacrifié pour moi,
À mon **père** qui ne connaît pas le désespoir pour moi.
À ma grand-mère : KENNOUCHE FATIHA
Et mon grand-père : AHMED.
A leur aide à affronter les difficultés, durant toute ma vie.
À mes frères : **HOCINE, MOTAZ BELLAH** et à ma chère sœur : SAFA. À l'honorable famille,
À mon cher ami : **BIBO et Hamouche** pour son soutien inconditionnel et son
Encouragement. A travers ce modeste travail j'exprime mes sincères remerciements
À tous mes camarades De toutes les spécialités du domaine GDA **majdou** et collèges du mémoire **YOUSRA, Tasnim, khaira, Chaïma et Mélissa**
À toute personne qui a contribuée de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire

ABDELBASSET ABD LESSEMED

Remerciements

Nous tenons à remercier en premier lieu Dieu le Tout Puissant de nous avoir donné le courage et santé pour achever ce travail.

Nous tenons à remercier particulièrement ***MADAME LAMRANI C*** *pour avoir encadré patiemment ce travail, pour ces précieuses remarques constructives et son suivi pour mener à terme ce travail.*

Que nos vifs remerciements aillent à ***MONSIEUR DADDI BOUHOUN****, M qui nous a fait l'honneur de présider ce travail, à* ***MONSIEUR LADJICI A****., pour avoir acceptés d'examiner ce travail*

Nous remercions tous les travailleurs des laboratoires pédagogiques de la faculté des sciences de la nature et de la vie et des sciences de la terre sur tout le laboratoire de géologie ***MONSIEUR OMAR GAJA*** *pour leur aide, et tous les travailleurs de* ***CREPC*** *pour leur aide. Sans oublier toutes les personnes de l'exploitation agricole de l'université d'Ouargla (ITAS).*

A tous les enseignants du département de science agronomique et biologique qui nous ont permis d'acquérir le savoir durant notre cursus universitaire.

Enfin nous remercient toutes les personnes qui nous à aidés, de près ou de loin

LAHRCHE -BEKKOUCHE

Liste des abréviations

A.N.R.H. : Agence National des Ressources Hydriques

CI : continental intercalaire.

CT : complexe terminal.

DBO : demande biochimique en oxygène

DCO : demande chimique en oxygène

D.S.A. : Direction des services agricoles

EUE : eau usée épurée

EUT : eaux usées traitées

FAO : organisation pour l'alimentation et l'agriculture

MES : matières en suspension

mé/l : Milliéquivalent/litre

mg/l : milligramme/liter

ONA : Office nationale d'assainissement

O.N.M : Office Nationale de Météorologie.

STEP : station d'épuration

SAR : sodium adsorption Ratio

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

Liste des Tableaux

N°	Titre	pages

Tableau 1 : Données climatiques de la région d'Ouargla. Période 1996-2021 **.....4**

Tableau 2 : Classification des eaux d'irrigation proposée par (USDA)**.....14**

Tableau 3: Classification des eaux d'irrigation selon le danger d'alcalinisation des sols **15**

Tableau 4: Les directives de la FAO pour l'interprétation de la qualité d'une eau d'irrigation. **.....16**

Tableau 5 : Résultats des analyses physico-chimiques des forages étudiés (mai 2022)**.....20**

Tableau 6: Les faciès chimiques des forages étudiés**.....21**

Tableau 7: Limites recommandées en éléments traces (mgL-1) dans les eaux usées épurées destinées à l'irrigation **.....29**

Tableau 8: les critères de la qualité de l'eau pour l'irrigation **.....29**

Tableau 9: *Classes de salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait aqueux1/5 à 25C*.....**35**

Tableau 10: Dates d'irrigation pendant la période de l'expérimentation**.....47**

Tableau 11: Résultats des analyses d'eau souterraine et de l'eau usée épuré **.....56**

Tableau 12: Résultats moyens des analyses physico-chimiques du sol non irrigué**.....60**

Tableau 13 : Résultat des analyses physicochimiques du sol irrigué par l'eau usée épuré**.....63**

Tableau 14 : Résultat des analyses de sol irrigué par l'eau souterraine**.....67**

Liste des figures

N°	Titre	pages

Figure 1 : Carte de situation de la région d'Ouargla **3**

Figure 2 :Diagramme ombrothermique de la cuvette de Ouargla (période 1996/2021).....**6**

Figure 3: Climagramme d'Emberger pour la station de Ouargla période (1997-2017). **7**

Figure 4: Relief de la région d'Ouargla (BG, 2004) **8**

Figure 5: Diagramme de RIVERSIDE (RICHARDS, 1954) **17**

Figure 6 : Diagramme de Piper pour la nappe Mio-pliocène et L'Albien et Sénonien.....**22**

Figure 7: Diagramme de Riverside pour les forages étudiés.....**23**

Figure 8 : Situation géographique de la STEP de sidi Khouiled (GOOGLE.2022) **26**

Figure 9: Schéma générale de la station d'épuration de Ouargla **26**

Figure 10: Situation géographique du site expérimental (Google Earth2021) **39**

Figure 11: Situation géographique du site expérimental (GOOGLE EARTH2021) **40**

Figure 12 : Approche méthodologique d'étude **42**

Figure 13 : Projection sur le diagramme de Piper des résultats chimiques des eau étudiées. **.57**

Figure 14: Classification des eaux d'irrigation (U.S.S.L, 1954).....**58**

Figure 15 : Triangle textural de la classification physique du sol.....**61**

Figure 16 : Faciès chimique de la solution du l'extrait du sol 1/5 non irrigué **62**

Figure 17: Variations temporelles du PH des eaux d'irrigation EUE **63**

Figure 18 : Faciès chimique de la solution de l'extrait 1/5 du sol irrigué par EUE.....**64**

Figure 19: Teneurs moyens en cations solubles irrigués EUE dans sols étudiés.....**65**

Figure 20: Teneurs moyens en anions solubles irrigués EUE dans sols étudiés **65**

Figure 21: Variations temporelles du PH des eaux d'irrigation EUE **66**

Figure 22 : Variations temporelles du PH des eaux souterraines **67**

Figure 23 : Faciès géochimique de la solution du l'extrait 1/5 du sol irrigué par ES **68**

Figure 24 : Teneurs moyens en cations solubles irrigués par ES sur sols étudiés **69**

Figure 25 : Teneurs moyens en anions solubles irrigués par ES dans sols étudié **69**

Figure 26 : Variations temporelles du PH des eaux souterraines **70**

Liste des Photos

N°	Titre	pages

Photo 1: Des prétraitement.....**27**

Photo 2 : Les bassins de traitement biologique **28**

Photo 3 : Secteur de l'exploitation de I.T.A.S (GOOGLE EARTH 2022).....**41**

Photo 4: localisation de dispositif expérimentale dans le secteur A1 l'exploitation.....**41**

Photo 5 : colonnes des monolithes (2021) **43**

Photo 6 : Fixation des colonnes des monolithes **44**

Photo 7: dispositif expérimental. **45**

Photo 8: Echantillonnage du sol non irrigué **48**

Photo 9: Prélèvement du sol (2021) **48**

Photo 10: Prélèvement de l'eau souterraine.....**49**

Photo 11: Prélèvement d'eau usée épurée **49**

Photo 12 : Spectrophotomètre à flamme.....**51**

Photo 13: Titrino plus 848 (2022) **52**

Photo 14: multi paramètre type HI9829 .....**53**

Photo 15 : DBO type BD 600 (2022) **54**

Photo 16 : Spectrophotomètre.....**54**

Liste des annexes

Annexe 1: Tableau forages étudiés dans la région d'Ouargla

Annexe 2 : Directives de la F.A.O. (1974) concernant la qualité physicochimique des eaux destinées à l'irrigation (TAMRABET, 2011).

Annexe 3 : Echelle de calcaire totale (Baize, 2000)

Annexe 4 : classe des sols gypseux (Barzanji, 1973)

Annexe 5 : résultat d'analyse physique et chimique de l'eau usée épuré

Annexe 6 : résultat d'analyse physique et chimique de l'eau souterraine

Annexe 7 : le protocole d'analyse chimique et physique

Table des matières

Introduction générale **1**

Partie I : Synthèse bibliographique

Chapitre I : Cadre général de l'étude **3**

I.1. Présentation de la Région de Ouargla 3

I.1.1. Localisation géographique 3

I.1.2. Contexte climatique *3*

I.1.2.1. Les températures. *5*

I.1.2.3. L'évapotranspiration *5*

I.1.2.4 Humidité relative *5*

I.1.2.5 Vent *5*

I.1.2.6 Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN *5*

I.1.2.7 Climagramme d'EMBERGER *6*

I.1.3. Contexte hydrologique. *7*

I.1.4. Contexte géologique *8*

I.1.5. Contextes pédologiques *9*

I.1.6. Contextes hydrogéologiques *9*

I.1.5.1. Les systèmes aquifères dans la région de Ouargla *10*

I.1.5. 2. Caractéristiques Lithologiques *11*

Chapitre II : Généralités sur les eaux d'irrigation **13**

II.1Evaluation de la qualité des eaux d'irrigation 13

II.1.1 Les critères d'évaluation d'une qualité d'eau d'irrigation *13*

II.1.1.1 Classification basée sur la salinité 13

II.1.1.2 Classification basée sur le SAR : 14

II.1.2 Méthodes d'évaluation de la qualité des eaux d'irrigation *15*

II.1.2.1 Le tableau des directives de la FAO 15

II.1.4. Le Diagramme de RIVERSIDE (1954) *16*

II.2 Origines des eaux d'irrigation 17

II.2.1 Eaux de surface *18*

II-2-2 Eaux souterraines *18*

II.2.3 Eaux non conventionnelles *18*

II. 3 Origine de l'eau d'irrigation dans la région de Ouargla 19
II.3.1Caractérisation des eaux souterraines dans la zone d'étude 19
II.3.1.1 Collecte des données relatives à la qualité des eaux souterraines dans la cuvette de Ouargla 19
II.3.2.1 Caractéristiques physiques des eaux 20
II.3.2.1.1PH 20
II.3.2.1.2 La conductivité électrique 20
II-3-2-2 Faciès chimiques 21
II-3-2-2-1 Formules caractéristiques 21
II.3.2.2.2 Diagramme de piper 21
II.3.2.2.3 Aptitude des eaux à l'irrigation 22
II.3.2.2.3 Aptitude à l'irrigation selon SAR et CE à 25°C 23
II.4 La réutilisation des eaux usées épurées en agricultures. 23
II.4.1. Les stations d'épurations des eaux usées 24
II.4.1.1 Étapes de traitement des eaux usées 24
II.4.2 Présentation de la Station d'épuration de Sidi Khouiled 25
II.4.2.1 Description de la station d'épuration 26
II.4.2.2 Étapes de traitement 27
II.4.2.2.1 Des prétraitement 27
II.4.2.2.2 Lits de séchage 27
II.4.2.2.3 Le traitement biologique (secondaire) 28
II.4. 3 Critères de qualité des eaux usées pour l'irrigation 28
II.4.3 Situation de la réutilisation des eaux usées dans l'agriculture en Algérie 30

Chapitre III : Caractérisation et dégradation des sols dans la région d'Ouargla 31

Introduction *31*
III.1 Généralités sur la salinisation des sols irriguées 31
III.1.1 Salinité et salinisation 31
III.1.1.1 Définition de la salinisation 31
III.1.1.2 Définition de la salinité 31
III.1.1.3 Définition des sols salés (sols halomorphes) 32
III.1.1.4 Genèse de conditions salines et /ou sodique 32
III.1.1.5 Facteurs intervenant dans le processus de la salinisation 33
III.1.1.6 Types de la salinisation *33*

III.1.1.6.1 Salinisation primaire ou naturelle 33
III.1.1.6.2 Salinisation secondaire 33
III.1.1 .7 Conditions climatiques de la salure 33
III.1.1.8 Classification des sols salés 34
III.1.1.8.1 Sols à complexe sodique ou sols alcalins 34
III.1.1.8.2 Sols salins à complexe calcique 34
III.1.1.9 Caractères des sels 34
III.1.1.9.1. Solubilité des sels 34
III.1.1.9.2. Mobilité des sels 35
III.1.1.10 Mesures de la salinité 35
III.1.1.10.1 La conductivité électrique 35
III.1.1.10.2 Sels totaux dissous 35
III.1.1.11 Répartition et importance des sols salés 36
III.1.1.12 Mise en valeur des sols salés 36
III.2 Caractérisation des sols dans la région d'Ouargla 36
III.2.1 Classifications pédologiques 36
III.2.2 Cause de la dégradation des sols 37
III.2.2.1 Remontée de la nappe phréatique 37
III.2.2.2 Salinisation des sols 37
III.2.3 Conséquence de la dégradation de sol 38
III.2.3.1 Effets de la nappe phréatique 38
III.2.3.2 Effets de la salinisation 38

Etude expérimentale

Chapitre IV : Matériel et méthodes 39

IV.1 Matériel d'étude 39
IV.1.1 Choix de la zone d'étude 39
IV.1.1.1 Site de prélèvement 39
IV.1. 2 Choix de la station d'installation des colonnes du sol 40
IV.1.2.1 L'exploitation agricole de l'université de Ouargla (I.T.A.S) 40
IV1.2.1.2 Site d'installation des colonnes du sol 41
IV. 1.3 Approche méthodologique 41
IV.2 Protocol expérimental *43*

IV.2.2.1 Prélèvement des monolithes du sol et leur installation 43
IV.2.2.2 Dispositif expérimental *43*
IV.2.2.2 Irrigation des monolithes.....*44*
IV.2.2.2.2 Pilotage de l'irrigation.....*46*
IV.2.3 Echantillonnage du sol et des eaux.....*47*
IV.2.3.1 Echantillonnage du sol.....*47*
IV.2.3.1.1 Echantillonnage du sol non irrigué 47
IV.2.3.1.1 Echantillonnage du Sol après chaque période d'irrigation.....48
IV.2.3.2 Échantillonnage de l'eau.....*49*
IV.2.4 Méthodes d'analyse des eaux et des sols.....*50*
IV.2.4.1 Méthodes d'analyse des eaux 50
IV.2.4.1 .1 PH 50
IV.2. 4.1.2 Conductivité Électriques 51
IV.2.4.1. 3 Dosage des cations. 51
IV.2.4.1.4 Dosage des anions.....52
IV.2.4.1 .5 Oxygène dessousO2 (l'eau usées épurée) 53
IV.2.4.1.6 La demande biochimique en oxygène (DBO5) 53
IV 2.4.1.7 Demande chimique en oxygène (DCO) 54
IV 2.5 MÉTHODES ANALYSES DU SOL 55
IV.2 .5.1 Les analyses physiques de sol.....*55*
IV.2 .5 .1.1 Granulométrie.....55
IV.2.5 .1.2 Calcaire.....55
IV.2.5 .1 .3Humidité.....55
IV.2.5.1 .4 Gypse.....55
IV.2.5.2 Analyses physico-chimiques de (sol non irrigué et irrigué) *55*
IV.2.5.2.1 Préparation des extraits 56
IV.2.5.2.2PH 56
IV.2.5.2.3 Conductivité électrique CE 56
IV.2.5.2.4 Dosage des sels solubles (cations).....56
IV.2.5.2.5 Dosage des sels solubles (anions).....56

Chapitre V : Résultats et discussion 56

V. *Caractérisation hydro édaphique* 56
V.1 Caractérisation et classification des eaux d'irrigation.....*56*

V.1.1 Caractérisation de la qualité des eaux d'irrigation.....*56*
V. 1.1.1 Potentiel d'hydrogène des eaux 57
V.1.1.2 Faciès chimique 57
V.1. 1.3 Aptitude des eaux à l'irrigation 58
V. 1.1.4 Paramètres de pollution de l'eau usée épurée.....59
V .1.1.4.1 La demande biochimique en oxygène (DBO5) et (DCO).....59
V.2 Caractérisation des sols de la zone d'étude.....60
V.2.1 Caractéristique physico-chimiques du sol non irrigué.....60
V.2.1.1 Granulométries.....60
V.2.1.2 Calcaire.....61
V.2.1.3 Gypse.....61
V.2.1.4 PH.....61
V.2.2 Classification du *sol non irrigué*.....*61*
V.2.1 Diagramme de piper.....61
V.3 Impacte des eaux d'irrigation sur le sol 62
V.3 Impact des eaux d'irrigation par les EUE sur le sol 62
V.3.1 Impact de l'irrigation avec les EUE sur le pH eau du sol 63
V.3.2 Classification du sol irrigué par EUE 64
V .3.2.1 Diagramme de piper.....64
V.3.3 caractéristiques du la solution du l'extrait du sol irrigué par EUE.....66
V.3.3.1Selon la CE 66
V.3.3.2Selon SAR 66
V.4 Impact de l'irrigation avec les ES sur sol.....66
V.4.1 Impact de l'irrigation avec les ES sur le pH eau du sol 67
V.4.2 Classification du sol irrigué *par ES*.....*68*
V.4.2.1 Diagramme de piper.....68
*V.4.*3 caractéristiques du la solution du l'extrait du sol irrigué par ES *70*
V.4.3.1Selon la CE 70
V.4.3.2 Selon SAR 70
Conclusion générale.....71
Références Bibliographiques.....72
Annex.....71

Résumé

L'objectif de ce travail est l'étude de l'impact de l'irrigation par les eaux usées épurées et les eaux souterraines sur la salinité et le SAR des sols dans la région de Ouargla. Pour atteindre cet objectif la méthodologie adoptée consiste en un suivi des caractéristiques des monolithes d'un sol irrigué avec les deux types d'eau précédemment citée et la comparaison des résultats à un état initial du sol non irrigué. Les résultats des analyses du sol témoin ont montré qu'il s'agit d'un sol sableux, avec 99 % de fraction sableuse, la conductivité électrique de ce sol témoin est au voisinage de 1,98 mS/cm donc un sol initialement salé. Le pH de l'extrait 1/5 du sol est de6,79 ce qui fait que le sol est très légèrement acide. les analyses physico-chimiques ont montré que le sol est fortement gypseux (27.64 %°) tandis qu'il est modérément calcaire. Le faciès chimique du sol est Sulfaté calcique. Le SAR calculé de l'extrait 1/5 du sol montre que le sol est non alcalin. L'analyse de la figure 14, montre que : L'eau souterraine appartient à la classe **C4S2** dont une eau d'une qualité très mauvaise à n'utilisé que pour des sols très légers et bien drainés et pour des plantes résistantes avec nécessité d'utilisation des doses de lessivage. L'eau usée épurée appartient à la classe **C4S3** dont une eau d'une qualité très mauvaise à n'utilisé que dans des circonstances exceptionnelles

Le suivi des résultats des analyses physicochimiques du sol irrigué pour le court, le moyen et le long terme a montré dans l'ensemble une amélioration dans la salinité du sol, et une baisse du SAR. La nature très sableuse du sol et le pouvoir adsorbant très faible ont fait que l'influence de cette eau d'irrigation sur le sol est minime.

Mots clés : Ouargla, irrigation, eau souterraine, eau usée, salinité.

Summary

The objective of this work is to study the impact of irrigation by treated wastewater and groundwater on the salinity and SAR of soils in the region of Ouargla. To achieve this objective, the methodology adopted consists of monitoring the characteristics of the monoliths of an irrigated soil with the two types of water mentioned above and comparing the results with an initial state of the non-irrigated soil. The results of the control soil analyzes showed that it is sandy soil, with 99% sandy fraction, the electrical conductivity of this control soil is in the vicinity of 1.98 mS/cm, therefore an initially salty soil . The pH of the 1/5 soil extract is 6.79 which makes the soil very slightly acidic. physico-chemical analyzes have shown that the soil is strongly gypsum (27.64%°) while it is moderately calcareous. The chemical facies of the soil is calcium sulphate. The calculated SAR of the 1/5 soil extract shows that the soil is non-alkaline. The analysis of Figure 14 shows that: Groundwater belongs to the C4S2 class, of which water of very poor quality is only used for very light and well-drained soils and for resistant plants with the need for use of washing doses. The purified wastewater belongs to the C4S3 class, including water of very poor quality to be used only in exceptional circumstances.

The follow-up of the results of the physicochemical analyzes of the irrigated soil for the short, the medium and the long term showed overall an improvement in the salinity of the soil, and a drop in the SAR. The very sandy nature of the soil and the very low adsorbent power have meant that the influence of this irrigation water on the soil is minimal.

Keywords : Ouargla, irrigation, groundwater, wastewater, salinity.

الملخص

الهدف من هذا العمل هو دراسة تأثير الري بمياه الصرف الصحي المعالجة والمياه الجوفية على الملوحة ومعدل الامتصاص النوعي للتربة في منطقة ورقلة. ولتحقيق هذا الهدف، فإن المنهجية المتبعة تتكون من مراقبة خصائص متراصة التربة المروية بنوعي المياه المذكورين أعلاه ومقارنة النتائج بالحالة الأولية للتربة غير المروية. أظهرت نتائج تحاليل التربة الضابطة أنها تربة رملية بنسبة 99٪ نسبة رملية، الموصلية الكهربائية لهذه التربة الضابطة قريبة من 1.98 ملي ثانية / سم ، وبالتالي فهي تربة مالحة في البداية. الرقم الهيدروجيني لمستخلص التربة 5/1 هو 6.79 مما يجعل التربة شديدة الحموضة. أظهرت التحليلات الفيزيائية والكيميائية أن التربة شديدة الجبس (٪27.64 درجة مئوية) بينما هي كلسية معتدلة. الوجوه الكيميائية للتربة هي كبريتات الكالسيوم. يُظهر معدل الامتصاص النوعي المحسوب لمستخلص التربة 5/1 ، حيث يتم استخدام المياه ذات C4S2 أن التربة غير قلوية. يوضح تحليل الشكل 14 ما يلي: تنتمي المياه الجوفية إلى فئة الجودة الرديئة جدًا فقط للتربة الخفيفة جدًا وذات التصريف الجيد وللنباتات المقاومة مع الحاجة إلى استخدام جرعات ، بما في ذلك المياه ذات الجودة الرديئة جدًا لاستخدامها فقط في ظروف C4S3 الغسيل. تنتمي المياه العادمة النقية إلى فئة استثنائية

أظهرت متابعة نتائج التحليلات الفيزيائية والكيميائية للتربة المروية على المدى القصير والمتوسط والطويل تحسنًا عامًا في ملوحة التربة، وانخفاض معدل الامتصاص النوعي. الطبيعة الرملية للتربة وقوة الامتصاص المنخفضة للغاية تعني أن تأثير مياه الري على التربة ضئيل

الكلمات المفتاحية: ورقلة، الري، المياه الجوفية. مياه الصرف الصحي. الملوحة

Introduction générale

Introduction générale

La salinité est parmi les problèmes majeurs qui affectent les sols et les eaux dans beaucoup de pays du monde **(REZAGUI, 2017).** En Algérie, les terres irriguées, dégradées par la salinisation représentent de 10 à 15 % des périmètres irrigués **(ROBERT, 1998).**

Les sols sahariens en général et au niveau de la cuvette de Ouargla en particulier son confrontés à une dégradation physique et chimique causées par un ensemble de facteurs naturels et humains.Naturellement, le cadre endoréique de la cuvette de Ouargla avec une nappe phréatique, chargée en sels (50g/l)**,** et à fleur de sol **(SLIMANI, 2016)**, conjugué à une évaporation intense, favorisant ainsi l'installation des croutes de gypses en profondeur et l'accumulation des sels en surface. Une situation naturelle critique, aggravée par l'intervention de facteur anthropique, par l'utilisation des eaux qui ne répondent pas aux normes de l'irrigation, des techniques inadaptées aux conditions locales et un drainage presque inexistant ou bien toujours déficient s'il est installé (**HAMDI AÏSSA, 2001)**

La région de Ouargla, se caractérise par un climat hyper aride qui ne permet pas l'installation d'aucune culture sans le recours à l'irrigation **(BERKAL, 2016). Les** eaux d'irrigation au Sahara algérien contiennent des grandes quantités de sels solubles et l'irrigation avec ce type d'eau provoque pour les sols des régions arides et semi-arides une transformation des conditions de leur évolution **(BRADAI, 2017).**

Dans la région de Ouargla les eaux souterraines constituent la seule source d'eau pour les usages domestiques, industriels et agricole (**SLIMANI, 2016).** Ses ressources sont groupées dans trois grands réservoirs : En haut la nappe phréatique avec un sable gypseux du quaternaire, au milieu, l'aquifère du complexe terminal (CT), qui inclut la nappe de sénonien et de Miopliocène est à la base l'aquifère du continental intercalaire (CI).

La croissance démographique et le développement économique exercent une pression, sans précédent sur les ressources en eau, renouvelables mais limitées, notamment dans les régions arides **(FAO, 2007).** La situation en Algérie est caractérisée par une demande croissante en eau alors que les ressources hydriques se raréfient d'une manière permanente pour l'agriculture. En revanche, la production des eaux usées s'accroît, et leur réutilisation se présente alors comme une première réponse à cette situation de pénurie d'eau pour l'irrigation **(GADDA 2013).**

L'étude que nous présentons est une contribution à l'évaluation de l'impact de l'irrigation par l'eau usée épurée et les eaux souterraines au niveau du périmètre irrigué de la région de Ouargla (Hassi ben abdallâh).

L'objectif de travail est d'examiner l'état des sols en termes de salinisation, et d'évaluer l'impact de l'irrigation par des eaux usées épurées et des eaux souterraines sur les propriétés physico-chimiques du sol. Pour atteindre notre objectif on a divisé le travail en deux parties :

La première partie **:** Synthèse bibliographique : Cette partie est composée de trois chapitres, dont les premiers comportent la situation géographique, climatique de la cuvette de Ouargla, et le deuxième chapitre a été consacré aux eaux d'irrigation dans la cuvette de Ouargla, et la troisième partie donne un aperçu bibliographique sur la dégradation et la salinisation des sols.

La deuxième partie résume le matériel et méthodes de l'étude qui sera couronnée par L'interprétation des meilleurs résultats obtenus. On terminera notre travail par une conclusion générale et des perspectives.

Partie I

Synthèse Bibliographique

Chapitre I

Cadre général de l'étude

Chapitre I : Cadre général de l'étude

I.1. Présentation de la Région de Ouargla

I.1.1. Localisation géographique

La région d'Ouargla est située au sud-est de l'Algérie, à environ 800 Km de la capitale Alger est l'une des principales oasis du Sahara algérien. Elle se situe au fond d'une large cuvette de la vallée de l'Oued M'Ya. La vallée de Ouargla s'étend sur une superficie d'environ 100 000 ha **(CDARS, 2018).** Ses coordonnées géographiques sont Figure 1

- Altitude : 157 m.
- Latitude : 31°58' Nord.
- Longitude : 5°20' Est.

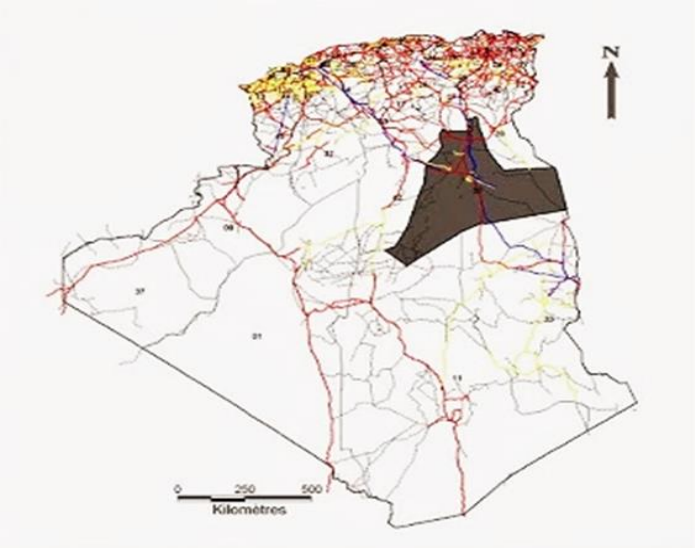


Figure 1 : Carte de situation de la région d'Ouargla

I.1.2. Contexte climatique

Le climat de la région de Ouargla est un climat particulièrement contrasté. L'aridité s'exprime non seulement par des températures élevées en été et par le manque des précipitations, mais surtout par l'importance de l'évaporation due à la sécheresse de l'air.

Le tableau **1** représente les données climatiques pour la période **1996/2021** enregistrées au niveau de la station météorologique de Ain El-Beida Ouargla. L'analyse de ce tableau montr

Tableau 1 : Données climatiques de la région d'Ouargla. Période 1996-2021

Paramètres / Mois	Températures (°C)			Humidité (%)	Vent (m/s)	Précipitation (mm)	Evaporation (mm)
	Max	Min	Moy				
Janvier	19.52	4.37	11.6	47.02	25.52	1.75	114.475
Février	21.92	6.92	14.3	40.65	25.42	0.6	144.25
Mars	25.17	10.35	17.57	37.55	29.02	5.97	207.95
Avril	31.12	15.87	23.5	30.47	30	1.5	278.025
Mai	35.75	20.7	28.5	26.42	30.35	2.97	313.1
Juin	41.9	26.35	34.58	17.62	28.52	0.1	432.075
Juillet	44.15	28.45	36.67	16.30	26.87	0.05	470.625
Août	43.85	28.35	36.35	17.75	25.32	0.25	439.475
Septembre	39.25	18.98	31.62	29.67	28.1	2.5	317.3
October	31	16.9	23.8	39	27.67	2	218.525
Novembre	23.97	10.32	16.95	45.4	22.95	8.55	126.3
Décembre	19.8	6.55	12.92	53.27	21.4	0.65	106.725
Moyenne	**31.45**	**16.17**	**24.03**	**33.42**	**26.76**	/	/
Cumul	/	/	/	/	/	**26.9**	**3168.825**

. **(ONM, 2022).**

T moy. : Température moyenne. **T max :** Température maximale

T min : Température minimale

I.1.2.1. Les températures.

La cuvette de Ouargla est caractérisée par une température moyenne annuelle est de **24.0°C**. En Juillet, pour le mois le plus chaud, elle est de **36.6°C**, pour le mois le plus froid elle est de l'ordre de **11.6°C.**

I.1.2.2. Les précipitations

Les précipitations dans la région de Ouargla sont faibles et irrégulières pour la période 1996-2021, La valeur maximale est enregistrée durant le mois de novembre **8.5 mm** et le cumul annuel de pluviosité est de l'ordre de **26.6 mm**

I.1.2.3. L'évapotranspiration

La région de Ouargla est caractérisée par une évaporation très importante Elle est de **3168.825 mm/an**. Avec un minimum de **106,7mm** au mois décembre, le maximum enregistré est de **470,6 mm** au mois de Juillet.

I.1.2.4 Humidité relative

L'humidité relative de l'air à Ouargla est très forte avec une moyenne annuelle de **39.4%,** elle atteint son maximum au mois de janvier **40.6 %**et sont minimum au mois de juillet **16.3%.**

I.1.2.5 Vent

La moyenne annuelle de la vitesse du vent dans la cuvette de Ouargla est de **26.76**km/h Cette vitesse varie d'une saison à l'autre. Elle est plus faible en hiver, surtout au mois de décembre **21.4 km/h** La vitesse du vent la plus élevée est enregistrée au mois de mai, avec **30.35 km/h.**

I.1.2.6 Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN

Le diagramme ombrothermique de (**GAUSSEN,1955)** permet de suivre est déceler la Période sèche et humide au cours de l'année. Il est représenté : En abscisse par les mois de L'année ;

- en ordonnées à gauche par les précipitations en mm ;
- en ordonnées à droite par les températures moyennes en °C ;
- Une échelle de P=2T.

L'aire comprise entre les deux courbes représente la période sèche. Dana région de Ouargla, la période sèche s'étale sur toute l'année (**Figure** 1)

Et selon le climagramme d'emberger la région de Ouargla est située dans un climat Saharien avec un hiver tempéré.

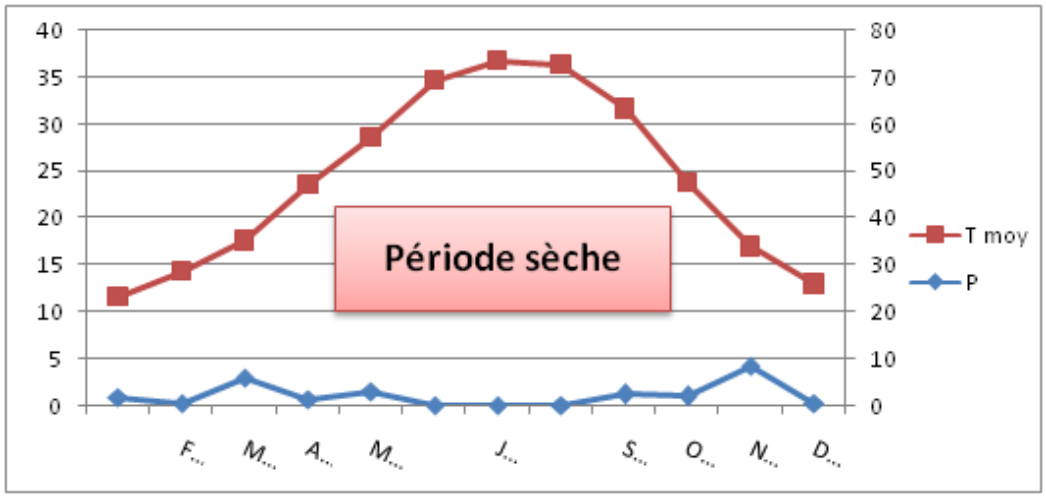


Figure 2 :Diagramme ombrothermique de la cuvette de Ouargla (période 1996/2021).

I.1.2.7 Climagramme d'EMBERGER

Il permet de connaître l'étage bioclimatique de la région d'étude. Il est représenté **:**

- En abscisse : par le moyen des minima du mois le plus froid.
- En ordonnée : par le quotient pluviothermique d'Emberger. (Q2)

Nous avons utilisé la formule de **Stewart (1969)** adoptée pour l'Algérie et le Maroc, qui se Présente comme suit :

$$Q^2 = 3.43\ P/M\text{-}m$$

- Q^2 : Quotient pluviothermique d'Emberger
- 3.43 : Coefficient de Stewart établie pour l'Algérie et Maroc.
- P : Pluviométrie moyenne annuelle exprimée en (mm).
- M : Température moyenne maximale du mois le plus chaud exprimé en °C.
- m : Température minimale du mois le plus froids exprimé en °C

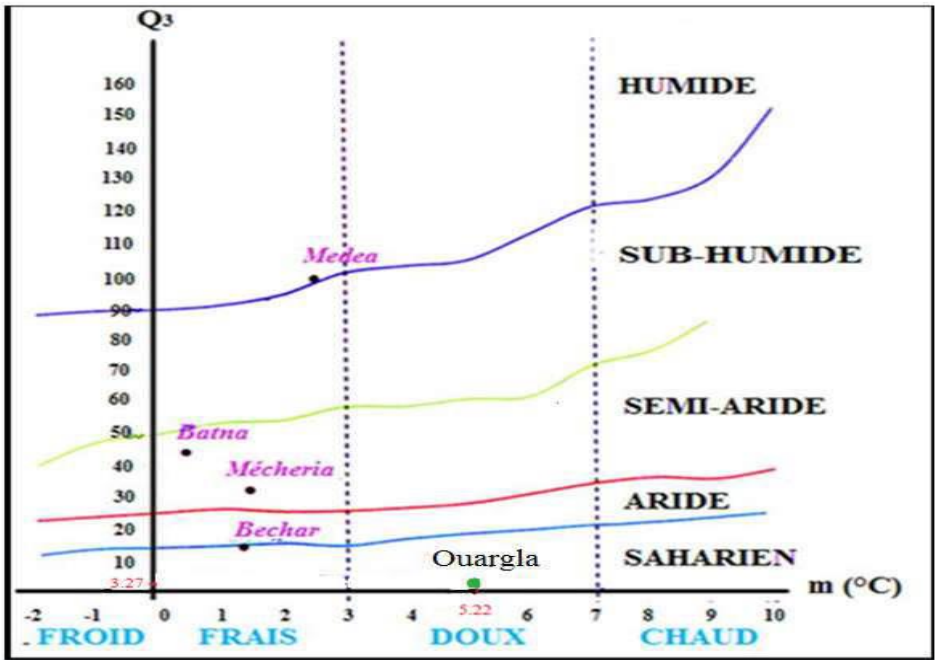


Figure 3: Climagramme d'Emberger pour la station de Ouargla période (1997-2017).

I.1.3. Contexte hydrologique.

Selon **(HAMDI Aissa, 2001)**, les différents bassins versants (M'ya, M'Zab et N'sa) forment le réseau hydrographique qui aboutit à la Sebkha Sefioune, au Nord de la cuvette de Ouargla.

Oued M'ya

Draine le versant nord-est du plateau du Tademet. Le bassin de Oued M'ya est situé sous la forme d'un immense drain surélevé du sud (800 m) avec une très faible inclinaison (0,1 à0,2%) s'étendant vers le nord-est, couvrant plus de 19 800 kilomètres carrés **(DUBIEF, 1953).**

Oued N'sa et Oued M'Zâb

Contrairement à Oued M'ya que l'on pense fossile, les deux rivières asséchées sont Fonctionnellement, ils peuvent avoir un ou deux crues. Ils atteignent le bassin de Ouargla

Uniquement lorsque l'inondation est grave. Ils drainent les pentes des contreforts Au sud-est

de l'Atlas saharien (Mozabit Ridge) ; par conséquent, ils coulent d'ouest en est-sud-est A la sebkhet de Sefioune (HAMDI, A 2001).

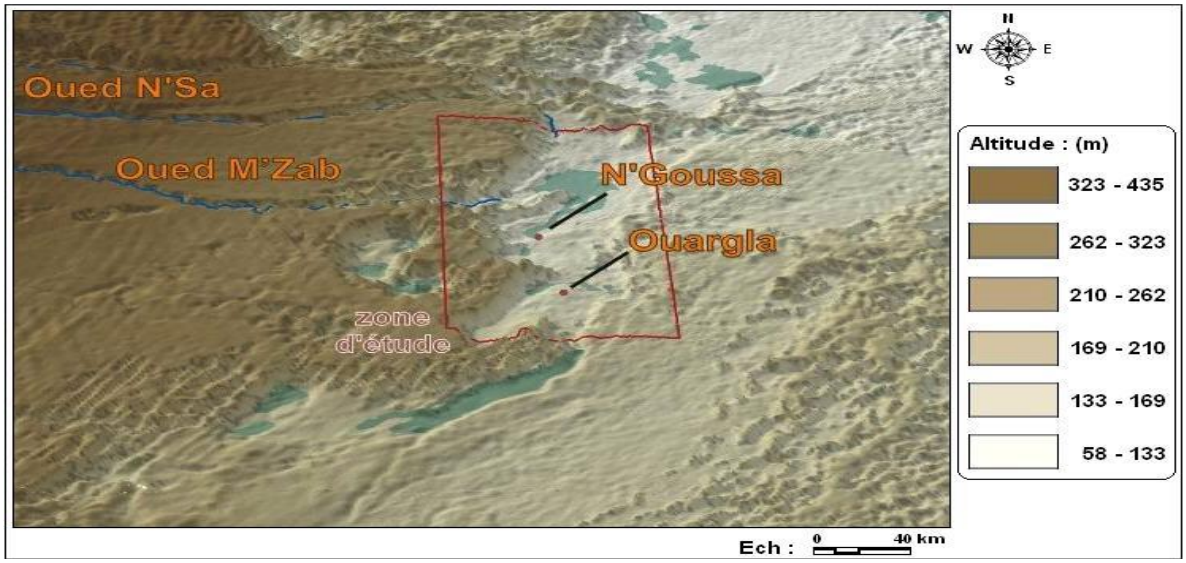


Figure 4: Relief de la région d'Ouargla (BG, 2004)

I.1.4. Contexte géologique

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

Au-dessous du fond de la vallée, les puits et les sondages ont mis en évidence, sous quelques mètres de sable : une alternance de niveaux formés de calcaires, et de sables argileux et de grès tendres se terminant à la base par des argiles sableuses vers 30 à 45m de profondeur.

Des sables fins et gros se terminant par des argiles sableuses à leur base vers 55 m à80 m. les calcaires du Sénonien (jusque vers 250 m) Argile avec évaporites plastiques, environ 1050 – 1100 m de profondeur et des Sables et grès d'Albi entre 1050 - 1100 m et 1350 - 1400 m profondeur **(FORTAS GHEDAIRI, 2019).**

I.1.5. Contextes pédologiques

La région d'étude est caractérisée par des sols légers, à prédominance sableuse et à structure particulaire. Elle est caractérisée également par des sols à un faible taux de matière organique, un pH alcalin, une faible activité biologique et une forte salinité et une bonne aération. **(HALILAT, 1993 in BOUHOERIERA, 2013).**

Les sols de Ouargla dérivent du grès argile quartzeux du Mio-pliocène non gypseux. Ils sont constitués de sable quartzeux. Dans l'ensemble des sols, les squelettes sableux sont très abondants, constitués en quasi-totalité par du quartz. La couleur devient moins rouge et l'épaisseur de la pellicule diminue dans les sols en aval en particulier dans les dunes. Sur les Sols de la dépression la masse basale argileuse présente un aspect poussiéreux **(HAMDI AISSA, 2001)**

I.1.6. Contextes hydrogéologiques

Les formations géologiques de la région d'étude contiennent, en plus de la nappe superficielle, deux grands ensembles de formations aquifères bien connus : le Continental Intercalaire (CI) à la base, et le Complexe Terminal (CT) au sommet. Ce dernier renferme sur le territoire algérien, deux formations aquifères distinctes. La première est contenue dans les sables du Moi-pliocène, et le deuxième se trouve dans le Sénonien supérieur **(KHADRAUI, 2006).**

- **La nappe phréatique**

Nappe dite libre, cette nappe est contenue dans les sables alluviaux de la vallée, elle se localise principalement dans la vallée d'Oued Righ et la cuvette de Ouargla. La nappe phréatique s'écoule du Sud vers le Nord suivant la pente de la vallée, sa profondeur entre 1m et 8m, eaux de la nappe phréatique sont très salées, avec une conductivité électrique de l'ordre de 5à10 ds/m et. La température de cette nappe varie généralement entre 15°C ET 20°C (**ROUVILLOIS BRIGOL, 1975**).

- **Les nappes du Complexe Terminal C.T**

Le Complexe Terminal représente deux aquifères à Ouargla. Le premier est contenue dans les sables du Mio-pliocène, à une profondeur qui varie entre 30 et 65 m Elle s'écoule du sud-ouest vers le nord-est, en direction du chott Melghir La conductivité électrique varie de 3 ms/cm à 6.4ms/cm **(A.N.R.H., 2008**). Et le deuxième, c'est le Sénonien qui se trouve à une profondeur d'environ 200 - (**ROUVILLOIS BRIGOL, 1975).** Les eaux de la nappe sénonienne sont moins chargées, leur conductivité ne dépassant pas la valeur de 3mS.cm (**IDDER., 2007).**

- **Le Continental Intercalaire (nappe albienne)**

Cette nappe est contenue dans les argiles sableuses et les grès du continental intercalaire. Elle est située entre 800 et 1700 m de profondeur avec un écoulement général du sud vers le Nord, elle couvre une superficie de 600 000 km2. Les eaux de l'albienne sont beaucoup plus chaudes avec une température de l'ordre de 56 °C et une faible teneur en sels variant entre 1,7 à 2 g/l (**ROUVILLOIS BRIGOL, 1975).**

I.1.5.1. Les systèmes aquifères dans la région de Ouargla

Dans la région de Ouargla il existe3 aquifères :

-Les grès et argiles sableuses du CI avec la nappe dite de l'Albien.

-Les calcaires avec la nappe du Sénono-Eocène carbonatés.

-L'ensemble détritique (sables et argiles) des formations continentales avec la nappe du Mio-Pliocène.

- **L'Albien**

Il est essentiellement gréseux formant un important aquifère captif reconnu sur une épaisseur de 400 m, reposant sur un substratum imperméable (Aptien) (**GADDA ,2013).**

Il existe deux forages à Ouargla (rouissat) pour l'alimentation en eau potable Forage el hadeb 1 d'une profondeur de1335 m et un débit de 141 l/s Forage el hadeb 2 d'une profondeur de 1400 m et un débit de 68 l/s (**ANRH, .2011).**

Sénonien-Eocène

Il est formé de calcaires dolomitiques avec des intercalations de marnes et d 'argiles, reconnu sur une épaisseur de 360 mètres **(GADDA ,2013).** Il exist73 forge repartie sur la région de Ouargla rouissat ; Hassi ben abdallâh sidi Khouiled (**ANRH, 2011).**

Le Mio-Pliocène :

Selon (**FORTAS & GHEDAIRI, 2019).** La nappe du Mio-pliocène s'écoule du sud-ouest vers le nord-est, en direction du chott Melghir est d'une profondeur qui varie entre 30 et 65 m. l'exploitation de la nappe à Ouargla remonte à un passé déjà lointain (Moulias ;1927) cité par (**Slimani ,2016)** il est formé d'une alternance de sable et d'argile. Son épaisseur moyenne est de l'ordre de150 **m (GADDA ,2013).**

I.1.5. 2 Caractéristiques Lithologiques

Le Barrémien : Capté à partir de 1500 m. Il présente une alternance de grès et d'argiles, avec des intercalations calcaro dolomitiques **(BELLAOUEUR, 2008).**

Aptien : il se compose des "bars Aptien" du quartier Ouargla, composé de marnes dolomitiques, grises, Ou dolomite cristalline blanche. Son épaisseur est inférieure à 50 m **(BELLAOUEUR, 2008).**

Albien : il correspond à la série lithologique supérieure Continental intercalaire ; ce sont du grès, de l'argile et du sable Epaisseur (>400 m). Éléments Les détritus (nonargileux) prédominent (70% à 90%) Il est représenté par des grès fins et des grès moyens du passé, parfois inters stratifiés avec des sables grossiers d'argile ou de limon carbonate (**BELLAOUEUR, 2008).**

Sénonien : Il est constitué de deux formations lithologiques Recouvrir :--- La lagune Sénonienne à la base, constituée d'un Alternance irrégulière de couches d'anhydrite, de dolomite, d'argile et d'argile Sel. Les proportions de ces formations varient d'un endroit à l'autre : ---L'anhydrite peut être formée jusqu'à une épaisseur 250 mètres ; ---La dolomite forme de plus grandes barres (≈60m) ; La teneur en argile et marne ne dépasse pas g 120m d'épaisseur ; --- Sénonien carbonisé au sommet de la

montagne (environ 200 m) : calcaire Blanc, doux à mi-ferme, parfois crayeux à vacuole **(BELLAOUEUR, 2008).**

Le Vraconien : L'intercalation albo-cénomanienne caractérise un épisode dolomitique remarquable entre les grès de l'Albien et les argiles du Cénomanien, il est formé de **(BELLAOUEUR2008)** :

- Dolomies et de calcaires dolomitiques parfois argileux contenant de rares débris de mollusques, les épaisseurs y sont de 50 à 100 m.
- Argiles et marnes dolomitiques et des éléments détritiques.

ChapitreII

Généralités sur les eaux d'irrigation

Chapitre II : Généralités sur les eaux d'irrigation

L'irrigation se définit comme étant un apport artificiel de l'eau aux cultures, ce dernier est réalisé sur un terrain cultivé ou une prairie en vue de compenser l'insuffisance des précipitations et/ou des réserves hydriques du sol et ainsi, de permettre le plein développement des plantes. (**FAG 1998)**, elle estime que l'irrigation consiste en un approvisionnement des cultures en eau par des moyens artificiels, en vue de permettre le développement de l'agriculture dans les zones arides et de compenser les effets de sécheresse dans les zones semi arides. En effet, on pourrait parler d'irrigation de complément quand il s'agira de palier aux déficits hydriques et d'irrigation totale où toute l'eau dont les cultures ont besoin sera apportée artificiellement ; c'est généralement le cas de la production en saison sèche, production sous serre et dans la zone dont la pluviométrie est nulle. (**CHOSSAT ,2007).**

II.1Evaluation de la qualité des eaux d'irrigation

L'agriculture irriguée est tributaire d'un bon approvisionnement en eau ; que se soit en quantité ou bien en qualité, mais ces dernières décennies et vu la demande grandissante pour cette ressource et le changement climatique la qualité des eaux d'irrigation est devenue l'un des problèmes majeurs qui s'impose au développement de l'agriculture irriguée.

II.1.1 Les critères d'évaluation d'une qualité d'eau d'irrigation

On évalue la qualité d'une eau d'irrigation en se basant sur deux critères la salinité exprimée par la conductivité électrique (CE) et le SAR.

II.1.1.1 Classification basée sur la salinité

La salinité est un critère important, car un excès de sel augmente la pression osmotique de l'eau du sol et provoque des conditions qui empêchent les racines d'absorber l'eau. Ces conditions provoquent une sécheresse physiologique **(Harivandi, 1999)**.

Les principaux sels responsables de la salinité de l'eau sont les sels de calcium (Ca^{+2}), de magnésium (Mg^{+2}), de sodium (Na^{+}), de potassium (K^{+}), les chlorures (Cl^{-}), les sulfates (SO_4^{-2}) et les bicarbonates (HCO_3^{-}) **(COUTURE, 2006)**.

La salinité peut se mesurer de deux façons, soit par les matières dissoutes totales (MDT) exprimé en mg/l ou, plus couramment, par la Conductivité Electrique (CE) qui est exprimée en déci-Siemens/mètre (dS/m).

Le tableau 1 suivant, donne une classification des eaux d'irrigation proposée par l'United States Département of Agriculture (USDA) **(Harivandi, 1999).**

Tableau 2 : Classification des eaux d'irrigation proposée par (USDA)

Nomination	Classe	Interprétations
Classe 1 (C1)	< 0,25 dS/m	Risque faible
Classe 2 (C2)	0,25 dS/m à 0,75 dS/m	Risque moyen
Classe 3 (C3)	0,75 S/m à 2,25 dS/m	Risque élevé
Classe 4 (C4)	2,250 dS/m à 5 dS/m	Risque très élevé
Classe 5 (C5)	>5 dS/m	Non utilisable en irrigation

Source (Harivandi, 1999).

II.1.1.2 Classification basée sur le SAR :

Parmi les sels dissous dans l'eau, le sodium (Na++) requiert plus d'attention. De fortes concentrations en sodium peuvent être dommageables pour la plante en place en modifiant les conditions physiques du sol (**Glover, 1996).** Par ailleurs, la concentration en sodium donnée séparément ne donne aucune appréciation, mais plutôt, il faut tenir en compte les effets mutuels du sodium, du calcium et du magnésium. Il s'agit du ratio d'adsorption du sodium par le sol, le SAR (Sodium Adsorption Ratio) est calculé selon la formule proposée par (**Gapon 1933)** rapporter par (**Richard ,1954).**

$$SAR \frac{Na}{\sqrt{\frac{ca + Mg}{2}}}$$

Avec : Ca^{++}, Mg^{++} et Na^{+} concentration en mé/L

Le tableau suivant donne la classification des eaux d'irrigation selon le SAR **(RICHARDS, 1954).**

Tableau 3: Classification des eaux d'irrigation selon le danger d'alcalinisation des sols

Nom de la classe	Classe	Interprétation
Classe S1	$0 < SAR \leq 10$ **bas taux de sodium**	Eaux utilisables pour l'irrigation de presque tous les sols. Danger d'alcalinisation réduit, bien que certaines cultures sensibles au sodium puissent être gênées.
Classe S2 :	$10 < SAR \leq 18$ **taux moyen de sodium**	Le danger d'alcalinisation des sols est appréciable dans les sols à textures fine et à forte capacité d'échange, surtout dans la condition de faible lessivage. Eau utilisable sur les sols de texture grossière, ou sur les sols organiques ayant une bonne perméabilité.
Classe S3	$18 < SAR \leq 26$ **haut taux de sodium**	Eaux pouvant provoquer l'apparition d'une alcalinité dangereuse dans la plupart des sols, à l'exception des sols pauvres en argile. Emploi exigent la mise en œuvre d'un aménagement spécial assurant un bon drainage et fort lessivage. L'addition de matière organique, d'amendements chimiques est souvent nécessaire.
Classe S4	$SAR > 26$ **très haut taux de sodium**	Eaux souvent inutilisables pour l'irrigation, présentant un fort danger d'alcalinisation. Ces eaux sont utilisées pour l'irrigation, seulement si leur salinité permet l'addition de calcium ou si le sol en contient suffisamment.

SOURCE : DURAND (1982)

II.1.2 Méthodes d'évaluation de la qualité des eaux d'irrigation

II.1.2.1 Le tableau des directives de la FAO

La FAO, et suite aux travaux de Ayers et Westcot, (1988), a mis des directives permettant d'évaluer la qualité d'une eau d'irrigation qui mettent l'accent sur l'influence à long terme de la qualité de l'eau d'irrigation sur la production des cultures **(ELGABALYM, 1970).**

Le tableau 3 suivant est, selon la FAO, une première étape dans la détermination des limites de qualité d'une ressource en eau en agriculture.

Tableau 4: Les directives de la FAO pour l'interprétation de la qualité d'une eau d'irrigation.

Nature du problème	Unité	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 =	dS/m	> 0.7	0.7 - 0.2	< 0.2
SAR = 3 - 6 et CEi =	dS/m	> 1.2	1.3 - 0.3	< 0.3
SAR = 6 - 12 et CEi	dS/m	> 1.9	1.9 - 0.5	< 0.5
SAR = 12 - 20 et CEi =	dS/m	> 2.9	2.9 - 1.3	< 1.3
SAR = 20 - 40 et CEi =	dS/m	> 5.0	5.0 - 2.9	< 2.9
Toxicité de certains ions : *affectent les cultures sensibles.*				
Sodium (Na) :				
Irrigation de surface	SAR	< 3	3 - 9	> 9
Irrigation par aspersion	méq/l	<3	> 3	> 9
Chlore (Cl) :				
Irrigation de surface	méq/l	< 4	4 - 10	> 10
Irrigation par aspersion	méq/l	< 3	> 3	
Bore (B)	mg/l	< 0.7	0.7 - 3.0	> 3.0
Eléments traces	Concentration maximale d'éléments à l'état traces recommandés pour les eaux d'irrigation.			
Effets divers : *Affecte les cultures sensibles*				
Azote (NO3-N)*	mg/l	<5	5-30	>30
Bicarbonate (HCO3) 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.1.4. Le Diagramme de RIVERSIDE (1954)

La classification des eaux d'irrigation, tient compte des conditions d'utilisation de ces dernières et des caractéristiques du sol tels que le taux d'infiltration, le drainage ainsi que la tolérance des cultures **(DURAND, 1983).** Le diagramme de l'U.S.S.L. (1954) modifier par **DURAND (1958)** en ajoutant une cinquième classe de salinité, s'avère le plus pratique pour les eaux Algériennes. Ce dernier est établi essentiellement sur la base des observations réalisées en Afrique du nord, cette classification suppose des conditions correctes de cultures, avec un bon drainage et des sols suffisamment perméables. Le diagramme de RIVERSIDE se base sur le paramètre de salinité de l'eau (C.E. à 25°C) et le danger d'alcalinisation des sols exprimé par le S.A.R.

Plusieurs auteurs ont interprété les classes issues du diagramme de Riverside selon Durand (1982), ces classes sont qualifiées de la façon suivante **:**

Classe : C1S1 : Eau présentant une bonne qualité pour l'irrigation, utilisable avec précautions pour les plantes sensibles**.**

Classes : C1S2 et C2S1 : Eau de qualité bonne à moyenne a utilisé avec précaution pour les sols mal drainés et pour les plantes sensibles**.**

Classes : C1S3, C2S2 et C3S1 : Qualité moyenne à médiocre a utilisé avec précaution ; nécessite un drainage avec des doses de lessivage et/ou apport de gypse.

Classes : C1S4, C2S3, C3S2, C4S1 : 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**.**

Classes C2S4, C4S2, C3S3 : Eau de qualité très mauvaise utilisée que pour les sols légers et bien draines et pour les plantes résistantes avec nécessité de doses de lessivages et/ou apport de gyps**e.**

Classes C3S4, C4S3 : Qualité très mauvaise a n'utilisé que pour les circonstances exceptionnelles.

La classe C4S4 : Eau déconseillée pour l'irrigation

La (figure 5) suivante représente le diagramme de RIVERSIDE modifié,

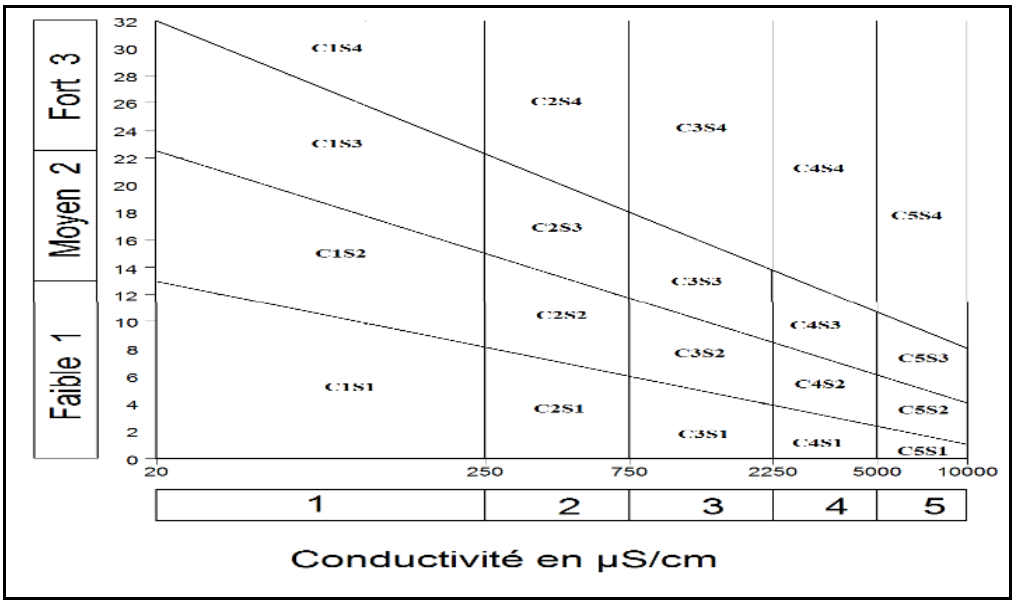


Figure 5:Diagramme de RIVERSIDE (RICHARDS, 1954)

II.2 Origines des eaux d'irrigation

Dans les situations de pénurie d'eau due à une pluviométrie insuffisante, à un drainage excessif ou à une baisse de la nappe phréatique, en particulier dans les régions arides, l'irrigation est incontournable pour augmenter les rendements et permettre le développement normal des plantes. Depuis l'antiquité l'eau d'irrigation est procurée soit des eaux de surfaces ou bien des eaux souterraines ; ces dernières années et avec la demande grandissante sur ces deux ressources conventionnelles l'être humain tente d'utiliser d'autres ressources non conventionnelles telles que les eaux usées épurées.

II.2.1 Eaux de surface

L'eau de surface provient de l'eau de pluie qui n'a pas pénétré dans le sol, ce dernier reste en surface, Par conséquent, elle peut s'écouler et former un cours d'eau ou rester en stockage lorsque des obstacles entravent son écoulement. **(TERCHI, 2014).**

II-2-2 Eaux souterraines

Les formations géologiques poreuses et perméables qui ont la propriété de permettre l'infiltration, le stockage et l'écoulement des eaux constituent les aquifères et les réservoirs des eaux souterraines. Leurs ressources en eaux proviennent de la partie des eaux de pluie non reprise par l'évaporation, la végétation ou le ruissellement **(Roux, 2000).**

Les eaux souterraines sont souvent plus stables et de meilleure qualité que les eaux de surface. Certaines de ces eaux sont très riches en sels minéraux et renferment fréquemment du fer.

Les eaux souterraines modèlent les terrains calcaires d'une façon bien particulière : les eaux de pluies, dont sont issues les eaux souterraines, sont naturellement acides et dissolvent le calcaire en circulant dans les fractures de la roche, créant tout un réseau de cavernes. Ces terrains calcaires sont appelés des terrains karstiques (du mot *karst*, terrains calcaires de Yougoslavie) **(TERCHI, 2014).**

II.2.3 Eaux non conventionnelles

La réutilisation des eaux usées épurées est une pratique très répandue dans les régions du monde affectées par des pénuries de ressources en eau. C'est une action volontaire et planifiée qui vise la production des quantités complémentaires en eau pour différents usages afin de combler les déficits hydriques.

L'utilisation des eaux non conventionnelles peut être susceptibles de résoudre ne serait-ce que partiellement le problème de manque d'eau d'irrigation dans les zones arides et semi arides d'Algérie qui sont souvent caractérisées par des faibles précipitations et une demande très importante sur les eaux souterraines **(SEKKOUM M ET AL, 2012).**

II. 3 Origine de l'eau d'irrigation dans la région de Ouargla

L'agriculture irriguée dans le Sahara algérien, 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.

A Ouargla, comme sur un grand nombre d'oasis, le type d'irrigation est gravitaire ou appelé irrigation de surface. Le réseau de drainage a évolué énormément depuis 1986, sa longueur est passée de 11 km ; avec une répartition plus développée au sud de la cuvette. Le réseau de drainage de la cuvette de Ouargla est de type canaux à ciel ouvert à une profondeur qui varie entre (0,5 à 1,0 m), pour Séguias sont réalisés en terre. L'eau, à partir du forage, est conduite sur des seguias en terre 247 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 **(SEDAT, 2008).**

La cuvette d'Ouargla se distingue, 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 **(AZIB, 2010).**

II.3.1Caractérisation des eaux souterraines dans la zone d'étude

Dans la région d'Ouargla, l'utilisation de l'irrigation est importante pour maintenir la survie des plantes et atteindre une certaine production des terres ; dans un tel climat, la culture nécessite des quantités très importantes en eau. La principale ressource utilisée dans l'irrigation dans la zone est l'eau souterraine des deux aquifères à savoir le complexe terminal et le continental intercalaire. Pour un bon développement des plantes, l'eau d'irrigation doit être sans danger pour la plante et le sol

L'objectif de notre travail est de connaître la qualité physico chimique des eaux de quelques forages exploitant les deux nappes de (CT) et la nappe profonde de (CI) et par la suite évaluer leur aptitude à l'irrigation.

II.3.1.1 Collecte des données relatives à la qualité des eaux souterraines dans la cuvette de Ouargla

Pour caractériser la qualité physico-chimique des eaux d'irrigation, on a travaillé avec les données de qualité des forages étudiés par (SLIMANI, 2015). On a sélectionné 9 forages sur la

base de leur situation et la nature de la nappe exploité (7 exploitants les nappes de CT et 2 la nappe de l'albien) **annexe 2** les résultats, de la qualité physico-chimique, sont résumés dans le

Tableau suivant.

Tableau 5 : Résultats des analyses physico-chimiques des forages étudiés (mai 2022)

Forages	Ca^{++} mé/L	Mg^{++}mé/L	Na^{+}mé/L	K^{+}mé/L	Cl^{-}mé/L	$SO4^{-}$mé/L	$HCO3^{-}$ mé/L	$No3^{-}$mé/L	CE ms/cm	PH	SAR
M 1	15.22	14.8	42.9	6.56	48	29	0.00	0.00	7.64	7.04	11.07
M 2	16.92	14.28	30.6	5.2	39.8	23.6	0.00	0.00	6.08	8.13	7.75
M 3	11.54	9.88	10.1	3.41	18.8	14.14	0.00	0.00	3.66	7.54	3.09
S 1	9.84	10.54	16.1	0.68	16.5	17.06	0.00	0.00	2.47	7.75	5.04
S 2	11.94	10.22	36	8.43	39.7	23.40	0.00	0.00	6.09	7.78	10.82
S 3	9.30	10.34	13.7	0.22	15.4	16.62	0.00	0.00	2.37	7.79	4.37
S 4	14.34	7.28	25.4	0.57	25.9	18.94	0.00	0.00	4.05	7.3	4.67
A1	4.70	7.54	10.70	0.70	12.4	9.16	0.00	0.00	2.19	7.35	4.33
A2	2.82	9.06	13.9	0.53	13.1	10.92	0.00	0.00	2.26	7.64	5.57

II.3.2.1 Caractéristiques physiques des eaux

II.3.2.1.1PH

Le pH affecte la plupart des mécanismes chimiques et biologiques de l'eau. Habituellement, le pH de l'eau naturelle est compris entre 6 et 8,5 **(CHAPMAN et al, 1996).**

L'analyse du **tableau 5** précédent montre que le pH des eaux analysées est compris entre 7.04 et 8.13 et de ce fait, le pH des eaux des deux aquifères est légèrement neutre à alcalin et il peut être utilisé dans l'irrigation sans aucune restriction.

II.3.2.1.2 La conductivité électrique

La conductivité varie en fonction de la température de l'eau, et proportionnelle à la minéralisation, elle est en liaison avec la lithologie, la vitesse de l'écoulement d'une nappe et le temps de séjour de l'eau **(RODIER, 2009).**

Les résultats **tableau5** obtenus montre que, les valeurs de la conductivité électrique pour la nappe du l'Albien varient entre 2,26 et 4,19 ms/cm. Les forages étudiés pour la nappe du

Sénonien ont une conductivité variante entre 2,37 à 6,09 ms/cm tandis que les valeurs de la CE sont les plus élevées pour les forages de la nappe du Mio-pliocène dont elles varient entre 3.66 et 7.64 ms/cm.

II-3-2-2 Faciès chimiques

I-3-2-2-1 Formules caractéristiques

Le **tableau 6** suivant résume le faciès chimique des eaux des différents forages calculé à partir des quantités en réaction des cations et anions.

Tableau 6: Les faciès chimiques des forages étudiés

Nappe	Nom de forages	Formule caractéristique	Faciès chimique
Mio-pliocène	M1	Cl->SO4- Na+>Ca++>Mg++>k+	Chloruré sodique
	M2	Cl>SO4- Na+>Ca ++>Mg++>k+	Chloruré sodique
	M3	Cl> SO4- Ca++>Na+>Mg++> k+	Chloruré calcique
Sénonien	S1	SO4> Cl- Na+>Mg++>Ca++>k+	Sulfaté sodique
	S2	Cl > SO4 - Na+> Ca++> Mg++ > k+	Chloruré sodique
	S3	SO4> Cl- Na+>Mg++>Ca++>k+	Sulfaté sodique
	S4	Cl > SO4 - N a+> Ca++> Mg++ > k+	Chloruré sodique
L'Albien	A1	Cl > SO4 - Na+>Mg++ >Ca++ >k+	Chloruré sodique
	A2	Cl > SO4 - Na+> Mg++ > Ca++ >k+	Chloruré sodique

II.3.2.2.2 Diagramme de piper

Le diagramme de Piper permet une représentation des anions et cations sur deux triangles. Les unités utilisées sont les pourcentages des quantités en réaction de chaque cation et anion par rapport au total des cations et anions respectivement. L'intersection des deux lignes issues des triangles dans le losange donne le faciès chimique de l'échantillon.

La f**igure 6** suivante donne la représentation sur le diagramme de piper des différentes eaux étudiées.

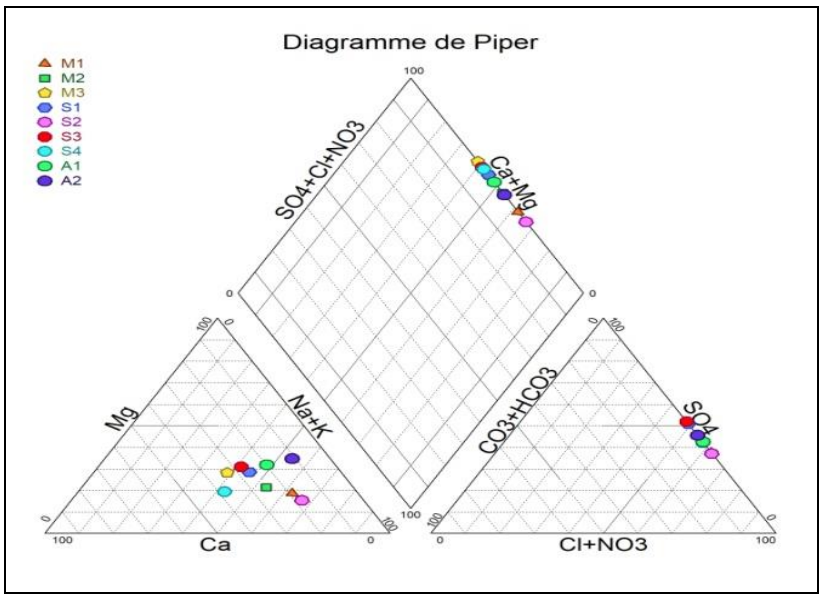


Figure 6 : Diagramme de Piper pour la nappe Mio-pliocène et L'Albien et Sénonien

L'analyse de la figure précédente montre que la distribution des points d'eau occupe, au niveau du triangle des cations le pôle sodique et le pôle calcique et occupe au niveau du triangle des anions les deux pôles chloruré et sulfaté selon les forages. Les eaux étudiées sont majoritairement : **chlorurées sodiques ou sulfatées sodiques.**

II.3.2.2.3 Aptitude des eaux à l'irrigation

- **Selon la CE**

L'analyse des résultats **tableau 5** de la conductivité électrique pour l'ensemble des forages étudiés montre que :

L'ensemble des forages du Mio-pliocène appartiennent à la classe **C5** et selon **(Durand, 1958)** cette eau est non utilisable en irrigation, Et le forage **M3** avec une CE en risque élevé.

Pour la nappe du sénonien les forages **S1, S3 et S4** appartiennent à la classe **C4** et de ce fait cette eau est classée risque très élevé .et le forage **S2** avec une CE de non utilisable en irrigation. Appartient à la classe **C5.**

Les deux forages étudiés de la nappe albienne **A1 et A2** appartiennent à la classe **C3** et C4 respectivement. Donc une eau risque élever et très élevé.

II.3.2.2.3 Aptitude à l'irrigation selon SAR et CE à 25°C

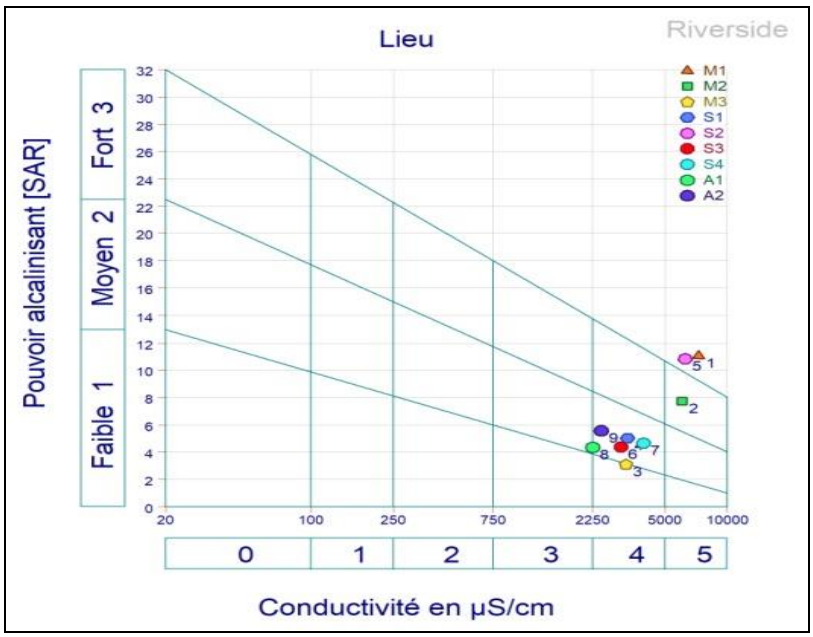


Figure 7:Diagramme de Riverside pour les forages étudiés

. Le diagramme de Riverside de l'USSL (1954) représente les résultats **figure 7** d'analyse de l'eau des forages étudiés dans la région d'étude

- Les eaux de la nappe Mio-pliocène et le forage **M1, M2** distribuées entre **C5S4, C5S3** Eau déconseillée pour l'irrigation, et le forage M3appartiennent à la classe **C4S1** Eau de qualité médiocre à mauvaise, utilisée avec précaution pour les sols
- Pour la nappe sénonien **S1 S3 S4** distribuées entre les classes **C4S2,** Eau de qualité très mauvaise, utilisé que pour les sols légers et le forage S2 appartiennent à la classe **C5S4**Qualité très mauvaise a n'u. Utilisé que pour les cas exceptionnels.
- Les eaux de nappe de l'Albien **A1 et A2** appartiennent à la classe **C4S2** d'une qualité très mauvaise. Utilisée que pour les sols légers et bien draines et pour les plantes résistantes avec nécessité de doses de lessivages et/ou apport de gyps**e.**

II.4 La réutilisation des eaux usées épurées en agricultures.

La pollution de l'eau s'entend comme une modification défavorable des propriétés physico-chimiques et biologiques de cette dernière, produite directement ou indirectement par les activités humaines, les rendant impropres à l'utilisation normale établit (**METAHRI, 2012).**

La réutilisation des eaux usées traitées en agriculture présente un double avantage, D'une part, elle aidera à atténuer la pression sur les ressources en eau conventionnelles. D'autre part,

elle contribuera à la protection de l'environnement et la lutte contre la pollution de l'eau en réduisant le volume des eaux usées déversées dans les fleuves, les lacs et le littoral (**EL YOUSSFI, 2013)**

II.4.1. Les stations d'épurations des eaux usées

Elles constituent une voie d'élimination des eaux usées dans la mesure où celles-ci subissent toute une batterie de traitements avant leur déversement dans le milieu naturel. **(Brière, 1994).**

Une station d'épuration permet de traiter les eaux usées industrielles ou qu'elles proviennent des activités quotidiennes de l'homme. Le but est de collecter les eaux usées, puis de les épurer par traitement, avant de pouvoir les rejeter dans le milieu naturel sans risquer de polluer notre environnement.

Une station d'épuration est une installation de plusieurs dispositifs et de procédés bien spécifique ; chaque procédé a pour rôle d'éliminer ou de diminuer le taux d'un polluant présent dans l'eau usée. Equipée d'un laboratoire d'analyse qui a pour but de calculer le rendement de la STEP et d'étudier l'anomalie (si nécessaire) ; d'une façon générale il surveille le fonctionnement de la station. Une STEP est généralement placée à l'extrémité d'un réseau de collecte à l'amont **(KARDACHE, 2015).**

II.4.1.1 Étapes de traitement des eaux usées

Les stations d'épuration des eaux résiduaires, indépendamment du type de traitement, réduisent la charge organique et solide en suspension et enlèvent les constituants chimiques des eaux usées qui peuvent être toxiques ainsi que les constituants biologiques (microbes pathogènes) qui peuvent nuire à la santé publique **(Brière, 1994).**

Le but du traitement est de produire un certain niveau d'eaux usées traitées approprié et acceptable du point de vue de la santé humaine et des risques environnementaux (**ELYOUSSFI ; 2013)** Les différentes étapes de traitement conventionnels peuvent être résumés comme suit :

-Traitement préliminaire : Enlèvement des solides grossiers et d'autres grands Fragments de l'eau usée brute (**FAO, 2003)**. En tête d'une station d'épuration, ces procédés permettent de retenir les matières volumineuses grâce à des grilles (dégrillage), les sables (dessablage), les

matières flottantes grossières (écumage) et les liquides moins denses que l'eau (déshuilage). Les déchets solides peuvent être déchiquetés (dilacération) par des « pompes dilacératrices **(Desjardins, 1997).**

Traitement primaire : Enlèvement des solides organiques et inorganiques par sédimentation ainsi que les matériaux flottants. (**EL YOUSSFI, 2013).** À la fin de ce traitement, la décantation de l'eau permis de supprimer environ 60 % des matières en suspension, environ 30 % de la demande biologique en oxygène (DBO_5) et 30% de la demande chimique en oxygène (DCO) (**FAO, 2003).**

Traitement secondaire : le traitement secondaire est une épuration biologique. C'est Lors de ce traitement que s'élimine l'essentiel de la pollution carbonée biodégradable enlèvement des matières organiques solubles et des matières en suspension des eaux usées issues du traitement primaire (**LAVIGNE DELVILLE J C, 1994).**

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 (**EL YOUSSFI, 2013).**

II.4.2 Présentation de la Station d'épuration de Sidi Khouiled

La station d'épuration de Sidi Khouiled, a été réalisée par la société allemande Dywidag pour le compte de l'ONA en décembre 2008 consiste à traiter les eaux usées de la ville de Sidi Khouiled (**MAHDJAR, 2015**)

La surface de la station est de **3,5 ha**. La forme géométrique de la STEP s'apparente à un rectangle de largeur 130 m, et longueur300 m **(FORTAS GHEDAIRI, 2019).** La figure suivante donne la situation générale de la STEP par rapport à la ville de de sidi Khouiled

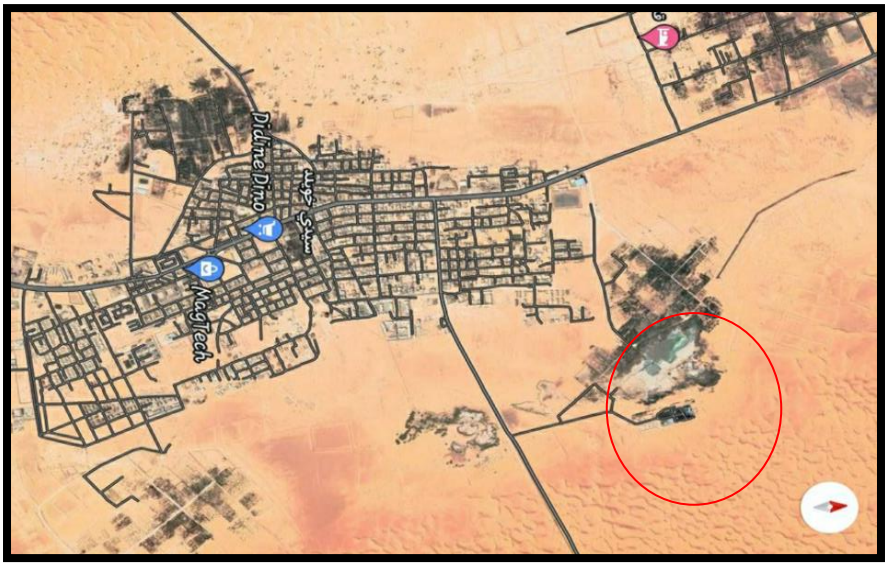


Figure 8 : Situation géographique de la STEP de sidi Khouiled (GOOGLE.2022)

II.4.2.1 Description de la station d'épuration

La station d'épuration des eaux usées de Ouargla, se constitue de 08 bassins devisés en 03 niveaux avec 11 lits de séchage Figure 9 Elle fonctionne selon le principe du lagunage aéré. A une capacité de 400.000 équivalent /habitant, elle est dimensionnée pour un débit moyen de 57000 l/ jour et traite actuellement un débit de 15 000 l/s (STEP de Ouargla, 2012).

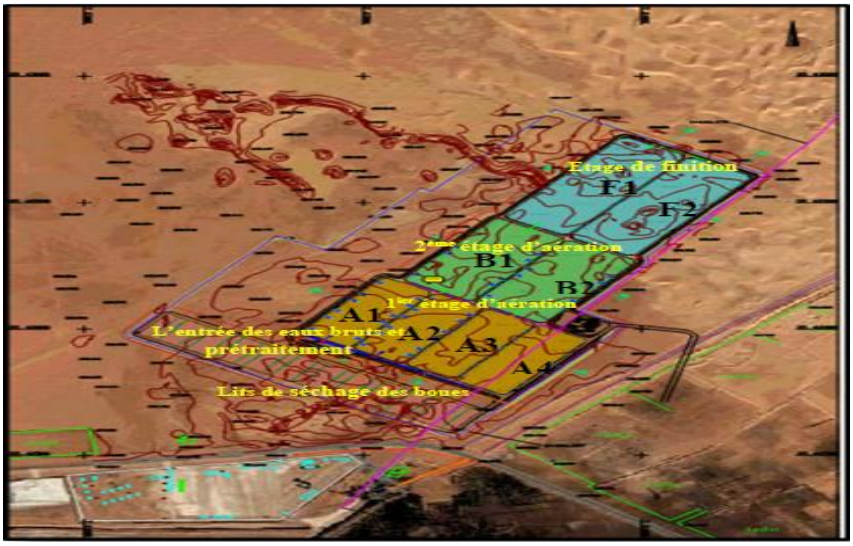


Figure 9:Schéma générale de la station d'épuration de Ouargla

II.4.2.2 Étapes de traitement

II.4.2.2.1 Des prétraitement

Arrivée des eaux brutes : Les eaux brutes arriveront à la station d'épuration par l'intermédiaire d'un piquage réalisé sur la conduite de transfert récente vers Oum R'Neb**.**

La première étape **dégazage** Pour relever toutes les gazes qui se trouve dans l'eau dans L'air et pour la deuxième étape **dégrillage** Cette étape permet d'éliminer tous les éléments solides dans l'eau, Les refus de l'ensemble des dégrilleurs sont acheminés au moyen d'une vis de convoyage vers une benne à déchets. Cette vis assure également un compactage des refus et permet ainsi de réduire le volume des déchets, et pour la dernière étape **Le dessablage** Permet la décantation des résidus les plus denses (sable). L'élimination du sable évite l'ensablement des bassins

La **photo1** suivante résume les différentes étapes de traitement au niveau de la STEP de Sidi Khouiled

photo 1: Des prétraitement

II.4.2.2.2 Lits de séchage

Les boues extraites sont acheminées et épandues sur les lits de séchage au moyen de pompes et de tuyaux de refoulement. Ces boues voient leur siccité augmenter grâce à

L'évaporation naturelle. A l'issue de ce séchage, mise en décharge ou épandage sur des cultures pour lesquelles elles constituent un amendement organique.

II.4.2.2.3 Le traitement biologique (secondaire)

Le premier bassin de traitement contient un système d'aération, Sa capacité 3300 m3 et sa profondeur 2.8 m il reste 4 jours pour se remplir, concernant Le deuxième bassin de traitement contient un système d'aération, Sa capacité 2200 m3 et sa profondeur 2.5 m il reste 2 jours pour se remplir, Le troisième bassin est un bassin naturel, absence de système d'aération Sa capacité 1282 m3 et sa profondeur 1.5m il reste un jour et demi pour se rempli. La **(photo2)** suivante résume les différentes étapes de traitement au niveau de la STEP de Sidi Khouiled

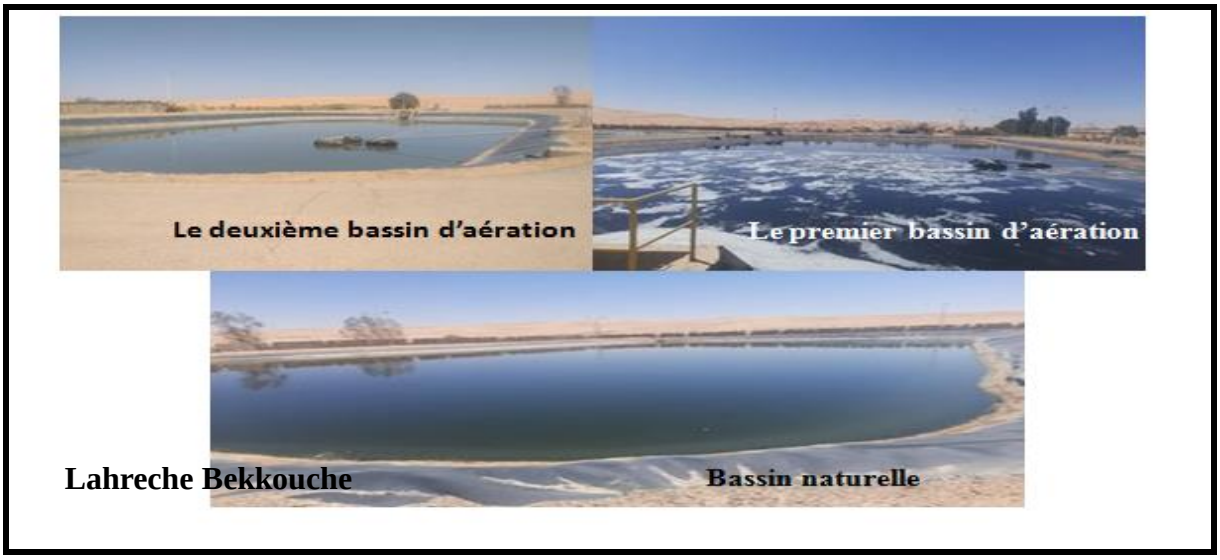


photo 2 :Les bassins de traitement biologique

II.4. 3 Critères de qualité des eaux usées pour l'irrigation

Tableau 7: Limites recommandées en éléments traces (mgL-1) dans les eaux usées épurées destinées à l'irrigation

Problèmes Potentiels en Irrigation	Unités	Degré de restriction à l'usage		
		Aucun	Léger à modéré	Sévère
Salinité				
EC_w[1]	dS/m	< 0.7	0.7 - 3.0	> 3.0
ou				
TDS	mg/l	< 450	450 – 2000	> 2000
Infiltration				
SAR[2] =0 - 3 et EC_w =	dS/m	> 0.7	0.7 - 0.2	< 0.2
=3 – 6 =		> 1.2	1.2 - 0.3	< 0.3
=6 – 12 =		> 1.9	1.9 - 0.5	< 0.5
=12 – 20 =		> 2.9	2.9 - 1.3	< 1.3
=20 – 40 =		> 5.0	5.0 - 2.9	< 2.9
Toxicité Spécifique des ions				
Sodium (Na)				
Irrigation de surface	SAR	< 3	3 – 9	> 9
Irrigation par aspersion	méq/l	< 3	> 3	
Chlorure(Cl)				
Irrigation de surface	méq/l	< 4	4 – 10	> 10
Irrigation par aspersion	méq/l	< 3	> 3	
Bore (B)	mg/l	< 0.7	0.7 - 3.0	> 3.0
effets divers				
Azote (NO_3-N)[3]	mg/l	< 5	5 – 30	> 30
Bicarbonate (HCO_3)	méq/l	< 1.5	1.5 - 8.5	> 8.5
pH	Gamme normale 6.5 - 8.4			

(FAO 2003)

Tableau 8: les critères de la qualité de l'eau pour l'irrigation

Elément	Utilisation a long terme	Utilisation a court terme
Aluminium	**0.5**	**20**
Arsenic	**0.1**	**2**
Béryllium	**0.1**	**0.5**
Bore	**0.75**	**2**
Cadmium	**0.01**	**0.05**
Chrome	**0.1**	**1**
Cobalt	**0.05**	**5**
Cuivre	**0.2**	**5**
Fluor	**1**	**15**
Fer	**5**	**20**
Plomb	**5**	**10**

II.4.3 Situation de la réutilisation des eaux usées dans l'agriculture en Algérie

En Algérie la réutilisation des eaux usées brutes en agriculture, quoiqu'interdite par la loi (Tamrabet, 2007) est devenue une réalité. 8% des terres irriguées, notamment en petite et Moyenne hydraulique, reçoivent des eaux usées non traitées. Cette pratique ne cesse de se développer en aval des centres urbains, des grandes et petites 34 agglomérations De ce fait de gros efforts sont à déployer à tous les niveaux aussi bien techniques, institutionnels, que règlementaires, pour améliorer le niveau d'utilisation avec le minimum de risque

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

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

Ils utilisent aussi des bassins de stockage de ces eaux polluées et hautement nocives pour la santé des agriculteurs. Les eaux usées véhiculent des éléments polluants qui posent des problèmes sur la santé publique et des risques de contaminer les sols, les plantes, les ouvriers agricoles et les consommateurs. Pour cela, les eaux usées brutes ne doivent pas être directement réutilisées, un traitement est toujours nécessaire **(BOUZIDI, 2020).**

Chapitre III

Caractérisation et dégradation des sols dans la région d'Ouargla

Chapitre III : Caractérisation et dégradation des sols dans la région d'Ouargla

Introduction

La salinisation du sol est un problème majeur à l'échelle du globe. Elle affecte environ 400millions d'hectares **(ROUDART, 2006)**. Est l'un des processus majeurs qui contribuent à la dégradation des terres agricoles et dont les effets se traduisent souvent parue désertification par ce phénomène nécessitent des études appropriées qui permettent d'évaluer son état actuel sera axée sur trois chapitres relatifs (a) à la salinité des sols, (b) aux techniques de son évaluation au laboratoire et sur terrain et (c) aux méthodes de sa cartographie. (**IRD, 2008 ; Boualla et al., 2012).**

En Algérie, les sols agricoles sont dans leur majorité affectés par la salinité ou susceptibles de l'être. Les sols salins sont répandus dans les basses plaines de l'Oranie, dans la vallée de la Mina préside Relizane, sur les hautes plaines Sud de Sétif et de Constantine et aux bords de certains chotts comme le chott Melghir. Ils ont aussi une grande extension dans les régions sahariennes au sud de Biskra jusqu'à Touggourt, Ouargla et au-delà **(Durand, 1983).**

Par la salinité dans les régions Sahariennes (Biskra, Touggourt, Ouargla et d'autres). Leur conductivité électrique est supérieure à 7 dS.m-1 **(DURAND, 1958).**

III.1 Généralités sur la salinisation des sols irriguées

III.1.1 Salinité et salinisation

III.1.1.1 Définition de la salinisation

La salinisation est le processus par lequel le sel s'accumule et migre à la surface du sol par des précipitations profondes. Dans la zone racinaire où il a un effet néfaste sur les plantes et le sol, il réduit le rendement et à long terme le sol assainit (**MERMOUD, 2006).**

III.1.1.2 Définition de la salinité

La salinité des sols est définie selon plusieurs auteurs comme étant la présence d'accumulation des sels dans le sol. Étant la présence de concentration excessive de sels solubles, ou lorsque les concentrations en Na, Ca, Mg **(BARBOUCHI et al, 2013).**

La salinité du sol est l'une des principales contraintes environnementales qui limitent la production végétale dans les régions arides et semi-arides, elle est souvent associée à sécheresse et elle entraîne une réduction des surfaces cultivables **(MARCUM, 2006 in NEDJMI, 2013).**

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 et sont ceux dont l'évolution est dominée par la présence de fortes quantités de sels solubles **(REZAGUI, 2017).**

La teneur en sel est le critère le plus important pour évaluer la qualité de l'eau d'irrigation Cette exprimée en conductivité ou ppm ou mé/l. En général, une augmentation de la teneur en sel de l'eau d'irrigation entraîne une augmentation de la salinité de la solution du sol **(REZAGUI 2017).**

III.1.1.4 Genèse de conditions salines et /ou sodique

La formation d'un sol salin ou sodique est généralement le résultat de l'accumulation des sels dans les horizons de surface **(CHURCHMAN et al,1993).**

Ce processus dépend en grande partie de l'état d'humidité du sol et de la source du sel. Lorsque le climat est chaud et sec, le sel peut s'accumuler à la surface car les flux d'évaporation sont transportés par l'eau capillaire. Les sels les plus courants dans les solutions de sol correspondent aux cations Ca2+, Mg2+, Na+, K+, et aux anions Cl-, SO4-2, CO3- **(REZAGUI, 2017).**

La salinité se produit si : CEi×**Qi >CEi×Qi**

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),** cité par (**REZAGUI, 2017).** La salinisation du sol peut être due à :

- Lixiviation et évaporation des sels solubles, permettant aux sels de se déposer dans le sol.
- À l'état non saturé, la remontée capillaire entraîne le transport du sel à la surface du sol par flux de masse et s'accumule à la surface du sol après l'évaporation de l'eau

III.1.1.6 Types de la salinisation

La salinisation environnementale, signifie qu'il existe une source naturelle de sel, appelée salinisation primaire et salinisation anthropique, généralement associée à l'irrigation, qui sera appelée salinisation secondaire (**CHERBUY ,1991).**

III.1.1.6.1 Salinisation primaire ou naturelle

La salinisation primaire, d'origine géologique, un processus lié à la pédogenèse, en autre terme à l'altération des roches salifère quilibèrent des sels sous l'effet de différents facteurs géologiques, géomorphologiques et climatiques **(GUCHER et BRUDIN, 1974 in MISSAOUI, 1991).**

III.1.1.6.2 Salinisation secondaire

La salinisation d'origine secondaire induite par l'activité humaine, liée à des pratiques agricoles **(MERMOUD, 2006)**.

C'est un processus d'enrichissement d'un sol en sels solubles par l'approvisionnement en eau pour l'irrigation. La salinisation peut être causée par la remontée capillaire des eaux souterraines salines ou résulter d'une irrigation réalisée avec de l'eau saline et les échanges de cations entre le sol **(IPTRID, 2006)**

III.1.1 .7 Conditions climatiques de la salure

Les climats Contiennent deux caractéristiques de la mobilisation et de l'accumulation du salant **(REZAGUI, 2017).**

- Régimes pluviométriques irréguliers, dominés par de fortes pluies soudaines et séparés par des périodes de sécheresse : Ce mécanisme de mobilisation du sel, assuré par de fortes pluies, peut éventuellement séparer les matières solides salées des sédiments d'origine et les transporter par ruissellement. Cette eau s'accumule alors, provoquant la remontée de la nappe phréatique**.**
- Une période 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

La classification des sols salés en deux classe complexe sodique ou sols alcalins et Sols salins à complexe calcique **(REZAGUI ,2017).**

III.1.1.8.1 Sols à complexe sodique ou sols alcalins

Selon **(REZAGUI, 2017)** Se Caractérisent par une saturation en Na et une accumulation des sels en profondeur. Ces sols se caractérisent par la présence d'une quantité de sodium qui dépasse les 15% de la Capacité d'Echange Cationique. La conductivité électrique (C.E) ne dépasse pas 4 ds/m 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

III.1.1.8.2 Sols salins à complexe calcique

Ils se caractérisent par un pH inférieur à 8,5 et supérieur à 7 et le sodium ne dépasse pas 50% des cations en solution (**DAJOZ, 1982).** La conductivité électrique est supérieure à 4,5 dS.m-1 à 25°C, avec un taux de sodium échangeable inférieur à 15% de la C.E.C du sol. (**DUCHAUFOUR, 1983).**

III.1.1.9 Caractères des sels

III.1.1.9.1. Solubilité des sels

Les sels solubles sont tous les sels plus solubles dans l'eau que le gypse. Les sels les plus fréquents dans les régions arides et semi-arides sont surtout les Chlorure set les sulfates de sodium, les sulfates de magnésium et à un moindre degré les carbonates de sodium

(HALITIM, 1988). Leur concentration globale est généralement exprimée par la conductivité électrique qui représente en réalité la conductivité électrolytique

III.1.1.9.2. Mobilité des sels

Les sels dans le sol déplacent d'un horizon vers un autre sous l'action de divers facteurs. Les sels les plus solubles sont les plus mobiles mais leur mobilité dépend : des états physiques de l'eau du sol, et de sa texture **(AUBERT, 1978).**

III.1.1.10 Mesures de la salinité

III.1.1.10.1 La conductivité électrique

La mesure de Conductivité électrique (CE) : permet d'estimer la salinité globale dans le sol. La salinité est mesurée par la Cde l'extrait de pâte saturée ou l'extrait dilué du sol. Elles exprimée en en ds/m à 25°C **(HADDAD et ABBES, 2015).**

Tableau 9: Classes de salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait aqueux 1/5 à 25C

Classe de salinité	CEt extrait 1/5 à 25°C
❖ **Non salé**	**CE ≤ 0.6**
❖ **Légèrement salé**	**0.6 < CE ≤ 1**
❖ **Salé**	**1< CE ≤ 2**
❖ **Très salé**	**2< CE ≤ 4**
❖ **Extrêmement salé**	**CE > 4**

III.1.1.10.2 Sels totaux dissous

La salinité du sol et de l'eau a été évaluée en déterminant la quantité totale de sels dissous dans la solution jusqu'à l'évaporation de l'eau ensuit précipiter les sels dont le poids est ensuite déterminé. L'extraction des sels dans le sol s'effectuer par (**REZAGUI, 2017).**

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).

III.1.1.11 Répartition et importance des sols salés

Les sols salés occupent des superficies étendues et constituent un grand problème pour l'agriculture. De l'ensemble des sols cultivés du monde, 23 % sont affectés par des problèmes de salinité (**Keren, 2000).** Les sols salins couvrent 397 millions d'hectares et les sols sodiques 434 millions d'hectares (**FAO, 2005).** Leur distribution géographique se superpose presque entièrement à celle des zones arides et semi arides et des zones côtières **(DURAND, 1983)**

En Algérie, les sols agricoles sont dans leur majorité, affectés par la salinité ou susceptibles de l'être **(DURAND, 1958).** Les sols salins sont très répondus dans les basses plaines de l'Orane, dans la vallée de Mina près de Relizane, sur les hautes plaines au sud de Sétif et de Constantine, aux bords de certains chotts. Ils ont aussi une grande extension dans les régions sahariennes au sud de Biskra jusqu'à Touggourt, Ouargla et au-delà. **(DURAND, 1958).** Les sols salés d'Algérie sont caractérisés en général par une conductivité électrique supérieure à 7 dS.m-1.

III.1.1.12 Mise en valeur des sols salés

Selon (**REZAGUI 2017)** Pour une bonne mise en valeur des sols salés il faut :

- L'utilisation des plantes résistantes à la salinité.
- L'utilisation de la fertilité par des amendements qui enrichissent le sol
- L'élimination des excès en sels par le drainage de la nappe salée

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

III.2.1 Classifications pédologiques

La cuvette de Ouargla est caractérisée par une grande hétérogénéité de sols représentés par les Leptosols les Arenosolaridic, les Stagnosols, Gley sols, les Solonchaks et par les Gypsicoles **(Daoud et Halitim 1994).**

Selon L'étude de (**HAMDI-AÏSSA 2001)** réalisée avec prospection sur Terrain a montré que les sols dans la région d'Ouargla sont sols sodiques, hydro-halomorphe et minéraux bruts. Montre qu'ils sont constitués de cinq Pédopaysages :

- Un plateau à 180-200 m d'altitude, caractérisé par une croûte pétro calcique

Les versants ouest du glacier et le bassin sont principalement recouverts de matériaux Alluvions - Éoliennes, sans développement significatif du sol (régosols de sable et/ou de gravier

- Les glacis de 180m et 160m plus visibles est caractérisée par l'affleurement du substrat gréseux du Moi-pliocène, le glaciés de 160m a été fortement démantelé lors de la formation du dernier glacis de 140m d'altitude environ
- La présence du Pédopaysages 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 sous-surface et croûtes salines de surface
- La présence du Pédopaysages salin à croûtes salines de surface.

III.2.2 Cause de la dégradation des sols

Les problèmes essentiels de la dégradation de sol sont principalement la remontée des eaux phréatiques et la salinisation des sols (**HAMDI-AÏSSA, 2001).**

III.2.2.1 Remontée de la nappe phréatique

Les Causes de la montée des eaux souterraines dans le sud-est algérien sont pour la plupart la mauvaise gestion, Utilisation des eaux usées et agricoles, et tendances hydrogéologiques et topographiques défavorable (**HAMDI-AISSA, 2001).**

Le niveau des nappes phréatiques est variable en Fonction du niveau de drainage dans les régions phoenicicole. Il est 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 Rih, et Ouargla **(DUTIL, 1971)**

III.2.2.2 Salinisation des sols

La salinisation est un problème Général du Sahara. Ceci est dû au manque de maîtrise de l'irrigation et du drainage des palmeraies (**DURAND, 1958).**

Le drainage est difficile dans les régions sahariennes soumises au phénomène de remontée des eaux phréatiques, qui est un problème d'exutoire pour les eaux de drainage (**ROUABE KAZOUZ, 2020**).

III.2.3 Conséquence de la dégradation de sol

La dégradation de sol dans la région d'Ouargla, par salinisation et remontée des eaux phréatiques la nappe près de la surface, présente des conséquences néfastes sur le sol (**DJERBI, 1994).**

La salinisation est un problème Général du Sahara. Ceci est dû au manque de maîtrise de l'irrigation et du drainage des palmeraies et la toxicité spécifique de certains ions **(ROUABEH- KAZOUZ, 2020).**

III.2.3.1 Effets de la nappe phréatique

La remonte de la nappe phréatique présente des conséquences et des problèmes néfastes sur le sol, physique, physico-chimique, chimique et biologique **(DJERBI, 1994).**

Selon **(CALLOT et al, 1982).** Les conséquences physiques sont l'instabilité structurale et le faible de l'aération des sols (Hydromorphie). La pauvreté en oxygène dans les sols produit l'asphyxie et la pourriture racinaire chez les végétaux.

Les problèmes physico-chimiques sont salinisation et l'alcalinisation des sols et l'augmentation du niveau de la nappe phréatique augmente l'évaporation des eaux phréatiques et les dépôts salins dans le sol **(DURAND, 1958).**

L'action néfaste des nappes superficielles sur les propriétés chimiques du sol se traduit deux niveaux. Le premier par la modification des formes de Fe et Mn, la Réduction des oxydes ferriques, en **(DUBOST, 1991).** Le deuxième problème chimique, c'est les accumulations gypseuses. La nappe phréatique proche de la surface chargée en sels, dans les climats hyper arides favorise l'accumulation du gypse **(DURAND, 1958).**

III.2.3.2 Effets de la salinisation

La salinisation due 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. **(ROUABEH, KAZOUZ 2020)**

Les problèmes engendrés sont la salinité et la sodicité 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 : NaCl, $Na_2SO_4 10H_2O$, Na_2SO_4, $MgSO_4$, 7H2O, $CaSO_4$, $2H_2O$) et alcalines (tel : Na_2CO_3, $NaHCO_3$, $2H_2O$, $NaHCO_3$, $2Na_2SO_4$, Na_2CO_3). **(ROUABEH, KAZOUZ 2020).**

Partie II

Etude expérimentale

Chapitre IV

Matériel et méthodes

Chapitre IV : Matériel et méthodes

IV.1 Matériel d'étude

IV.1.1 Choix de la zone d'étude

Les monolithes du sol ont été prélevés dans une exploitation du côté de la commune de Hassi Ben Abdallah, cette dernière est située à 30 km à l'est de la wilaya de Ouargla, et à 8 km de son chef-lieu de daïra Sidi Khouiled. Elle s'étend sur une superficie de 1762 km², avec une population de 4950 habitants **(APC de HBA, 2009).** Le choix de la zone de Hassi Ben Abd Allah est guidé par un ensemble de facteurs :

 Cette région reste sans conteste l'une des régions pilotes en matière de mise en valeur et qui a connu une dynamique agricole notable par rapport aux autres régions de la wilaya de Ouargla. 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**).

 La profondeur considérable de la nappe phréatique **(BENAISSA, 2017)** et de ce fait l'élimination d'une éventuelle contamination du sol par les sels de cette dernière.

Figure 10: Situation géographique du site expérimental (Google Earth2021)

IV.1.1.1 Site de prélèvement

Le travail du prélèvement des monolithes est réalisé il y a environ une année dans le cadre d'une thèse de doctorat, les colonnes du sol non remaniées ont étaient prélevées dans

Une jeune palmeraie de 1 ha de superficie, sur la base d'une étude morphologique préliminaire du sol.

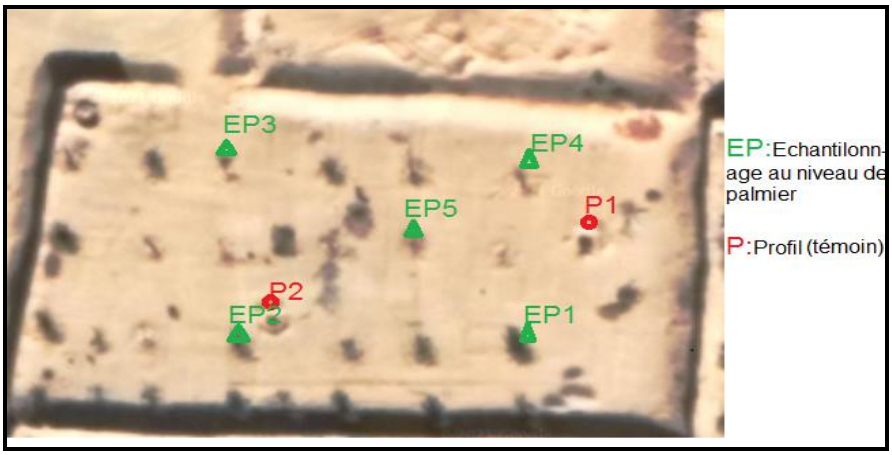


Figure 11: Situation géographique du site expérimental (GOOGLE EARTH2021)

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 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 pendant 4 mois

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

L'exploitation est située au sud-ouest de la ville d'Ouargla à environ six kilomètres du centre-ville. Elle se présente sous 'une grande uniformité topographique. (**CHETOUI ,2018).**

La superficie de l'exploitation est 32 ha, dont 16 hectares sont aménagés et répartis en quatre secteurs, à savoir : A1, A2, C1 et C2. Le reste des secteurs E, F, G et H Correspond à l'extension non exploitée photo 3. Actuellement, une partie de la superficie a été attribuée au pôle. La photo 3 suivante représente la situation de la station expérimentale.

photo 3 : Secteur de l'exploitation de I.T.A.S (GOOGLE EARTH 2022)

IV1.2.1.2 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 1.2 m de sorte que les colonnes soient complètement enterrées mais le dispositif permet le drainage des eaux excédentaire. La Photo 4 représente d'installation des colonnes du sol.

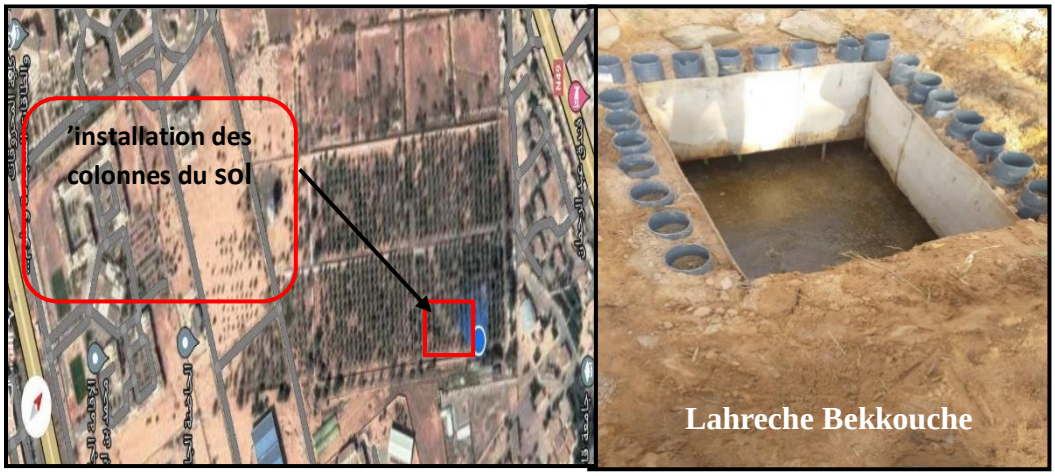


photo 4: localisation de dispositif expérimentale dans le secteur A1 l'exploitation

IV. 1.3 Approche méthodologique

Ce travail consiste en un suivi de l'évolution des paramètres physico-chimiques du sol, dans des conditions contrôlées, conduit sous irrigation avec deux types d'eau :

Une eau souterraine qui constitue la principale ressource en eau utilisée dans la région de Ouargla et une eau usée épurée vue comme une nouvelle ressource non conventionnelle.

Comme il a été déjà signalé ; les monolithes du sol ont été prélevés et installés au niveau de l'exploitation de l'université de Ouargla dans le cadre de thèse de doctorat. Notre travail consiste à l'irrigation de ces colonnes pendant une durée bien déterminée. La figure12 montre les étapes méthodologiques de la réalisation de l'expérimentation.

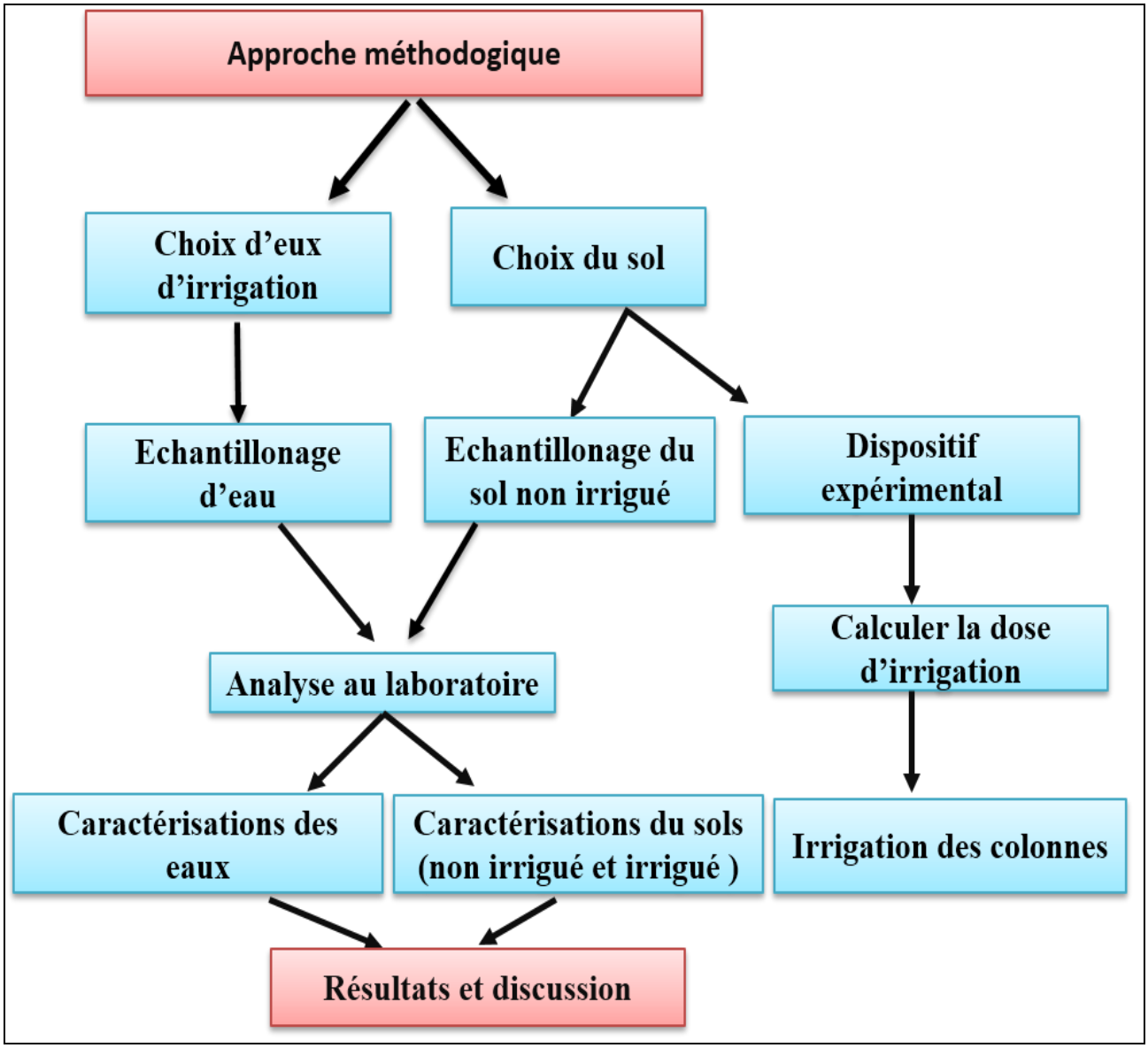


Figure 12 :Approche méthodologique d'étude

IV.2 Protocol expérimental

IV.2.2.1 Prélèvement des monolithes du sol et leur installation

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

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

IV.2.2.2 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 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 5.** L'ensemble des colonnes en PVC contenues le sol non remanié sont fixées dans des supports en aciers et enterrés en plein champs sous palmiers dattiers, **photo 6** au niveau de l'exploitation de l'UKMO.

photo 5 : colonnes des monolithes (2021)

photo 6 : Fixation des colonnes des monolithes

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 six blocs, trois

Irrigués par les eaux usées épurées et trois par les eaux souterraines ; chaque bloc est composé de quatre colonnes de percolations.

Dans notre travail on a travaillé sur trois colonnes de chaque bloc ce qui fait 18 colonnes de percolation.

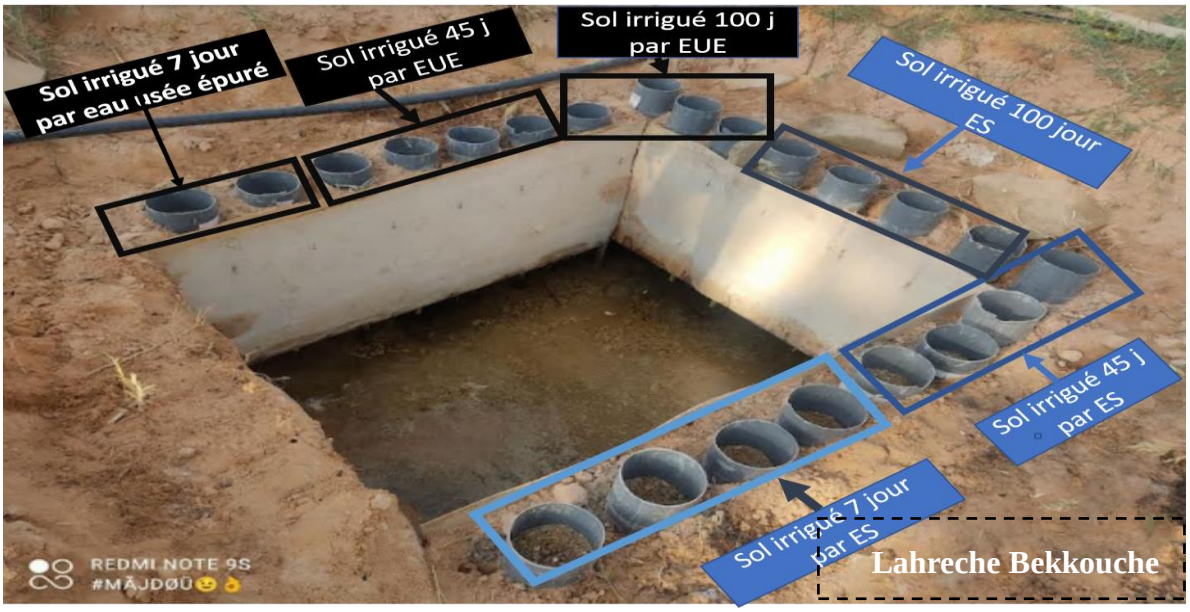


photo 7: dispositif expérimental.

IV-2-2-2-1 Calcul de la dose

La réserve utile d'un sol est la quantité d'eau maximale qu'il peut retenir et qui peut être utilisées par la plante (**Doussan, 2017).**

$$RU= (Hpcc-HppF) *Zr*da$$

Zr : profondeur racinaire en dm ; Hpcc et HppF sont les humidités pondérales ou volumique du sol m3/m3 (Hv = Hp * da). Da : densité apparente.

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 du sol en eau avec l'épaisseur du sol ; la hauteur du sol dans la colonne du sol non remanier **H = 60cm.**

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 da la journée **(RASSOUL 2019).**

$$CSE= HCr *E * da$$

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

La mesuré de l'humidité à la capacité de rétention est faite par la méthode de la marmite de richard **HCr = 5 %.**

Avec : **Hv** 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 × 5 ×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.2.2.2.2 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 jours.

2- (Décembre) = 12.6 / 2.45 = 5 jours. 4 - (Janvier) = 12.6 / 2.78 = 4 jours.

Calcul du volume d'eau à apporter à chaque irrigation

- Calcule la surface de monolithe (S)

D = Diamètre des monolithes du sol.

$$S = \frac{\pi \times D2}{4} \qquad S = 0.020096 = 200.96 \times 10^{-4}\ m^2$$

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 m^3 à l'hectare. Pour une surface de 200.96 $\times 10^{-4}$ m^2 le volume correspondant en litre est de 253ml.

Le tableau suivant résume les dates pendant lesquelles on a effectuées l'irrigation des colonnes du sol pendant 4 mois.

Tableau 10: Dates d'irrigation pendant la période de l'expérimentation

Mois	Octobre	Novembre (2021)	Décembre	Janvier
7 jours	20/22/24/26	/	/	/
45 jours	20/22/24/26/28/30	01/06/07/10/13/16/22/25/28	06/11/	/
100 jours	20/22/24/2/28/30	01/06/07/10/13/16/22/25/28	06/11/16/21/26/31	05/10/15/20/25

IV.2.3 Echantillonnage du sol et des eaux

IV.2.3.1 Echantillonnage du sol

IV.2.3.1.1 Echantillonnage du 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

photo 8: Echantillonnage du sol non irrigué

IV.2.3.1.1 Echantillonnage du 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 (cylindrique) de 1,5 m de longueur sur la profondeur de la colonne (0- 60 cm). La photos 9 illustrent les prélèvements des échantillons du sol au niveau des monolithes.

photo 9: Prélèvement du sol (2021)

IV.2.3.2 Échantillonnage de l'eau

Dans notre travail on a irrigué avec deux types d'eau, une eau souterraine qui provient du forage de la nappe Sénonienne et une eau usée épurée prélevée au niveau de la station d'épuration de Sidi Khouiled.

Les deux échantillons ont été prélevés dans des bouteilles en polyéthylènes dont on a prêt le soin de bien fermer pour éviter toute oxydation ou dégazage. La **Photo 10** et **Photo 11**

photo 10: Prélèvement de l'eau souterraine

photo 11: Prélèvement d'eau usée épurée

IV.2.4 Méthodes d'analyse des eaux et des sols

IV.2.4.1 Méthodes d'analyse des eaux

Les analyses physico-chimiques et chimiques des eaux, sont faites au niveau des laboratoires de Géologie du Sahara de l'Université de Ouargla, du centre de recherche des analyses physiques et chimiques (CRAPC) et le laboratoire Génie de L'eau et de l'environnement en milieu saharien.

IV.2.4.1 1 Conductivité Electrique : La (C.E) est déterminé selon les protocoles de l'AFNOR (° NF T 90- 008 et NF EN 27888) en utilisant un conductimètre (HANNA INSTRUMENT HI 8733).

IV.2.4.1 2 pH : mesuré au pH mètre (HANNA 8424) **(Annexe I**) (AFNOR, 1999).

IV.2.4.1 3 Charge saline : elle estimer par la détermination par le résidu sec (R.S.) représente le poids de sels solubles par litre d'eau, séché à 110° C. **(DURAND, 1958)**

IV.2.4.1 4 Faciès chimique : Les analyses ont été effectuées au laboratoire selon les techniques standard (Rodier, 1984). Le faciès chimique déterminé par le bilan ionique Cationique (Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+}, Na^{+}) et anionique (Cl^{-}, HCO_3^{-}, SO_4^{-}) et présenter dans le diagramme de PIPER.

IV.2.4.1 5 Bilan cationique pour Mg^{2+} et Ca^{2+}, on a utilisé la méthode de titrage molaire des ions de calcium et de magnésium avec une solution de sel disodique de l'acide éthylène diamine tétra acétique (EDTA) à pH10. Le noir iriochrome, qui donne une couleur rouge foncé ou violette en présence des ions calcium et magnésium, est utilisé comme indicateur. Pour les cations (Na^{+}, K^{+}) : les dosages sont réalisés par spectrophotomètre d'émission atomique (photomètre à flamme).

IV.2.4.1.5.1 PH

Opération est exécutée par la méthode électrométrique à l'aide d'un pH mètre électrodes de verre étalonné Appareil : Multi (HQ 40d). Réactifs : solution tampon de pH connu.

IV.2. 4.1.2 Conductivité Électriques

La conductivité électrique est la mesure de la teneur en sels solubles d'une solution ; elle est mesurée par un conductimètre à une température de 25°C avec. Appareil : Multi (HQ 40d).

IV.2.4.1. 3 Dosage des cations.

Dosage du Calcium (Ca2+), Sodium (Na+) et le Potassium (K+)

Les trois cations ont été déterminés **par spectrophotométrie à flamme.**

- ✓ Appareil : Un spectrophotomètre à flamme (JENWAY PFP7).
- ✓ Réactifs : Solutions étalons de chaque élément.

photo 12 : Spectrophotomètre à flamme

Dosage du Magnésium (Mg++)

Ces éléments ont été déterminés par **la méthode par titration (Annexe 8**) à l'EDTA (Ethylène Diamine Tétra Acétique) qui nous permet de réaliser un dosage de la somme de magnésium. **(RODIER et al, 2005).**

- ✓ Réactifs : Sel disodique de l'acide Ethylène Diamino Tétra Acétique (EDTA). Noir d'iriochrome T (indicateur coloré), Solution tampon pH = (8 à10).

IV.2.4.1.4 Dosage des anions

Dosage des Dosage Cl-

Sont dosés suivant **la méthode protection métrique** (**Annexe 8)**. Ils précipitent sous forme 'AgCl2 en présence d'AgNo3.

- ✓ Appareil : Titrino plus 848 de marque Metrohm type argent massif une électrode.
- ✓ Réactifs : Acide nitrique (HNO 3) à 65 % massique, $AgNO_3$ de 0,1 mol L^{-1}(selon la teneur en ions Cl^-).

photo 13:Titrino plus 848 (2022)

Dosage des sulfates $SO4^{2+}$

La méthode **gravimétrique** (**Annexe 8)** présentée est basée sur le principe de faire précipiter les sulfates sous forme de sulfate de baryum par le chlorure de baryum.

- ✓ Appareil : Dispositive de filtration sous vide
- ✓ Réactifs : Solution de chlorure de baryum à 0.05 % HCl 0.5 M.

Dosage des carbonates ($CO3^{-2}$) et bicarbonates (HCO3-)

Il a été effectué par titrimétrie **(Annexe 8)** qui a nécessité l'emploi effectué par titrimétrie à H2SO4 (0,1N) en présence des indicateurs (Phénolphtaléine et orange de méthyle) ; la fin de la réaction est indiquée par l'apparition de la couleur rosâtre.

- ✓ Réactifs : acide sulfurique (0.02 N), dilue 0.5 ml de H2SO4 et 1.64 ml de HCL

IV.2.4.1 .5 Oxygène dessousO2 (l'eau usées épurée)

C'est la détermination d'oxygène dissous à l'aide d'un oxymètre

- ✓ Appareil : multiparameter type HI9829
- ✓ Mode opératoire :
- Allumer l'oxymètre.
- Rincer l'électrode avec l'eau distillée.
- Prendre un bécher et verser l'échantillon.
- Entrer l'électrode dans l'échantillon et lire le résultat sur l'afficheur de l'oxymètre.

photo 14: multi paramètre type HI9829

IV.2.4.1.6 La demande biochimique en oxygène (DBO5)

La détermination de la DBO5 consiste à mesurer la concentration d'oxygène par voie biologique à une température constante égale à 20 C° (**Ouali., 2001)** Par convention, la DBO5 est la valeur obtenue après cinq jours d'incubation **(Dafri., 2008)** à l'aide d'un appareil DBO.

- ✓ Appareil : DBO type BD 600
- ✓ Mode opératoire

- Gamme **:** 700 pour l'eau brute ,350 pour l'eau épurée

- Introduire dans deux bouteilles de l'appareil DBO d'eau brute (95ml) et d'eau épurée (160ml).
- Poser un agitateur puis ajouter une base quel que soit le NaOH ou KOH mais dans le laboratoire on utilise Hydroxyde de Lithium qui absorbe le CO2dégagé lors de l'oxydation. Fermer les bouteilles et les mettre dans l'appareil de DBO pendant 5 jours

photo 15 : DBO type BD 600 (2022)

IV 2.4.1.7 De

Oxydation à chaud (150 C°), pendant 2h en milieu acide, en présence d'un excès d'oxydant. On évalue la quantité d'oxygène (en mg /l), utilisée par les réactions d'oxydation en déterminant la quantité d'oxydant résiduelle. Spectrophotomètre

photo 16 : Spectrophotomètre

IV 2.5 Méthodes Analyses du sol

Nous avons fait nos analyses, physico-chimiques et chimiques du sol 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 géologie (Université de Ouargla).et centre d'analyses physiques et chimiques **(CRAPC)**.

IV.2 .5.1 Les analyses physiques de sol

IV.2 .5 .1.1 Granulométrie

L'analyse granulométrique a été faite par méthode du tamisage par vois humide pour la fraction sableuse effectuée sur des échantillons de la terre fine (< 2 mm), séchés à l'air libre

IV.2.5 .1.2 Calcaire

Le taux de calcaire total est déterminé par acidimétrie volumétrique : on ajoute à l'échantillon l'acide chlorhydrique dilue 1/2 ; le volume de gaz carbonique dégagé est mesuré à l'aide du calcimètre de Bernard et comparé au volume produit par du carbonate de calcium pur.

- ✓ Appareil : calcimètre.
- ✓ Réactifs : chlorhydrique dilue ½, Caco3 (0.3g).

IV.2.5 .1 .3Humidité

Elle exprime la quantité d'eau contenue dans le sol. Elle est mesurée par rapport à la quantité de terre sèche contenue dans ce sol et exprimée en pourcent **(AUBERT G., 1978).**

La Méthode consiste à sécher l'échantillon 100g du sol à l'étuve à 105°C jusqu'à pendant 24 heures un poids constant, la différence de poids avant et après le séchage correspond à la quantité d'eau.

IV.2.5.1 .4 Gypse

Le dosage du gypse a été effectué par Méthode De L'acétone

IV.2.5.2 Analyses physico-chimiques de (sol non irrigué et irrigué)

Nous avons utilisé la méthode des extractions aqueuses de rapports pondéraux sol/eau fixes et particulièrement 1/5 car elle est plus rapide et moins consommatrice d'eau et permet une Etude de l'évolution dans le temps et /ou l'espace de la salinité par déterminations du profil salin potentiel **(PAUWELS, 1992)**

IV.2.5.2.1 Préparation des extraits

Le deuxième échantillonnage a été effectué le 07/02/2022 en laboratoire de la faculté des Sciences de la Nature et de la Vie (Université de Ouargla). Pour la préparation de l'extrait dilué 1/5 :

On pèse 50 g de terre fine (< 2mm) séchée à l'air libre que l'on introduit dans une fiole de 250 ml à la quelle est ajouté 125 ml d'eau distillée. Le tout est agité énergétiquement pendant 1 heure à l'aide d'un agitateur magnétique.

Par la suite, nous avons filtré le mélange à l'aide d'un papier filtre et d'un entonnoir en Verre dans une autre bouteille.

IV.2.5.2.2PH

La mesure extrait a été effectuée par pH mètre, extrait aqueux (1/5) le même travail de (matériel et méthode analyse de l'eau).

IV.2.5.2.3 Conductivité électrique CE

Selon **(Aubert, 1978)** La conductivité est en fonction de la concentration des sels dissous dans la solution du sol. On a Elle est mesurée par un conductimètre à une température de 25°C avec un extrait du sol de 1/5.

IV.2.5.2.4 Dosage des sels solubles (cations)

La mesure extrait (1/5) le dosage de extraits Na+, et extraits K+ et extraits Ca++ se fait à l'aide d'un spectrophotomètre à flamme a (le même travail de matériel et méthode analyse de l'eau).

IV.2.5.2.5 Dosage des sels solubles (anions)

-SO4—2 il s'agit de la méthode gravimétrique (Annexe 8), elle consiste à précipiter les ions SO4-2 sous forme de sulfate de baryum en présence du chlorure concentré à 10%.

-Bicarbonate (HCO3--) (Annexe 8) effectué par titrimétrie à H2SO4 (0,1 N) en présence des indicateurs (Phénolphtaléine et orange de méthyle) ; la fin de la réaction est indiquée par l'apparition de la couleur rosâtre.

-Cl- la méthode potention Annexe 8 métrique et (le même travail de matériel et méthode analyse de l'eau).

Chapitre V

Résultats et discussion

Chapitre V : Résultats et discussion

V. Caractérisation hydro édaphique

V.1 Caractérisation et classification des eaux d'irrigation

V.1.1 Caractérisation de la qualité des eaux d'irrigation

Dans la région de Ouargla, l'irrigation est indispensable pour une éventuelle mise en valeur des terres ; avec un tel climat dont les précipitations sont rares mené une culture nécessite des quantités considérables d'eau.

La principale ressource disponible dans cette zone, et utilisée dans l'ensemble des secteurs, est les eaux souterraines de l'aquifère albien et du complexe intercalaire.

L'objectif de notre étude est de caractériser la qualité physico chimique des eaux et évaluer leur aptitude à l'irrigation.

La classification des eaux d'irrigation, tient compte des conditions d'utilisation de ces eaux et des caractéristiques du sol, tels que le taux d'infiltration, le drainage ainsi que la tolérance des cultures **(DURAND, 1983).**

Tableau 11: Résultats des analyses d'eau souterraine et de l'eau usée épuré

Paramètres		**Concentrations**	
		EUE	**ES**
PH		**7.11**	**6.77**
CE à 25 °C en (ds/cm)		**6.45**	**4.37**
Cations solubles (mé/l)	**Na^+**	**26.51**	**11.93**
	Ca^{++}	**12.69**	**9.36**
	Mg^{++}	**8.40**	**10.69**
	K+	**2.80**	**0.58**
Anions solubles (mé/l)	**Cl^-**	**25.92**	**16.50**
	SO_4^{--}	**17.36**	**13.52**
	HCO_3^-	**7.80**	**0.40**
	CO3--	**0**	**2.91**
DCO (mg/l)		**54.76**	/
O^2+ (mg)		**15.07**	/
DBO_5 (mg/l)		**62.66**	/
SAR		**8,17**	**3,77**
Formule caractéristique		**Cl^-> SO_4^{--}> HCO_3^-> CO3- Na^+> Ca^{++}> Mg^{++}> K+**	**Cl^-> SO_4^{--}> CO3- >HCO_3^- Na^+>Mg^{++}> Ca^{++}> K+**
Faciès chimique		**Chloruré sodique**	**Chloruré sodique**

EUE : eau usée épurée. **ES :** eau souterraine (la nappe Sénonienne)

V. 1.1.1 Potentiel d'hydrogène des eaux

L'analyse du tableau précédent montre que la valeur du pH des eaux étudiées est située dans la fourchette (6.7 et 7.1) et de ce fait, on peut les qualifiés de neutres à faiblement alcalin. Selon les directives de la (**FAO, 1974)** ces eaux peuvent être utilisées dans l'irrigation sans aucune restriction.

V.1.1.2 Faciès chimique

L'analyse du tableau précédent montre que le faciès chimique des eaux étudiées est **chloruré sodique** ; la projection sur le diagramme de piper est donnée par la figure13 suivante :

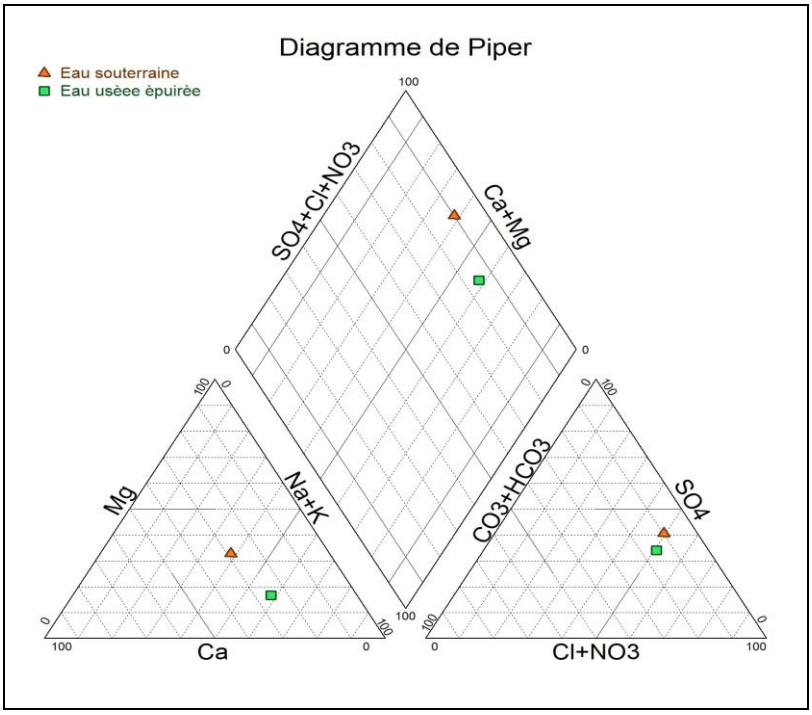


Figure 13 : Projection sur le diagramme de Piper des résultats chimiques des eaux étudiées.

- **Chlorures :** l'analyse des résultats cosignés dans le tableau 11 montrent que l'ion chlorure est le plus dominant dans la composition ionique des eaux étudiées. Selon les directives de la FAO, in (Ayers et Wescot, 1988), Ces eaux sont fortement déconseillées à l'utilisation dans l'irrigation.

V.1. 1.3 Aptitude des eaux à l'irrigation

Selon la CE

La conductivité électrique de l'eau usée épurée est de **6,45 dS/m,** selon la classification de (**Durand, 1958)** cette eau appartient à la classe **C5** dont une eau à salinité Excessive. Selon la même classification l'eau souterraine utilisée dans l'irrigation, avec une CE de **4.37 dS/m**, appartient à la classe **C4** et dont une eau à très forte salinité son utilisation dans l'irrigation entraine un risque très élevé.

La salinité très élevée de l'eau usée épurée peut être expliquée par le séjour de l'eau dans les bassins du lagunage, et de ce fait la concentration de l'eau à cause du phénomène d'irrigation.

Selon SAR

Les valeurs du S.A.R. des eaux étudiées sont inférieures à 10 ; et selon la classification du (**DURAND,1982**) elles appartiennent à la **classe S1**, dont un taux de Sodium faible et elles peuvent être utilisées dans l'irrigation de presque tous les sols.

Projection sur le diagramme de RIVERSIDE

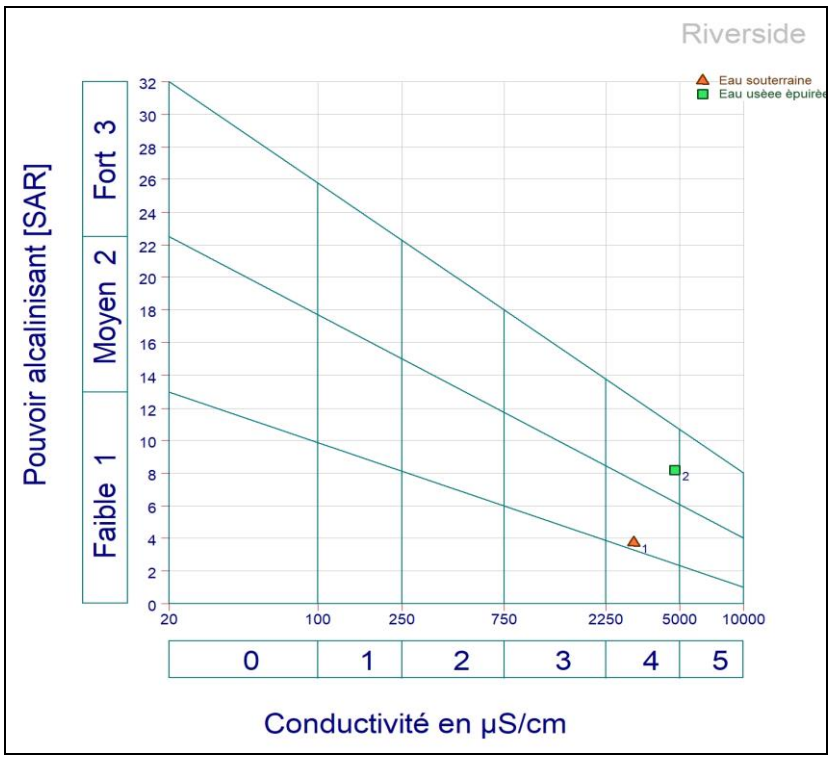


Figure 14: Classification des eaux d'irrigation (U.S.S.L, 1954)

L'analyse de la figure 14, montre que : L'eau souterraine appartient à la classe **C4S1** Eau de qualité médiocre à mauvaise, utilisée avec précaution pour les sols lourds et les plantes sensibles, L'eau usée épurée appartient à la classe **C4S1** dont une eau d'une qualité très mauvaise à n'utilisé que dans des circonstances exceptionnelles

V. 1.1.4 Paramètres de pollution de l'eau usée épurée

V .1.1.4.1 La demande biochimique en oxygène (DBO5) et (DCO)

Les résultats obtenus par notre étude en indiquant les valeurs des principaux paramètres situant la qualité des eaux dans la station d'épuration des eaux usées. L'examen de l'ensemble de ces résultats permet de distinguer les faits expliqué ci-dessous. La charge polluante organique est présentée par les paramètres de suivi suivantes (DBO5, DCO, la turbidité et O2 dissous…)

Concentrations en (DBO_5) 62,66 mg/l **Tableau11** sont supérieure aux normes de rejet de l'OMS et celle de l'Algérie (annexe5.).

Concernant la valeur de demande chimique en oxygène **(DCO)** 54.76 mg/l **Tableau11** sont aux normes de rejet de l'OMS et celle de l'Algérie (annexe 05.).

Selon (**RODIER et al, 2009**). Les eaux résiduaires urbaines contiennent dans sa majorité des composés organiques biodégradables, le rapport DCO/DBO_5 constitue un indice de biodégradabilité c'est à dire DCO/DBO5 < 3 les effluents de la station d'épuration sont considérés comme facilement biodégradables. Dans le présent cas d'étude le rapport DCO/DBO5 est égal à 1.14 qui signifie que la matière qui contient les eaux usées dans la STEP de Ouargla est biodégradable.

V.2 Caractérisation des sols de la zone d'étude

V.2.1 Caractéristique physico-chimiques du sol non irrigué

Le tableau suivant résume les résultats moyens des analyses physico-chimiques du sol non irrigué.

Tableau 12: Résultats moyens des analyses physico-chimiques du sol non irrigué

Paramètres		**Valeurs**
Profondeur (cm)		0 -60
PH		6,79
CE à 25 °C en (ms/cm)		1,98
Granulométrie (%)	**Sable grossier**	6,66
	Sable moyen	71.7
	Sable fin	21.13
	Limon+argile	0.57
Texture		Sableuse
Cations solubles (mé/l)	Na^+	7.63
	Ca^{++}	4.03
	Mg^{++}	2.56
	K+	1.03
Anions solubles (mé/l)	Cl^-	4.87
	SO_4^{--}	8.96
	HCO_3^-	1.23
	CO3--	0
SAR		4.21
Calcaire (%)		7,57
Gypse (%)		27,64
Formule caractéristique		SO4--> Cl- > HCO3- Na+> Ca++> Mg++
Facies chimique		Sulfaté sodique.

V.2.1.1 Granulométries

Le sol utilisé dans notre étude à une texture sableuse la **figure 15**. La composition granulométrique de ces fractions est de 6.66 % sable grossiers, 71.7 % sable moyenne 21.13 % sable fin, et pour la fraction Limon+argile est très faible 0.57 % Tableau 12. Selon (**HAMDI-AISSA 2001),** la fraction argileuse est très faible dans les sols de la région de Ouargla.

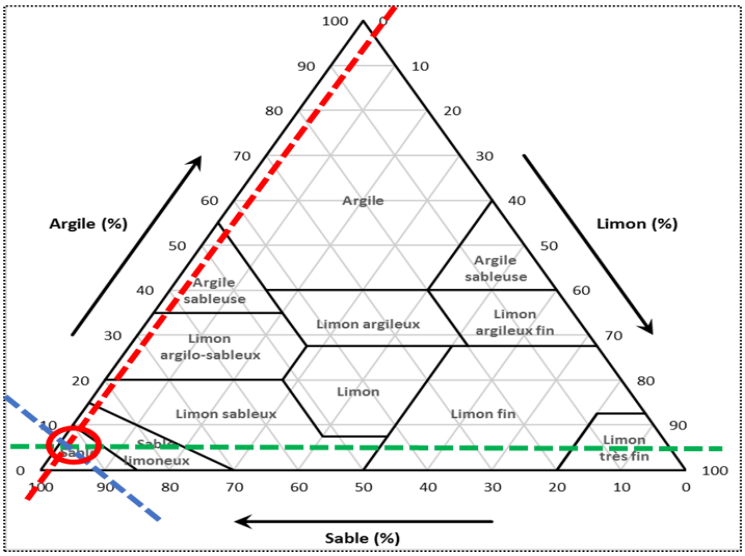


Figure 15 : Triangle textural de la classification physique du sol

V.2.1.2 Calcaire

La teneur en calcaire total dans la zone d'étude du sol non irrigué est de 7.57 **%** CaCO3 Tableau 12**.** Selon (**BAIZE 2000),** et pour le sol est modérément calcaire (**Annexe 3)**. Selon (**KHADRAOUI, 2004**), dans la cuvette de Ouargla, aussi bien en surface qu'en profondeur, ne continent que de faibles taux de calcaire, car les roches parentales ne sont généralement pas calcareuses ou peu de calcaires.

V.2.1.3 Gypse

Selon **(HALITIM, 1988)** un sol est considéré gypseux, si les taux de $CaSO_4$ sont compris entre 5% et 10%. Les résultats Tableau 12. Obtenus montrent que le taux du gypse est de 27,64 **%** et selon (**Barzanji, 1973)** le sol est extrêmement gypseux (**Annexe4).**

V.2.1.4 PH

Selon la directive de la FAO cette valeur de pH est dans la fourchette des valeurs normales de pH Tableau 12 La valeur de pH est **6,79** neutres**.**

V.2.2 Classification du sol non irrigué

V.2.1 Diagramme de piper

La donne la représentation sur le diagramme de piper de la solution du l'extrait 1/5

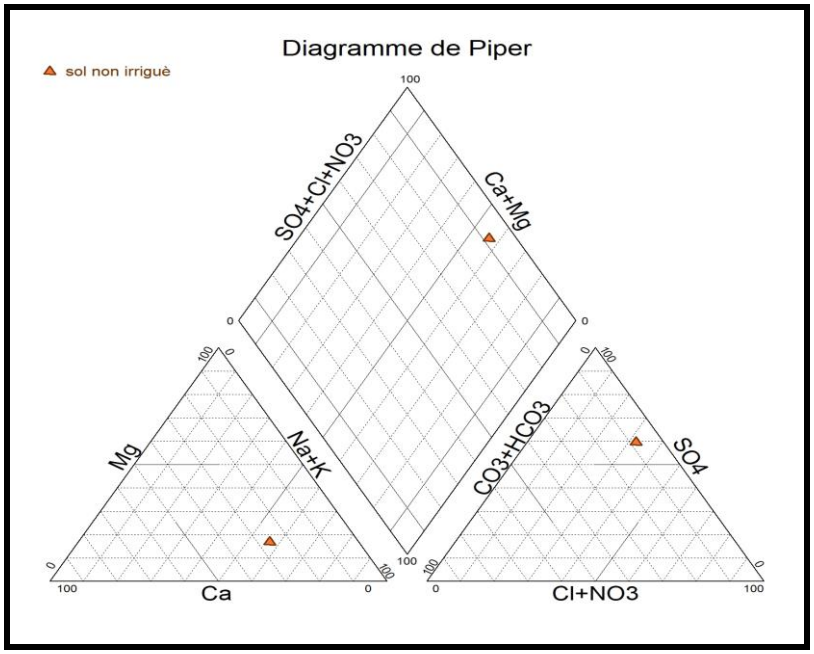


Figure 16 : Faciès chimique de la solution du l'extrait du sol 1/5 non irrigué

Selon la figure 1**6** représentant le diagramme de PIPER, pour l'extrait 1/5 du sol non irrigué, avec un faciès **sodique** dominant les cations, et pour les anions **sulfatés** ce qidonne un faciès global **sulfaté sodique.**

PH

Selon la **directive de la FAO** cette valeur de pH est dans la fourchette des valeurs normales de ph La valeur de pH est **6,79** neutres

Conductivité électrique

Selon **(DURAND, 1983) la** solution du l'extrait du sol 1/5 non irrigué Non salin (**ANNEXE 9)** La valeur est 1,98ms/cm, appartient à la **classe3 C3** est très salée risque élève, (**Harivandi, 1999).**

V.3 Impacte des eaux d'irrigation sur le sol

V.3 Impact des eaux d'irrigation par les EUE sur le sol

Résultat d'analyses physico-chimiques des échantillons du sol 'irriguée par l'eau usée épuré et sol non irrigué sont consignés dans le tableau suivant

Tableau 13 : résultat des analyses physicochimiques du sol irrigué par l'eau usée épuré

	CE (dS/ m) à 25°C	SAR	PH	Cations solubles (mé/l)				Anion solubles (mé/l)			
				Ca++	Mg++	K+	Na+	Cl-	SO_4^{--}	HCO_3^-	CO3--
Sol non irrigué	1.98	4.20	6.79	4.03	2.56	1.03	7.63	4.87	8.96	1.23	0
Sol irrigué par EUE 7j	1.41	1.75	6.86	3.91	2.86	0.66	3.19	2.84	6.70	1.19	0
Sol irrigué par EUE 45 j	1.11	1.15	6.93	2.93	3.33	0.46	2.19	1.93	5.37	1.60	0
Sol irrigué par EUE 100 j	1.11	0.82	6.99	3.47	2.88	0.37	1.48	1.52	4.71	1.92	0

V.3.1 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 **Figure 17** Sol non irrigués est **6.7**.

Pour les sols irrigués par les EUE après 7jour, on voix une légère augmentation 6.8 PH Neutre et après 45 et 100 jours d'irrigation représente une augmentation jusqu'à 6.9,

Selon (**AUBERT, 1978)** sont très légèrement acide, (**ANNEXE 11),** Par comparaison des résultats du pH eau, irriguées par les EUE présentés des valeurs inférieures au par eaux ES

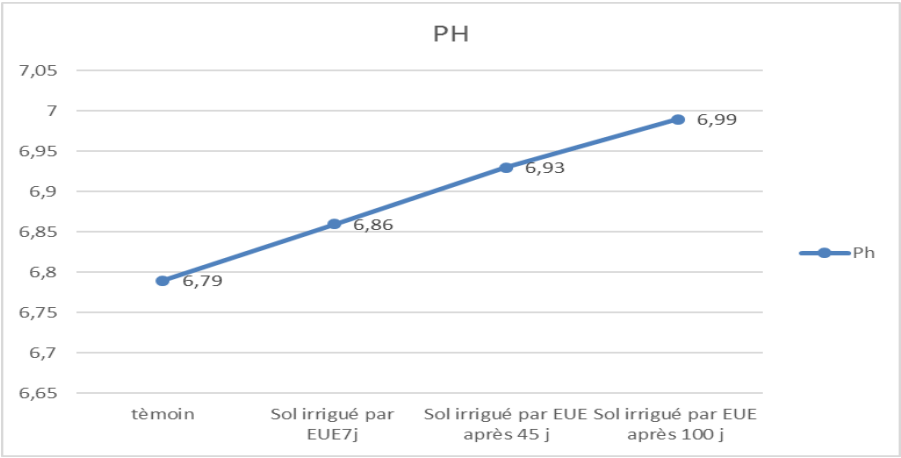


Figure 17:Variations temporelles du PH des eaux d'irrigation EUE

V.3.2 Classification du sol irrigué par EUE

V .3.2.1 Diagramme de piper

La **figure 18** donne la représentation sur le diagramme de piper de la solution du l'extrait 1/5 du sol irriguée par EUE

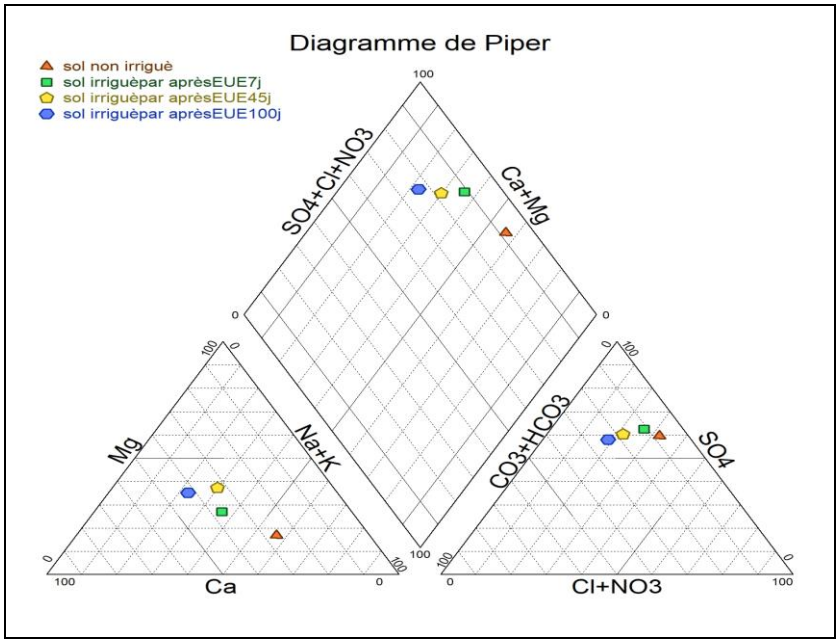


Figure 18 : Faciès chimique de la solution de l'extrait 1/5 du sol irrigué par EUE

Selon la **Figure 18** représentant le diagramme de PIPER, pour l'extrait du sol 1/5 du la solution du sol irrigué par EUE donne résultat suivante :

Pour les sols irrigués par les EUE après 7jour, la composition ionique est : **Ça++> Na+> Mg++>K+ Figure 19** et **SO_4^{2-} >Cl->HCO_3- Figure 20** avec un faciès **Sulfaté** dominant des anions, et pour les cations **calciques** ce qi donne un faciès global **sulfaté calcique**

Pour les sols irrigués par les EUE apes 45 j, la composition ionique est : **Mg++ Ca++>Na+>K+ Figure 19** et **$SO^{-}_4{}^2$ >Cl->HCO_3- Figure 20** avec un faciès **Sulfaté** dominant des anions, et pour les cations **magnésium** ce qi i donne un faciès global **sulfaté magnésique**

Pour les sols irrigués par les EUE après 100 j, la composition ionique est : **Ca++>Mg++ Na+>K+ Figure19** et **$SO^{-}_4{}^2$ >HCO_3- >Cl- Figure 20** avec un faciès **Sulfaté** dominant des anions, et pour les cations **calcium ce qi** donne un faciès global **sulfaté calcique** La

comparaison entre ces résultats indique que l'effet. De l'irrigation par ces eaux est remarqué sur les sols irrigués.

Cela peut être due au degré de solubilité des ions. Les ions les plus solubles (comme le sulfaté) sont entrainés plus rapidement en profondeur que ceux, ayant un degré moindre de solubilité (comme le potassium), qui influe sur le changement du faciès chimique des sols. Le résultat obtenu est justifié et logique, car les sols témoins ont un caractère **Sulfaté sodique**. L'appauvrissement des sols en éléments solubles est remarqué suite à l'irrigation.

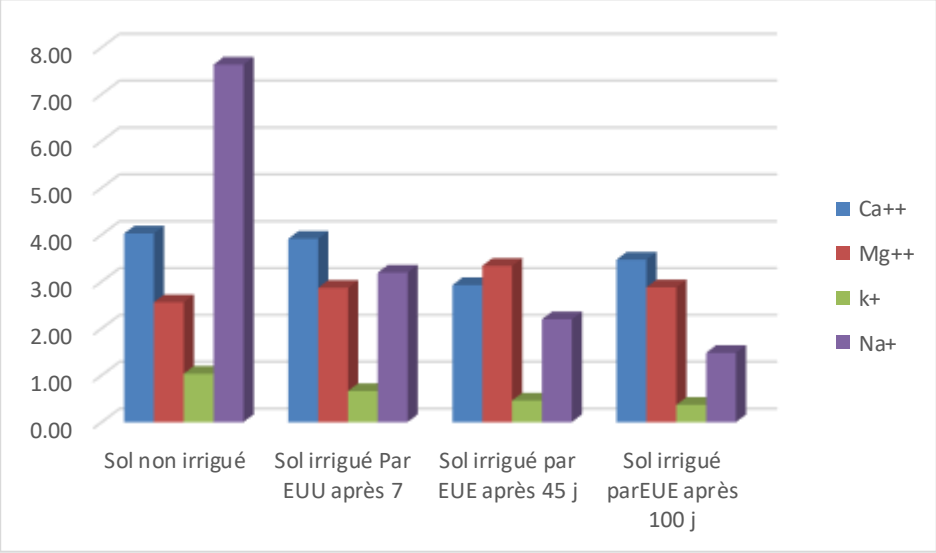


Figure 19:Teneurs moyens en cations solubles irrigués EUE dans sols étudiés

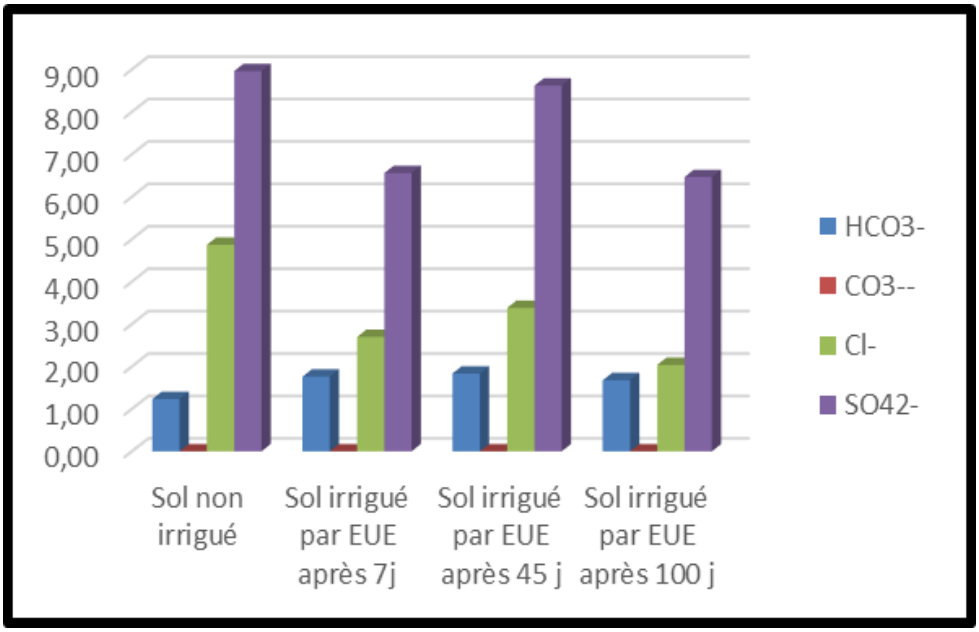


Figure 20:Teneurs moyens en anions solubles irrigués EUE dans sols étudiés

V.3.3 caractéristiques du la solution du l'extrait du sol irrigué par EUE

V.3.3.1Selon la CE

Selon (**DURAND, 1983)** l'extrait du sol irrigué par l'eau usée épuré est non salin **(ANNEXE 9)** La moyenne du L'extrait de la solution du sol l /5 irrigué par EUE appartient à la **classe C3** est très salée risque élève, **(Harivandi, 1999).**

Pour les sols irrigués par les EUE, on voix une diminution du CE aux cours de la période selon la **Figure 21**

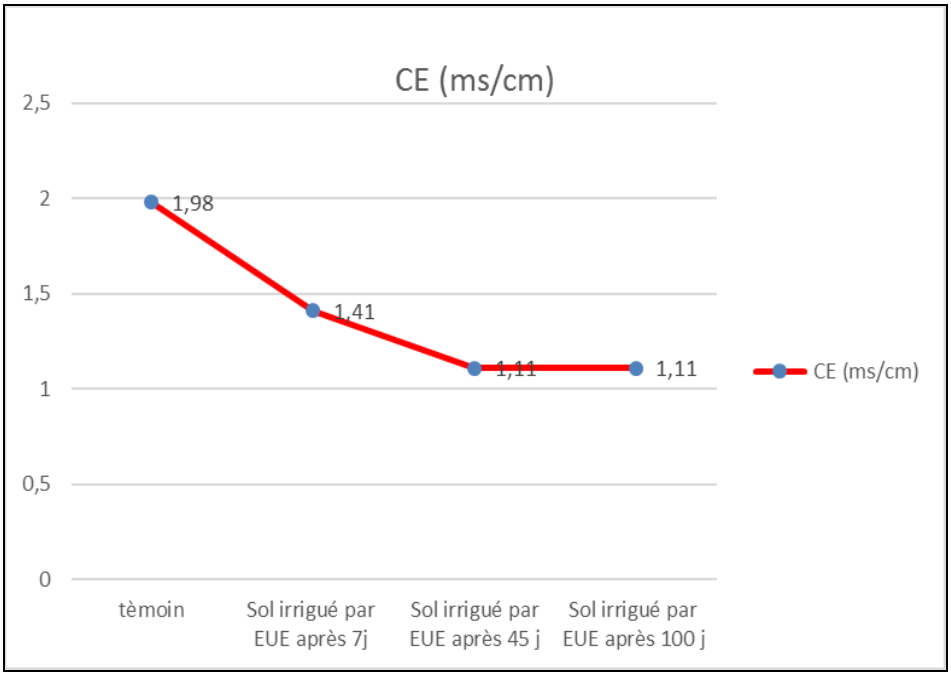


Figure 21:Variations temporelles du PH des eaux d'irrigation EUE

V.3.3.2Selon SAR

L'extrait 1/5 du sol irrigué par l'eau usée épurée appartient à la **classe S1** dont un faible taux de sodium. Selon **(SERVANT, 1975).** Pas d'alcalinisation (**ANNEXE 12)**

V.4 Impact de l'irrigation avec les ES sur sol

Résultat d'analyses physico-chimiques des échantillons du sol irrigué avec l'eau souterraine et pour le sol non irrigué sont consignés dans le tableau suivant :

Tableau 14 : résultat des analyses de sol irrigué par l'eau souterraine

	CE (dS/ m) à 25°C	SAR	PH	Cations solubles (mé/l)				Anion solubles (mé/l)			
				Ca++	Mg++	K+	Na+	Cl-	SO_4^{--}	HCO_3	CO3--
Sol non irrigué	1.98	4.20	6.79	4.03	2.56	1.03	7.63	4.87	8.96	1.23	0
Sol irrigué par ES après 7j	1.45	0.82	6.64	4.20	4.26	0.69	1.70	2.70	6.56	1.76	0
Sol irrigué par ES après 45 j	1.58	0.87	6.80	5.56	5.74	0.52	2.07	3.38	8.62	3.38	0
Sol irrigué par ES après 100 j	1.32	0.73	6.92	4.74	3.27	0.49	1.54	2.04	6.47	1.68	0

V.4.1 Impact de l'irrigation avec les ES sur le pH eau du sol

Pour les sols irrigués par les ES après 7 jour, on voix une légère diminution 6.6 PH Neutre. Et après 45 jour d'irrigation représente une augmentation 6.8 et après 100 jours une augmentation jusqu'à 6.9 par la **Figure 22** selon **(AUBERT, 1978)** sont très légèrement acide (**ANNEXE 11)**

Par comparaison des résultats du pH eau, irriguées par les EUE présentés des valeurs proches a eaux ES

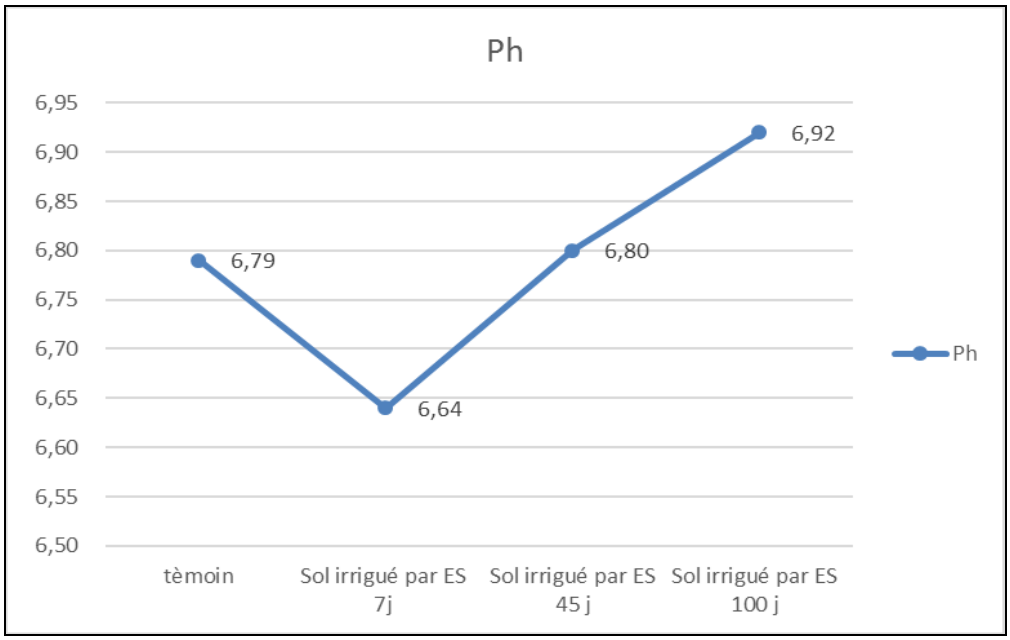


Figure 22 :Variations temporelles du PH des eaux souterraine

V.4.2 Classification du sol irrigué par ES

V.4.2.1 Diagramme de piper

La **figure 23** donne la représentation sur le diagramme de piper de la solution du l'extrait 1/5 du sol irrigué par ES

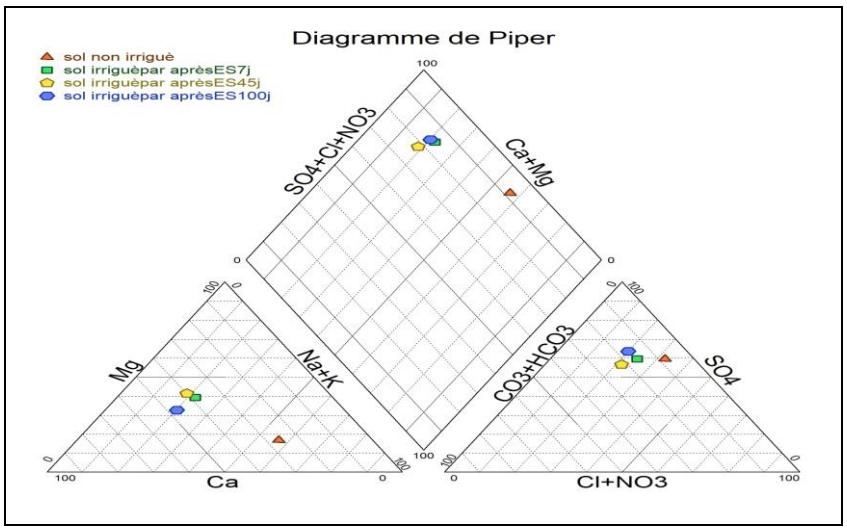


Figure 23 : Faciès géochimique de la solution du l'extrait 1/5 du sol irrigué par ES

Selon la **Figure 23** représentant le diagramme de PIPER, pour l'extrait du sol 1/5 du la solution du sol irrigué par ES donne résultat suivante :

Concernant le sol irrigué par ES après 7 jour, la composition ionique est : **Mg++ > Ca++ >Na+> K+ figure 24**, et **SO_4--> Cl- > HCO_3- figure25**, avec un faciès **Sulfaté** dominant des anions, et pour les cations **magnésium** ce qi donne un faciès global **sulfaté magnésique**

Pour les sols irrigués par les eaux souterraine, après **45 jours** d'irrigation, la composition ionique est.: **Mg++ > Ca++ >Na+> K+, figure 24** et **SO_4--> Cl- > HCO_3- figure 25** avec un faciès **Sulfaté** dominant des anions, et pour les cations **magnésique ce** qui donne un faciès global **sulfaté magnésique**

Pour les sols irrigués par les eaux souterraine, après 100 jours d'irrigation, la composition ionique est : **Ca++ Mg++ >Na+> K+ figure 24** et **SO_4--> Cl- > HCO_3 figure 25** Avec un faciès **Sulfaté** dominant des anions, et pour les cations **calcium** ce qui donne un faciès global **sulfaté calcique**

L'étude de la qualité de l'eau d'irrigation lors des périodes d'irrigation, elle diffère après chaque irrigation, après 7 jours, le faciès **magnésium sulfaté** et après 45 jours cela peut être due au degré de solubilité des ions. Les ions les plus solubles (sulfate) sont entrainés plus rapidement en profondeur que ceux, ayant un degré moindre de solubilité (le potassium par exemple), en conclu que l'irrigation par l'eau souterraine influe sur le changement du faciès chimique des sols. Le résultat obtenu acceptable, car les sols témoins ont un caractère **Sulfaté sodique**.

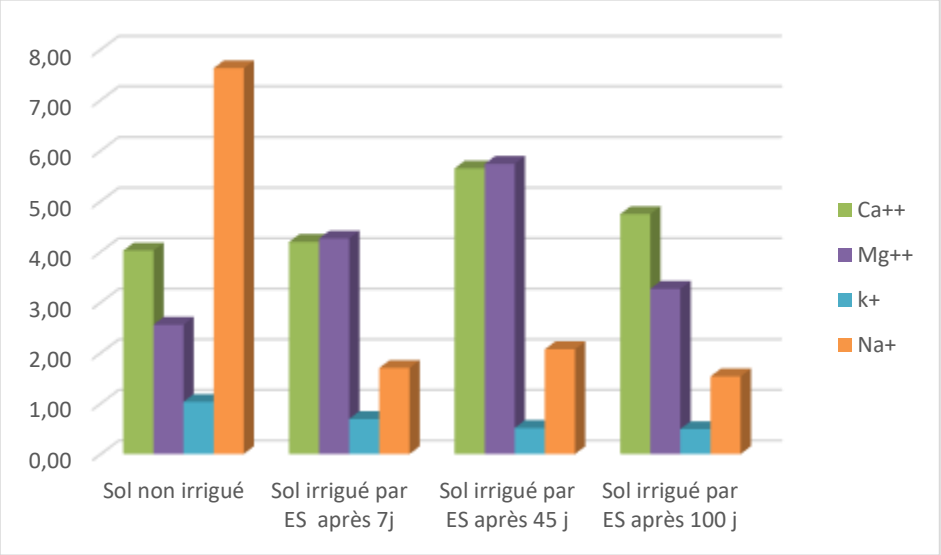


Figure 24 :Teneurs moyens en cations solubles irrigués par ES sur sols étudiés

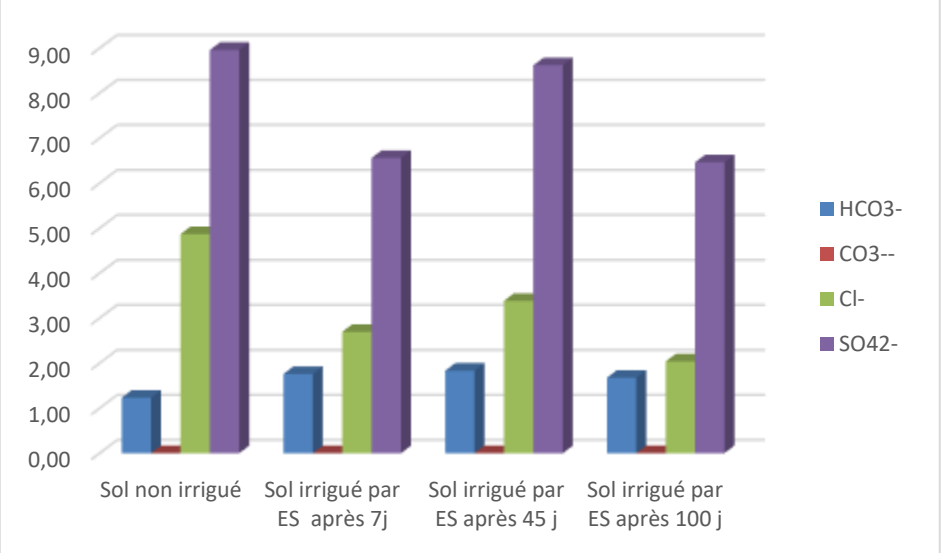


Figure 25 : Teneurs moyens en anions solubles irrigués par ES dans sols étudié

V.4.3 caractéristiques du la solution du l'extrait du sol irrigué par ES

VI.4.3.1Selon la CE

Selon (**DURAND, 1983)** l'extrait du sol 1/5 irrigué par l'eau souterraine non salin **(ANNEXE 9), La** moyenne du L'extrait du sol 1/5 irrigué par ES appartient à la **classe C3** est très salée risque élève, (**Harivandi, 1999).**

Pour les sols irrigués par les ES après 7jour, on voix une diminution du CE jusqu'au 1.5 (ms/cm). Après 45 jour on voix une légère augmentation du CE, après 100 jour d'irrigation on voix une chute du CE **Figure 26**

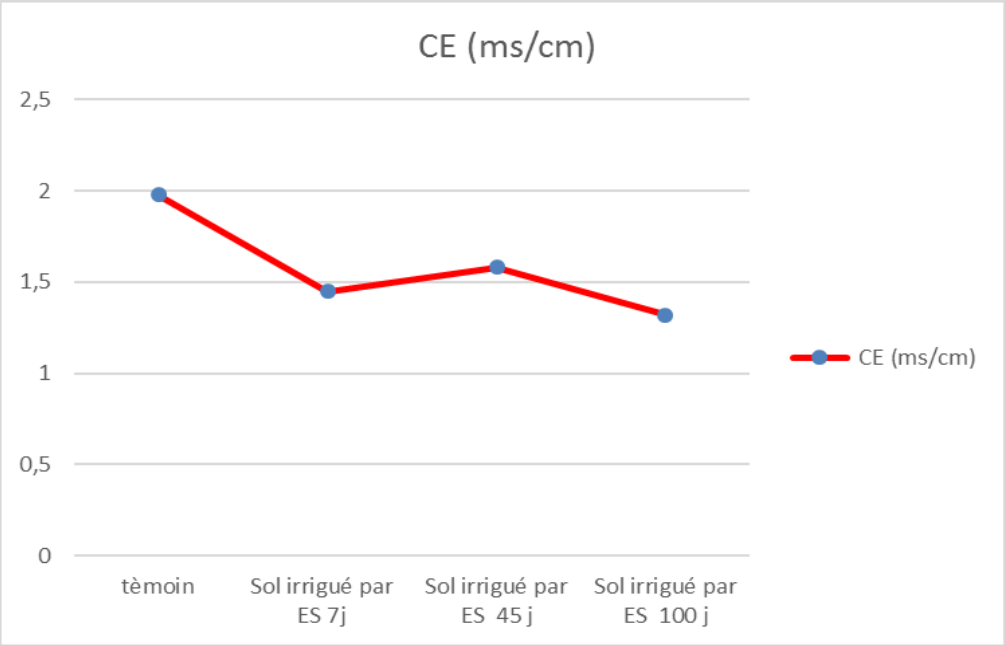


Figure 26 :Variations temporelles du PH des eaux souterraines

V.4.3.2 Selon SAR

Selon (**SERVANT, 1975),** L'extrait 1/5 du sol irrigué par l'eau souterraine tient à classe la **classe S1** pas d'alcalinisation. (**ANNEXE 12)**

Conclusion général

Conclusion générale

On conclusion de ce modeste travail, dont l'objectif principal été de caractériser l'impact de l'irrigation par les eaux usées épurées les eaux souterraines sur la salinité et le SAR dans les sols sableux dans la région de Ouargla (Hassi ben abdallah).

Le sol témoin étudié est d'une texture sableuse le PH de l'extrait 1/50 du sol est neutre et la conductivité électrique montre une salinité élevée. Les teneurs en CaCO3 montrent que le sol est modérément calcaire le taux de gypse révèle qu'il est extrêmement gypseux.

L'eau souterraine utilisée dans l'irrigation des colonnes du sol provient de la nappe du sénonien. Le PH de cette dernière est neutre à légèrement alcalin, ces eaux présentent un faible risque d'alcalinisation, le faciès chimique dominant est **chloruré sodique,** la projection sur le diagramme de Riverside montre que ces eaux appartiennent à la classe **C4S2 dont une** qualité très mauvaise à n'utiliser que dans des circonstances exceptionnelles.

Les résultats obtenus pour l'eau usée épurée montrent que la **DBO_5** et, la **(DCO)** ces valeurs sont supérieures aux normes de l'irrigation de l'OMS et celle de l'Algérie. Le PH de cette eau montre qu'elle est neutre présentant un faible risque d'alcalinisation, le faciès chimique dominant est **chloruré sodique,** la projection sur le diagramme de Riverside montre que ces eaux appartiennent à la classe **C4S3** dont une qualité très mauvaise à n'utiliser que dans des circonstances exceptionnelles.

Les résultats obtenus après une irrigation, qui a duré plus de trois mois, avec ces deux types d'eau dont la salinité est très élevée ; ont montrés une diminution considérable dans la salinité et le SAR du sol à la fin de l'irrigation. Cette diminution ne peut être expliquée que par la texture grossière des éléments de sol et leur faible pouvoir adsorbant.

Et de se fait, on peut avancer que l'eau d'irrigation (nappe sénonien et eau usée épurée) n'a pas affectée négativement sur lu sol dans la zone d'étude, bien que cette eau soit classée comme mauvaise. dont la diminution de la salinité du sol dans la zone d'étude, il ne faut pas ignorer la contrainte de la disponibilité de l'eau dans les zones arides sahariennes. De ce fait il est très intéressant d'entretenir des travaux dans cet axe dans le but de trouver la meilleure dose de lessivage pour une meilleure gestion de la ressource. Les sources d'eau dans les régions désertiques arides ne doivent pas être ignorées. Nous devons être attentifs et continuer à travailler sur cette question pour une meilleure gestion et une meilleure utilisation des ressources disponibles.

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

-A-

- **ANRH.2011** inventaires de forage de la wilaya d'Ouargla. Agence national des ressources hydrauliques. Direction régional sud Ouargla
- **AUBERT G. 1978** : Les sols sodiques en Afrique du Nord. Annales de l'I.N. A El-Harrach, Vol VI, N° 1 : 195
- **AUBERT G., 1978** : Les sols sodiques en Afrique du Nord. Annales de l"I.N.A El Harrach, Vol VI, N° 1: 19
- **AZIB S. 2010.-** Gestion des périmètres agricoles au niveau de la zone de mise en
- Valeur de Hassi Ben Abdallah. Mémoire Magistère, Université Kasdi Merbah-Ouargla, p

-B-

- **BAIZE D., 2000.** Guide des analyses en pédologie .2éme édition. INRA, France. 257 p
- **BARBOUCHI M, 2013,** caractérisation de la salinité des sols à l'aide de l'imagerie adar satellitaire : cas de la Tunisie et du Maroc. (inrs-ete) 490, rue de la Couronne Québec, ISBN : 978-2-89146-803-9
- **BERKAL I., 2016.-** Dynamique spatiotemporelle de la salinité de sols sableux irrigués
- **BELLAOUEUR 2008** Etude hydrogéologique des eaux souterraines de la région de Ouargla Soumise à la remontée des eaux de la nappe phréatique et Perspectives de solutions palliatives MEMOIRE DE MAGISTER En Géologie du Génie Civil et des Milieux Aquifères Univ El-Hadj Lakhdar – Batna147 p
- **BENAISSA., 2017-** En vue de l'obtention du Diplôme de Magister milieu aride**,** Application à une palmeraie de la cuvette de Ouargla en Algérie**.** Thèse doctorat, Ecole nationale supérieure agronomique (ENSA, Alger), P. 26,33
- **BELHADJ AISSA R 2019 Caractérisation** hydro chimique et classification des eaux souterraines en zone aride (Cas de cuvette d'Ouargla) 193 p
- **BOUZIDI, 2020** Réutilisation des Eaux Usées Epurées en Algérie à l'Université de Guelma Faculté des Sciences et de la Technologie Département de : Génie Civil & Hydraulique Mémoire de Master 70 p

- **BRIEREF.G,1994.** Distribution et Collecte des eaux Edition de l'Ecole Polytechnique de Montréal

- **BRADAI A., 2017.** Evolution de la qualité géochimique des eaux souterraines utilisées dans L'irrigation et leur impact sur la dégradation des sols de la plaine du bas- Cheliff. Thèse de Doctorat. Département d'Hydraulique, faculté de Géni Civil et d'Architecture, Université Hassiba Benbouali
- **BOUHANNA, 2013** Gestion des produits d'épuration des eaux usées de la cuvette d'Ouargla et perspectives de leurs valorisations en agronomie saharienne EMOIRE de Magister 2.34 p

-C-

- **CALLOT G., CHAMAYOU H., MAERTENS C., SALSAC L., 1982** - Les interactions sol racine : incidence sur la nutrition minérale. I.N.R.A., Paris, 325 p.
- **CDARS, 2018 :** Commissariat au Développement de l'Agriculture des Régions Sahariennes**.** Banque de données cartographiques du CDARS. 2018.

- **CHAPMAN D., KIMSTACH V., 1996.-**Selection of water quality variables.Waterquality assessments, à guide to the use of biota, sediments and water in environment monitoring, Chapman edition, 2nd ed. E & FN Spon, London, p 59-126.
- **CHERBUY B., 1991** - Les sols salés et leur réhabilitation. Cemagref, Rennes, 124 p
- **CHETIOUI ZEHRI 2018)** Essai de traitement chimique des eaux d'irrigation par l'acide sulfurique le cas des eaux de l'exploitation agricole de l'université Kasdi Merbah Ouargla p 74
- **CHOSSAT, J. C :** Bases techniques de l'irrigation par aspersion, version 2007, 74p.
- **CHURCHMAN G.J., SKJEMSTAD J.O. et OADES J.M. 1993** - Influence of clayminerals and different water régimes. Treephysiology24 : 65-73.
- **CONDOM, et all 2012,** la réutilisation des eaux usées traitées en méditerranée : retour d'expérience et aide à l'élaboration de projets, plan bleu, 11-25

- **COUTURE I., 2006** - Principaux critères pour évaluer la qualité de l'eau en micro-irrigation. Colloque sur l'irrigation « l'eau, source de qualité et de rendement » Québec. 12p.

-D-

- **DADDI BOUHOUN M., 1997** Contribution à l'étude de l'évolution de la salinité des sols et des eaux d'une région saharienne : cas du M'Zab. Mém. Magister. I.N.A. El-Harrach. 180p.
- **DAFFRI A., 2008 :** Biodégradation des crésols par le microbiote des eaux usées de la ville de Constantine. Université Mentouri, Constantine, p 57.
- **DAOUD Y et HALITIM O., 1994 -** Irrigation et salinisation au Sahara algérien. Sécheresse. V 5. N° 3. pp : 151 – 160
- **JAVADI , et al .2019** Soil physical and chemical properties and drain water quality as affected by irrigation and leaching managements
- **DAJOZ, 1982** : Précis d'écologie. Ecologie fondamentale et appliquée Ed. Gauthier-Villers paris. 503 P.
- **DURAND J.H., 1983**: Les sols irrigables. Etude pédologique. Ed. presse universitaires de France, 339 p
- **DJERBI M., 1994** - Précis de Phénicie culture. F.A.O., Rome, 192 p.
- **DUCHAUFOUR P H., 1977** : Pédologie : sol, végétation, environnement. Ed Masson. Paris, 350p
- **DURAND J.H. 1958**) Les sols irrigables. Étude pédologique. IMPR. Imbert (Éditeur), Alger, Algérie, 190
- **DUBIEF J., 1953.** Essai sur l'hydrologie superficielle au Sahara. S.E.S.,
- **DUTIL P., 1971.-** Contribution à l'étude des sols et des paléosols de Sahara. Thése
- Doctorat. Univ Alger, 457p

-E-

- **EL YOUSSFI 2013** DOCTEUR de l'Université Ibn Zohr Spécialité : Environnement Durabilité d'un système de cultures non conventionnel irrigué par les eaux usées traitées dans la région d'Agadir p181

-F-

- **FAO (2003),** L'irrigation avec des eaux usées traitées : Manuel d'utilisation. pp 73

- **FAO 2007,** Agriculture et rareté de l'eau: une approche programmatique pour l'efficacité de l'utilisation de l'eau et la productivité agricole. COAG/2007/7, Rome, p 15.
- **FORTAS GHEDAIRI ;2019.** L'effet d'utilisation des eaux usées traitées en irrigation sur certaines propriété physico-chimique de sol dans la cuvette d'Ouargla p 111

-H-

- **HADDAD S, ABBES K ,2015** étude de l'impact de l'irrigation drainage sur la salinisation des sols à l'exploitation de l'université. Mémoire master agronomie. Université Ouargla.42p
- **HALITIM A., 1988**: Sols des régions arides d'Algérie. Office de Publications Universitaires, Alger: 39- 40

- **HALILAT .M.T 1993** Etude de fertilisation azotée potassique sur le blé en zone saharienne (région de Ouargla) thèse Mag univ de Batna 130 p
- **HAMDI AISSA B., 2001** – Le Fonctionnement actuel et passé de sols du Nord du
- Sahara (cuvette d'Ouargla). Approches micromorphologique, géochimique etminéralogique et variabilité spatiale. Thèse de doctorat. Institut National Agronomique.Paris-Grignon. 310p

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

- **Harivandi A., 1999** : Interpriting turfgrass irrigation Water test result. Water journal of California, Publication 8009 University of California, Division of agriculture and natural resources. 9p.

-I-

- **IDDER T. 2007.** Le problème des excédents hydriques à Ouargla : situation actuelle et perspectives d'amélioration. Sécheresse vol. 18, n° 3. pp161-167

- **IRD, 2008**. Les dossiers thématiques de l'Institut de recherche pour le développement. Les sols sont fragiles.21p.

-G-

- **GADDA 2013** Impacts des eaux usées épurées sur les propriétés physico-chimiques des sols dans la région d'Ouargla 110 p

- **GERRARD G., 1999 :** Climatologie de l'environnement. Cours et exercices corrigés. Préface de Jean Mamy 2ème Edit. Dunod. 300 P

- **Glover C.R., 1996.** Irrigation Water Classification Systems (Guide a-116). New Mexico State University is an equal opportunity/affirmative action employer and educator. NMSU and the U.S. Department of Agriculture. 4p.

- **GUCHER G et BRUDIN S ,1974** géologie, géomorphologie et hydrologie des terrains salés. Université de France.230p. In MISSAOUI Y, 1991.évolution de la salinité en fonction des doses d'irrigation. Mémoire de magistère ITDAS de Biskra.91p.
- **GAUCHER G., BURDIN., 1974** - Géologie, géomorphologie et hydrologie des terrains
- salés, presses, presses Universitaire de France, 230 p

-K-

- **KARDACHE 2015** VALORISATION ÉNERGETIQUE DES BOUES DE LA STATION D'ÉPURATION DE BOUMERDES MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES En vue de l'obtention du diplôme Master en Génie Mécanique Spécialité : Énergétique et Environnement 99 p.

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

- **KHADRAOUI A., 2006**. Eaux et sols en Algérie, gestion et impact sur l'environnement. 236p.
- **KHADRAOUI A., 2004.** Sols et hydraulique agricole dans les oasis algérienne, caractérisation, contraintes et proposition d'aménagement. Ed, I.S.B.N. 163p

-L-

- **LAVIGNE DELVILLE J C., 1994.**Dépolluer les eaux pluviales. Collection OTV

-M-

- **MAHDJAR 2015** Etude des performances de la station d'épuration de la ville d'Ouargla master Académique 68 p
- **MATHIEU C. et PIELTAIN F., 1998**.) Analyse physique des sols, méthodes choisies. Ed. Tech et Doc. Lavoisier, Paris, 275p
- **MERMOUD A, 2006.** Cours physique du sol. Maitrise de la salinité des sols, pp1-14
- **METAHRI.2012**° : ÉLIMINATION SIMULTANÉE DE LA POLLUTIONAZOTÉE ET PHOSPHATÉE DES EAUX USÉESTRAITÉES, PAR DES PROCÉDÉS MIXTES.Cas de la STEP Est de la ville de Tizi

-O-

- **Ouali MS., 2001 :** Cours de procédés unitaires biologique et traitement des eaux. O, P, U. Alger, p 156.

-P-

- **PAUWELS, (1992) :** Manuel de laboratoire de pédologie, Méthodes d'analyse des sols etdes plantes. Publication agricole N°28 265p

-R-

- **RASSOUL 2019** ALIMENTATION EN EAU POTABLE DU SECTEUR OUSSAMA (WILAYA DE BEJAIA) p 121
- **REZAUI 2017** Etude de lessivage des sols salés dans la cuvette d'Ouargla : Cas de l'exploitation agricole de l'université du Diplôme de DOCTORAT En Hydraulique Spécialité : Aménagement hydraulique en milieu aride
- **Richards, L.A. 1954.** Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. USDA Agricultural Handbook 60, Washington, 160 p.
- **ROUVILLOIS B, 1975** : Le pays d'Ouargla (Sahara Algérienne). Ed. Département
- Géographique, paris, pp 318-389

- **ROUDART L., 2006.**Terres cultivées et terres cultivables dans le monde. INA., Paris (Grigno), 11p.
- **(RODIER J., LEGUBE B., MERLET N., 2009.)** Analyse de l'eau. 9ème édition. Ed. DUNOD, Paris. 1579p.
- **ROBERT, 1996** Le sol : interface dans l'environnement ressource pour le développement. Ed. MASSON, Paris. 96 P
- **ROUABEH, KAZOUZ.2020**. Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme
- **Rodier, J., Legube, B. and Merlet, N. (2009**). L'analyse de l'eau. Paris: Dunod, 1047p
- **SLIMANI R., 2006**. Contribution à l'évaluation d'indicateurs de pollution environnementaux dans la région de Ouargla : Cas des eaux de rejets (agricoles et urbaines). Mém. Magister. Univ. Kasdi Merbah Ouargla. 106p

-S-

- **SERVANT JM., 1975**. Contribution à l'étude pédologique des terrains halomorphes. L'exemple des sols salés du Sud et Sud-Ouest de France. Th. d'Etat. Univ. Montpellier. 200p.
- **SLIMAI R, 2015** Geochemical inverse modeling of chemical and isotopic data from groundwaters in Sahara Ouargla basin, Algeria
- **SLIMANI R. 2017**.- Etude qualitative des ressources en eaux souterraines et cartographie de la vulnérabilité environnementale d'un aquifère au climat aride méditerranéen : cas de la cuvette de Ouargla Algérie, Thèse de Doctorat, Université kasdi Mebah Oaurgla , p 132
- **SEKKOUM M, YAMANI K, CHERITI A & DRAOUI B., (2012)** : « Gestion des eaux non conventionnelle en région aride par la réutilisation des eaux usées purées ». Conférence. Université Amar Teldji Laghouat. 12p.

- **SEDAT, 2008.** - Etude de la protection des Berges des émissaires de la Sebkha de Bamendil et du Chott, phase 01, Etude préliminaire, p10-11.

-T-

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

- **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 pour l'obtention du diplôme de master en hydraulique école nationale supérieure d'hydraulique -Arbaoui abdellah74 p

Annex

Annexe

Annexe 1 : Tableau forages étudiés dans la région d'Ouargla

Forage	Nom	Cordonnée (X)	Cordonnée (Y)	Type aquifère
Mekhadma	M 1	718660	3536418	Mio-pliocène
Sonacom	M 2	719836	3536327	Mio-pliocène
Itas	M 3	717046.1	3536168.6	Mio-pliocène
Sar mekhadma	S 1	717846	3536766	Sénonien
Hopital	S 2	720519	3538773	Sénonien
Ifri	S 3	721073	3538896	Sénonien
Garat chemia	S 4	716817	3535924	Sénonien
Elhdeb 1	A 1	723985	3534749	Albien
Elhdeb 2	A 2	724289	3534309	Albien

Annexe 2: Directives de la F.A.O. (1974) concernant la qualité physicochimique des eaux destinées à l'irrigation (TAMRABET, 2011).

	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
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	<1.3
Toxicité de certains ions (affectent les cultures sensibles)			
Sodium (Na): (SAR méq/l). Irrigation de surface Irrigation par aspersion	<3 <3	3-9 >3	>9
Chlore (Cl) Irrigation de surface (méq/l) Irrigation par aspersion (méq/l).	<4 <3	4-10 >4	>10
Bore (mg/l)	<0.7	0.7-3.0	>3.0
Effets divers (affecte les cultures sensibles)			
Azote (NO3-N) (mg/l)	<5	5-30	>30
Bicarbonate (HCO3) (pour aspersion sur frondaison) (méq/l)	<1.5	1.5-8.5	>8.5
pH	Zone normale : 6.5-8.4		

Annexe3 : Echelle de calcaire totale (Baize, 2000)

≤1	Horizon non calcaire
1< CaCo3 <5	Horizon peu calcaire
5<CaCo3<25	Horizon modérément calcaire
25<CaCo3<50	Horizon fortement calcaire
50<CaCo3<80	Horizon très calcaire
≥80	Horizon excessivement calcaire

Annexe 4 classe des sols gypseux (Barzanji, 1973)

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

Annexe 6 résultat d'analyse physique et chimique de l'eau usée épuré

		L'eau usée épure								
		sol irrigué 1 semaine			sol irrigué 45 jours			sol irrigué 100 jours		
		A	B	C	N	M	O	R	S	T
T°C		25	25	25	25	25	25	25	25	25
Ph		6.74	6.93	6.92	6.92	6.90	6.96	6.97	7.14	6.86
CE à 25 °C en (ms/cm)		1.79	1.34	1.09	0.90	0.63	1.79	0.90	1.25	1.18
Cations solubles (meq/l)	Na^+	5.74	3.55	0.56	1.31	0.88	4.40	1	1.99	1.45
	Ca^{++}	4.36	3.36	4.02	2.97	1.95	3.86	2.96	3.98	3.48
	Mg^{++}	2.98	2.39	3.21	2.39	2.20	5.41	2	2.82	3.80
	K+	0.82	0.80	0.37	0.49	0.31	0.58	0.49	0.49	0.13
Anions solubles (meq/l)	Cl^-	3.79	2.21	2.53	0.56	0.44	4.79	1.06	1.50	2
	SO_4^{--}	9.04	7.07	3.99	4.63	4.17	7.31	3.80	5.15	5.20
	HCO_3^-	0.73	1.11	1.74	2	0.71	2.10	1.70	2.40	1.67
	CO3--	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SAR		2.85	2.09	0.30	0.80	0.61	2.04	0.64	1.08	0.76

Annexe 7 résultat d'analyse physique et chimique de l'eau souterraine

		L'eau soutirrane								
		sol irrigué 1 semaine			sol irrigué 45 jours			sol irrigué 100 jours		
		E	F	H	I	K	L	X	V	U
T°C		25	25	25	25	25	25	25	25	25
Ph		6.57	6.62	6.74	6.80	6.81	6.79	6.80	6.96	7.01
CE à 25 °C en (ms/cm)		0.98	1.72	1.64	1.53	2.09	1.92	1.92	0.95	1.08
Cations solubles (meq/l)	Na^+	1	2.49	1.62	2.02	2.02	2.18	2.75	0.98	0.88
	Ca^{++}	2.94	5.13	4.51	3.47	6.97	6.51	5.51	4.21	4.52
	Mg^{++}	2.39	4.40	6	6.26	5.58	5.41	5.67	1.77	2.36
	K+	0.84	0.60	0.64	0.44	0.57	0.54	0.63	0.40	0.45
Anions solubles (meq/l)	Cl^-	1.60	2.82	3.68	3.38	3.38	3.38	3.47	1.44	1.21
	SO_4^{--}	4.26	8.05	7.37	7.26	9.66	8.94	9.88	3.99	5.52
	HCO_3^-	1.30	2.02	1.96	1.50	1.70	2.30	1.64	1.89	1.50
	CO3--	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SAR		0.61	1.14	0.71	0.92	0.81	0.89	1.16	0.57	0.47

Annexe 8: le protocole d'analyse chimique et physique

Dosage de Le chlorure

- **Méthode potentionmétrique**

Appareil utilisé :

- Titrino plus 848 de marque Metrohm,
- Une électrode combinée de type argent massif.
- Un réactif ($AgNO_3$) de concentration 0,1 mol L^{-1} selon la teneur en ions Cl^-.

Mode opératoire

On met dans un bécher de 100 ml :

- 10 ml de solution on utilisé Fiole jaugée 100 ml
- 2 ml d'acide nitrique 2M

On provoque la réaction entre AgNO3 et la solution.

Le potentiomètre s'arrête au point d'équivalence qui correspond au taux des ag nécessaire à neutraliser les Cl. Et la lecture se fait directement sur le potentiomètre.

NB : Le potentiomètre est équipé d'un clavier de dialogue pour choisir la prise d'essai et la l'unité du volume.

Dosage de sulfates

Réactifs

Solution de chlorure de baryum à 0.05 % (dissoudre 50 g de $BaCl_2 .2H_2O$ dans 1000 ml d'eau distillée).

HCl 0.5 M

Mode opératoire

- Prélever 10 à 50 ml de l'eau à analyser et le transférer dans un Erlenmeyer de 250 ml.
- Ajouter 0.5 ml **HCl** 0.5 M et 200 ml eau distillé
- Porter à douce ébullition à 60-80 °C dans un bain- marie ou sur un bain de sables (20min).

- Faire précipiter les sulfates à chaud en ajoutant 40ml chlorure de baryum.
- Laisser les béchers dans le bain- marie à 70-80 °C jusqu'à ce que les sulfates soient complètement déposés (2 heures).
- Filtre le surnageant en utilisant du pipier filtre sans cendre.
- Transférer le filtre contenant le précipité dans une capsule tarée.
- Faire sécher à l'étuve à 105°C pendant 5 heures.
- Ensuite dans un dessiccateur. Peser après refroidissement.

1. **Calculs**

$$SO_4^{-2} = \frac{B * 8.56 * 1000 * A}{V} \qquad [mg/l]$$

Avec :

B = poids de $BaSO_4$ précipité.

V = volume de la prise d'essai.

A = inverse du facteur de dilutio.

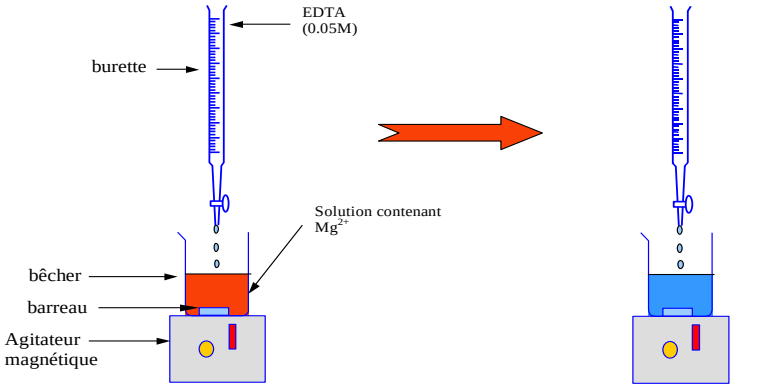
Dosage de magnésium

. Réactifs

-Solution de l'EDTA 0.05 mol/l. (dissoudre 18.612 g de l'EDTA dans 1000 ml d'eau distillée)

-Solution tampon pH = (8 à10). (dissoudre 70 g de NH_4Cl dans 500 ml d'eau distillée et ajoute 462ml NH_3 et complété par l'eau distillée jusqu'à 1000ml).

-Indicateur coloré noire erichrome T (100g NaCl+ 1g noire erichrome T).



Etat initial A l'équivalence

3. Dosage

- Prendre un volume Vp10 ml de solution à traiter.
- Ajouter 3 ml de solution tampon 10.
- Ajouter 40 ml d'eau distillée.
- Ajouter une pointe de spatule de noir d'eirochrome.
- Chauffer la solution à 60°C pendant quelques minutes.
- Titrer avec l'E.D.T.A (0.05 M) jusqu'au virage du rose au bleu.
- Noter le volume de l'EDTA au virage.

4. Calculs

$$N_{Mg}^{++}\ (\text{méq/l}) = \frac{1000 * 0.02 * V_1 * nbs}{V_{PE}}$$

Avec :

V_1= volume verse de l'EDTA.

V_{PE}= volume de prise d'essai.

V= volume verse totale.

nbs= nombre du dilution.

Dosage Des Carbonates Et Des Bicarbonates

1.Réactif :

1. Acide sulfurique ou acide chlorhydrique **(0,02N)** :
   - Diluer **0,5 mL** de **H_2SO_4 dans 1 L** d'eau distillée.
   - Diluer **1,64 mL** de HCl dans **1 L** d'eau distillée.
2. Indicateur coloré : phénolphtaléine (KHC_8H_4O) :
   - Peser **1g** de phénolphtaléine et dissoudre dans **100 ml** d'alcool éthylique à **70 %**
3. Indicateur de méthyle orange : Dissoudre **0,1 g** de méthyle orange dans **100 ml** d'eau distillée.

2.Mode opératoire :

On prend **10 cm^3** de l'eau ou de l'extrait filtré de sol dans une fiole jaugée de **250 cm^3** et ajouter **4** à **5 gouttes** de la phénolphtaléine ; s'il y a coloration rose claire, cela confirme la présence des carbonates, alors on fait la titration avec de l'acide sulfurique (**0,02 N)** ou l'acide chlorhydrique jusqu'à ce que la coloration rose disparaisse et le volume de H_2SO_4 sera **X**.

On dose les bicarbonates dans le même échantillon on ajoute **4** à **5 gouttes** de **méthyle orange** et on fait la titration avec de l'acide sulfurique jusqu'au changement de la couleur a la couleur orange et le volume de H_2SO_4 sera(Y).

3.Calculus:

$$CO_3^- \text{ (mé /L)} = 2X*0.02*1000/10=X*4$$

$$H\,CO_3^- \text{ (mé/L)} =(Y-X) *0.02*1000/10=(Y-X)*2$$

Par rapport au pH les co3- sont présentes quand le pH>8,4

Dosage du calcaire total (AFNOR)

1. **Réactifs :**

   Carbonates de calcium **($CaCO_3$) anhydre**

   Acide chlorhydrique dilué 1/2

2. **Appareillage :**

   Calcimètre de Bernard à tube gradué de 100 ml

3. **Mode opératoire :**

1) Dans un échantillon tamisé ; prélever **1g** de terre fine pour un échantillon à une teneur présumée en $CaCO_3$ de 20-39,9 % et **0,5g** pour 40- 79,9%

2) Verser la prise d'essai dans l'erlenmeyer et introduire le tube contenant l'HCl en prenant soin de garder le tube vertical et ne pas le verser sur la prise d'essai.

3) Relier l'erlenmeyer au calcimètre

4) Equilibrer les pressions en ramenant au zéro de la colonne. Le niveau d'eau de l'ampoule par le dispositif prévu.

5) Verser l'acide contenu dans le tube sur la prise d'essai en inclinant la fiole et agiter énergiquement en tenant la fiole par le col et en évitant tout échauffement.

6) Suivre et équilibrer en permanence le niveau d'eau de la colonne et celui de l'ampoule.

7) Noter le volume **V1** après stabilisation du volume de gaz dégagé.

8) Dans les mêmes conditions et avec les mêmes réactifs

Procéder à une prise d'essai de **0,2 g** de **$CaCO_3$**. Noter le volume correspondant V2.

4. **Calcul :**

$$\mathbf{CaCO_3\,(\%) = (V1*0.2*100)\,/(P*V2) = (V1*20)\,/(P*V2)}$$

V1 : Lecture de volume d'échantillon

V2 : Lecture de volume de Témoin

P : Poids de terre Fine Utilisée

0,2 : Poids de $CaCO_3$ Pour Témoin

-Méthode DeL'acétone dosage de gypse

Réactifs :

- Acétone

Mode opératoire :

– Peser 1g du sol, mettre dans un bécher de 1l, ajouter 500ml d'eau distillée, agiter pendant une heure, puis filtrer.

– Prélever 20ml, mettre dans un godet de la centrifugeuse, ajouter 20ml d'acétone concentré, puis centrifuger à 3000T pendant 5min.

– Jeter la solution et ajouter encore dans le godet 10ml d'acétone puis centrifuger à 3000T pendant 5min puis jeter la solution.

– Ajouter 40ml d'eau distillée dans le godet, mélanger avec une spatule et laisser en contacte pendant 10min.

– Mesurer la conductivité électrique de la solution.

Calcul :

Le taux de gypse est calculé par l'utilisation de la courbe standard qui relie la concentration de sulfate de calcium avec la CE.

$CaSO_4$ (méq/l)	**Conductivité électrique à 25°C (dS/m)**
1.0	**0.121**
2.0	**0.226**
5.0	**0.500**
10.0	**0.900**
20.0	**1.584**
30.5	**2.205**

$$\mathbf{y = 0.0705\ A + 0.118} \quad \textbf{donc} \quad \mathbf{A = \frac{y - 0.118}{0.0705}}$$

$$\mathbf{R^2 = 0.9942}$$

L'expression utilisée pour calculer le taux de gypse dans l'échantillon est la suite :

$$\textbf{Gypse\% dans le sol} = \frac{\text{Améq CaSO4}}{\text{1000ml}} * \frac{\text{Bml}}{\text{Cml}} * \frac{1}{\text{Dg/ml}} * \frac{\text{0.086g}}{\text{1méq gypse}} * 100$$

A : méq $CaSO_4$ calculer de l'équation $\mathbf{A = \frac{y - 0.118}{0.0705}}$.

B : volume de H_2O pour apporter tout le précipite dans la solution ; 40ml.

C : volume de l'aliquote ; 20ml.

D : rapport sol/eau ; 1/500.

Y : la conductivité électrique

Annexe 9 : Echelle de l'interprétation de CE sur extrait 1/5 de patte saturée à 25°C **(DURAND, 1983)**

$CE_{patte\ saturée}$	**Classe de sol**
CE <= 2 dS/m	Non salin
2 dS/m < CE <= 4 dS/m	Légèrement salin
4 dS/m < CE <= 8 dS/m	Salin
8 dS/m < CE <= 16 dS/m	Très salin
CE > 16 dS/m	Extrêmement salin

Annexe 10 : Echelle d'interprétation de pH -extrait 1/5- (**GAUCHER, 1968).**

pH	Classe d'interprétation
6.75 < CE ≤ 7,25	Sol Neutre
7,25 < CE ≤ 8,5	Sol Alcalin
> 8,5	Sol très Alcalin

Annexe11 : Echelle d‟interprétation de pH -extrait 1/5- (**AUBERT, 1978)**

Valeur de pH	Classe d'interprétation
<4.5	Extrêmement acide
4.5 -5.0	Très fortement acide
5.1 -5.5	Fortement acide
5.6 -6.0	Moyennement acide
6.1 -6.5	Légèrement acide
6.6 -7.0	Très légèrement acide
7.1 -7.5	Très légèrement alcalin
7.6 -8.0	Légèrement alcalin
8.1-8.5	Moyennement alcalin
>8.5	Très fortement alcalin

Annexe12 : SAR et degrés d'alcalinisation des sols (**SERVANT, 1975).**

SAR	**Degrés d'alcalinisation**
SAR ≤ 4	Pas d'alcalinisation
4 < SAR ≤ 8	Faible alcalinisation
8 < SAR ≤ 12	Alcalinisation moyenne
12< SAR ≤ 18	Alcalinisation forte
SAR >18	Alcalinisation intense