



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة الشهيد حمّة لخضر الوادي

Université d'Echahid Hamma Lakhdar- EL OUED-

كلية العلوم الطبيعية والحياة

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

قسم العلوم الفلاحية

Département de Science Agronomie

## MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de Master Académique en Science Agronomie

Spécialité : production végétale

**La cartographie de la salinité des sols en utilisant un système d'information géographique SIG au niveau des perimetres agricoles de la région de Z'goum (la commune hassani abdelkrim)**

Présenté Par :

M<sup>elle</sup> : MENEGGUER Ouissal Kheira

M<sup>elle</sup> : ZEKKOUR Dhikra

Devant le jury composé de :

Président	Dr. ALLALI Ahmed	Université Echahid Hamma Lakhdar D'El-Oued
Examineur	Dr. HAKIMI Youcef	Université Echahid Hamma Lakhdar D'El-Oued
Promoteur	Dr. MERDASI Samir	Université Echahid Hamma Lakhdar D'El-Oued

Année universitaire: 2024/2025

## شكر وعرفان

الحمد لله والشكر له على فضله، وعلى توفيقه لنا في انجاز هذا العمل المتواضع.

تقدم بخالص الشكر والتقدير الى الأستاذ المشرف الدكتور "من حاسي سمير" على

كل ما قدمه لنا من نصائح وتوجيهات، حرصاً منه على انجاز هذا البحث وتقديمه بالصورة

المطلوبة كما تتقدم بالشكر لجميع أساتذة قسم العلوم الفلاحية الذين تلمذنا على

أيديهم و أخذنا منهم الكثير وساندونا في كل خطوة فتحدينا الصعاب.

وكل التحية والاحترام الى من ساعدنا في انجاز هذا البحث سواء من قريب او بعيد.

# إهداء

بسم الله الرحمن الرحيم

(وَقُلِ اعْمَلُوا فَسَيَرَى اللَّهُ عَمَلَكُمْ وَرَسُولُهُ وَالْمُؤْمِنُونَ)

لا يطيب الليل الا بشكره ولا يطيب النهار الا بطاعته ولا تطيب اللحظات الا بذكره الله جلالة الى من بلغ الرسالة وأدى الأمانة "سيدنا محمد صلى الله عليه وسلم "

الحمد لله عدد ما انعم علينا، وعدد ما زرع في قلوبنا املا وعدد ما مهد لنا السبل لنصل اليوم أقف وانا احمل بين يدي ثمار أعوام من السعي، ومشاعر لا توصف ليال سهرت، وايام مضت بين التعب وامل

اهدي هذا التخرج لمن علمني ان اعطي ولمن احمل اسمه بفخر، وأتمنى ان يطيل الله حياته حتى يرى ثمارا حان وقت حصدها بعد انتظار طويل "والدي العزيز عبد الحكيم"

والى ملاكي في الحياة، الى الإحساس بالحب والحنان والإخلاص، والى ابتسامة الحياة وسر الوجود والى التي كان دعاءها سر نجاحي، وحنانها بلسم جراحي الى غاليتي وجنة قلبي التي رافقتني وارشدتني كل مشاوير حياتي.... "أمي العزيزة لطيفة"

والى ضلعي الثابت الذي لا يميل الى من رزقت بهم سندا وملاذي الأول والأخير الى من أزالوا من طريقي اشواك الفشل "اخواتي الغاليين والسند في الحياة "كمال الدين، عاطف، خيرى الدين، رفيق، زين العابدين "

والى أبناء اخوتي الأعزاء "عبد الرحيم، لجين، محمد البشير، محمد نزار" الى شريكة الدرب والكفاح ما كنا لنصل لولا تشاركنا الصدق والعمل والإرادة لك نصف هذا النجاح ونصف الامتنان "زميلتي ذكرى "

لكم من قلبي نبض شكرا ومن وجداني دفء امتنان، أنتم بهجة الرحلة ورفاق الروح الذين لا يعوضون صديقات العمر "سيرين راشدي، فاطمة زكور "

"وصال خيرة"

## اهداء

بسم الله الرحمان الرحيم

(فَرِحِينَ بِمَا آتَاهُمُ اللَّهُ مِنْ فَضْلِهِ)

انتهت الرحلة. لم تكن الرحلة قصيرة ولم تكن سهلة ولم يكن الحلم قريبا ومهما طال

فستمضي بجلولها ومرها

هذه اللحظة لا تورث ولا تشتري، لقد دفعت ثمنها عمري وشبابي، سهري، خوفي،

ودموعي، هي لهفة الوصول، ودمعة الحزن، فرحة العمر هذه هي النهاية السعيدة لبدايات

أعظم وأصبح حلمي حقيقة.

وفي اللحظة أكثر فخرا اهدي تخرجي هذا الى من رباني وكافح من أجلى الى المصباح الذي

انار دربي ولمن احمل اسمه بكل افتخار طاب بك العمر يا سيد الرجال وطبت لي عمرا

ارجو من الله ان يمد في عمرك لترى ثمارا قد حان قطفها..... "والدي الحبيب توفيق"

الى من جعل الله الجنة تحت اقدامها واحتضني قلبها قبل يديها وسهلت لي الشدائد

بدعائها، الى العمود الثابت في عثرات ايامي، الى من هي في الحياة حياة ومعنى الحب وقرّة

عيني..... "امي الغالية حفظها الله رزيقة"

الى اخواتي ها ادامكم الله ضلعا ثابتا لي "سناء، ابتسام، منار، مبروكة، انتصار"

وأخي سندي في الحياة "محمد"

"ذكرى"

# Résumé

### Résumé

L'étude de terrain menée dans la région de Z'goum (La Commune de Hassani Abdelkrim, Wilaya d'El Oued) a permis de créer des cartes détaillées de la salinité des sols en utilisant les Systèmes d'Information Géographique (SIG). Ces cartes constituent un outil efficace pour soutenir la prise de décision agricole, contribuant ainsi à une meilleure gestion des zones cultivées, à l'identification des superficies affectées par la salinité et au suivi de son évolution temporelle.

Pour la réalisation, des échantillons de sol ont été prélevés de manière aléatoire dans les zones irriguées à une profondeur de 30 cm, puis analysés en laboratoire à la Faculté des Sciences Naturelles et de la Vie pour mesurer la conductivité électrique (CE) et le pH. Les résultats ont révélé des variations significatives dans les niveaux de salinité entre les échantillons, avec une répartition hétérogène de la salinité au sein de la région étudiée (Z'goum). Grâce au géoréférencement des données via le système de positionnement global (GPS), il a été possible de localiser avec précision les zones à forte salinité, facilitant ainsi le ciblage des traitements agricoles appropriés (comme le lavage des sols ou l'utilisation de cultures tolérantes à la salinité).

Les cartes produites mettent en évidence le contraste entre les zones « moins contraignantes » et « plus contraignantes » en termes de viabilité agricole, offrant ainsi une base scientifique pour optimiser l'efficacité de l'exploitation des terres et réduire l'impact de la salinité sur la productivité.

**Mots-clés** : Salinité des sols, carte, Systèmes d'Information Géographique (SIG), région de Z'goum, La Commune de Hassani Abdelkrim, El Oued.

### **Abstract**

The field study conducted in the Z'goum region (Hassani Abdelkrim Municipality, El Oued Province) enabled the creation of detailed soil salinity maps using Geographic Information Systems (GIS). These maps serve as an effective tool to support agricultural decision-making, contributing to better management of cultivated areas, identification of salinity-affected lands, and monitoring of its temporal evolution.

For implementation, soil samples were randomly collected from irrigated areas at a depth of 30 cm and analyzed in the laboratory at the Faculty of Natural and Life Sciences to measure electrical conductivity (EC) and pH. The results revealed significant variations in salinity levels among the samples, with heterogeneous distribution of salinity within the study area (Z'goum). Through georeferencing data using the Global Positioning System (GPS), it was possible to precisely locate high-salinity zones, facilitating targeted agricultural treatments (such as soil leaching or the use of salt-tolerant crops).

The produced maps highlight the contrast between "less constrained" and "more constrained" zones in terms of agricultural viability, providing a scientific basis for optimizing land-use efficiency and reducing the impact of salinity on productivity.

**Keywords:** Soil salinity, map, Geographic Information Systems (GIS), Z'goum region, Hassani Abdelkrim Municipality, El Oued.

## ملخص

اتاحت لنا الدراسة الميدانية التي أجريت في منطقة الزقم (بلدية حساني عبد الكريم، ولاية الوادي) إنشاء خرائط تفصيلية لملوحة التربة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية SIG تشكل هذه الخرائط أداة فعالة لدعم اتخاذ القرارات الزراعية، مما يساهم في تحسين إدارة المناطق المزروعة، وتحديد المساحات المتأثرة بالملوحة، ومراقبة تطورها الزمني.

لتنفيذ الدراسة، جمعت عينات التربة عشوائيا من المناطق المروية على عمق 30 سم، ثم خضعت للتحليل المختبري في كلية العلوم الطبيعية والحياة لقياس التوصيل الكهربائي (CE) ودرجة الحموضة (PH). كشفت النتائج عن تباينات كبيرة في مستويات الملوحة بين العينات، مع توزيع غير متجانس للملوحة داخل المنطقة المدروسة (الزقم). من خلال تحديد المواقع الجغرافية للبيانات باستخدام نظام التموضع العالمي (GPS)، أمكن تحديد المناطق ذات الملوحة العالية بدقة، مما سهل استهداف المعالجات الزراعية المناسبة (مثل غسل التربة أو استخدام محاصيل أو استخدام محاصيل متحملة للملوحة).

تبرز الخرائط المنتجة التباين بين المناطق "الأقل تقييدا" و"الأكثر تقييدا" من حيث الجدوى الزراعية، مما يوفر أساسا علميا لتحسين كفاءة استخدام الأراضي وتقليل تأثير الملوحة على الإنتاجية.

## الكلمات المفتاحية:

ملوحة التربة، خرائط، نظم المعلومات الجغرافية (SIG)، منطقة الزقم، بلدية حساني عبد الكريم، الوادي.

## Liste d'abréviation

<b>ITDAS</b>	Institut Technique de Développement de L'agronomie Saharienne
<b>SAR</b>	Sodium Absorption Ratio
<b>DSA</b>	Direction des services Agricole
<b>FAO</b>	Food and Agricultural Organization
<b>CE 1/5</b>	Conductivité électrique de l'extrait 1/5 des sols
<b>SIG</b>	Système d'informations géographiques
<b>PH 1 /2.5</b>	PH d'extrait 1/2.5 des sols
<b>IDW</b>	Pondération par l'Inverse de la Distance
<b>TIN</b>	Interpolation triangulaire
<b>GPS</b>	Global position System
<b>DRE</b>	Direction de Ressources en Eau
<b>ONM</b>	L'Office National de la Météorologie
<b>APFA</b>	L'accession à la propriété foncière Agricole
<b>CEC</b>	capacité d'échange cationique
<b>USSL</b>	United State Salinity Laboratory
<b>SGMA</b>	Sustainable Groundwater Management
<b>PNUE</b>	Programme des Nations Unies pour l'Environnement

<b>Liste des figures</b>	<b>Page</b>
Figure 01: L'irrigation par les eaux souterraines et leur conséquence sur le sol .....	15
Figure 02: Diagramme de RIVERSIDE selon Richards .....	20
Figure 03: Le diagramme de Wilcox.....	22
Figure 04: Décomposition de l'environnement en couches d'information .....	24
Figure 05: Les types de données géographiques dans un SIG .....	25
Figure 06: Relation entre les données géographiques et attributives dans un SIG.....	26
Figure 07: IDW Interpolation .....	28
Figure 08: Situation géographique de la région d'El Oued (Realisé par QGIS) .....	32
Figure 09: Carte topographique de la vallée d'El Oued .....	34
Figure 10: Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSE. ....	36
Figure 11: Localisation de la région d'El Ouad sur le climagramme .....	38
Figure 12: Situation géographique de primetre agricole de Z'goum ( commune hassani abdelkrim) dans la Wilaya (Réalisé par QGIS) .....	44
Figure 13: Points d'échantillonnage.....	45
Figure 14 : Balance électronique .....	46
Figure 15 : Bécher .....	46
Figure 16: Agitateur.....	46
Figure 17: Conductivimètre .....	46
Figure 18 : Plan de travail.....	46
Figure 19: La carte d'échantillonnage au niveau de périmètre agricole de Z'Goum.....	47
Figure 20 : Logiciel QGIS .....	55
Figure 21 : L'exécuter de l'interpolation IDW .....	55
Figure 22: La carte de la salinité de sol périmètre agricole de Z'Goum.....	56
Figure 23: La carte de variation du PH de sols périmetre agricole de Z'Goum.....	57

<b>Listes des tableaux</b>	<b>page</b>
Tableau 1 : Superficie affectée par la salinité dans le monde .....	5
Tableau 2 : Classes de salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait aqueux 1/5 à 25°C .....	8
Tableau 3 : Classification de SAR.....	9
Tableau 4 : Classification des sols salins.....	9
Tableau 5 : Classification des eaux d'irrigation proposée par l'USDA. ....	18
Tableau 6: Classement de la qualité de l'eau en fonction du danger d'alcalinisation du sol. ...	18
Tableau 7: Les classes issues du diagramme de Riverside.....	21
Tableau 8: Altitude moyenne des différentes communes de la vallée d'El Oued.....	33
Tableau 9: Températures moyennes mensuelles de la région d'El Oued durant la période 2013–2023 .....	35
Tableau 10: l'humidité moyenne mensuelle de la région d'El Oued durant la période 2013-2023 .....	35
Tableau 11: Vitesse moyenne mensuelle du vent de la région d'El Oued durant la période 2013-2023 .....	35
Tableau 12: Précipitations moyennes mensuelles de la région d'El Oued durant la période 2013–2023 .....	36
Tableau 13: Résultats de PH au niveau du périmètre de Z'Goum .....	47
Tableau 14: Résultats dès CE de sol de Z'Goum .....	51

Table des matières	page
شكر و عرفان.....	
اهداء .....	
Liste d'abréviation.....	
Listes des figures.....	
Listes des tableaux.....	
Listes des photos .....	
Table des matières .....	
Introduction générale .....	1
<b>Chapitre I : La Salinité et L'irrigation</b>	
I.1. Définition.....	4
I.1.1 Salinité .....	4
I.1.2 Salinisation.....	4
I.2. Répartition des sols salés dans le monde et dans l'Algérie.....	4
I.2.1 Salinité dans le monde : .....	4
I.2.2 Salinité en Algérie.....	5
I.3. Types de la salinisation.....	5
I.3.1 Salinisation primaire ou naturelle .....	5
I.3.2 Salinisation secondaire .....	6
I.4. Paramètres de caractérisation des sols salés .....	7
I.4.1 Conductivité électrique .....	7
I.4.2. PH du sol.....	8
I.4.3 ESP (Taux de sodium échangeable) .....	8
I.4.4 SAR (sodium absorption) .....	8
I.5. Classification des sols salés.....	9
I.6. Effets de la salinisation sur les sols et sur les végétaux.....	10
1. Dégradation de la structure du sol.....	10
2. Impacts sur les végétaux .....	10
3. Conséquences à long terme .....	10
I.6.1 Effets de la salinité sur les propriétés physiques du sol.....	10
I.6.1.1 Effet sur les propriétés chimique.....	10
1. Modification du pH.....	10
2. Accumulation d'ions toxiques.....	10
3. Dégradation de la structure du sol.....	11

4. Réduction de la capacité d'échange cationique (CEC) .....	11
5. Perturbation des cycles nutritifs .....	11
6. Augmentation de la conductivité électrique (CE) .....	11
6.1. Effet de la salinité sur les propriétés microbiologique du sol .....	11
1. Stress osmotique.....	11
2. Diversité microbienne .....	11
3. Activité enzymatique.....	11
4. Biomasse et résilience .....	12
5. Structure du sol.....	12
6. Émissions de gaz .....	12
7. Interactions plantes-microbe: .....	12
6.2 Effets de la salinité sur les végétaux .....	<b>12</b>
I. 9 La qualité des eaux utilisées en irrigation .....	17
I.1.9 Les critères qu'il faut tenir en compte pour choisir une eau d'irrigation .....	17
<b>Chapitre II : SIG comme outils d'aide à la décision dans le domaine agricole</b>	
II.1 Définition du SIG (Systèmes d'Information Géographique).....	24
II.2 Types de données .....	25
II.2.1 Données géographiques.....	25
II.2.2 Les données vectorielles .....	25
II.2.3 Les données raster .....	25
II.3 Présentation de QGIS .....	26
II.3.1 Analyse Spatiale (Interpolation).....	27
II.3.2 Pondération par l'Inverse de la Distance (IDW) .....	28
II.3.3 Interpolation triangulaire (TIN).....	29
<b>Chapitre III : Etude de la région</b>	
III.1. La situation géographique.....	32
III.2. Division administrative.....	33
III.3. SITUATION TOPOGRAPHIQUE.....	33
III.3.1 Nature topographique de la région d'étude .....	33
III.3.2 Pente de terrain.....	33
III.4. Le Climat .....	34
III.4.1 La température.....	34
III.4.2 Humidité relative.....	35
III.4.3 Le vent.....	35

---

III.4.4 La pluviométrie .....	36
III.5. Synthèse climatique .....	36
III.5.1 Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN .....	36
III.5.2 Climagramme D'emberger .....	37
III.6. Qualifications naturelles .....	38
III.6.1 Zone naturelle.....	38
III.6.2 Zone géographique.....	38
III.7. Potentiel des ressources en eau de la Wilaya.....	38
III.7.1 Les aquifères souterrains trouvés dans cette région sont les suivants.....	39
III.7.2 Ressources en eaux de surface .....	39
III.8. Activité sociale, culturelle et économique .....	39
III.9. Espaces irrigués .....	39
III.10. Type d'agriculture en general.....	40
<b>Chapitre IV: Application pour la cartographie de la salinité de sol</b>	
IV.1. Introduction.....	43
IV.2. La zone d'étude.....	42
IV.2.1 Localisation géographique .....	42
IV.2.2 Les limites administrative .....	43
IV.2.3 Caractère local .....	43
IV.3 Méthode et matériel .....	44
IV.3.1 Comment choisir les sites et l'échantillonnage .....	44
IV.3.1.1 choix les sites .....	44
IV.3.1.2 Echantillonnage.....	44
IV.4 Laboratoire.....	44
IV.4.1 Conductivité électrique (1/5) .....	45
IV.5 Méthode de travail .....	46
IV.5.1 Points d'échantillonnages .....	47
IV.5.2 Analyse et résultat.....	47
IV.5.3 Logiciel QGIS et l'Outil de traitement IDW .....	54
IV.5.4 les cartes et interpolation.....	57
IV.6. Solution et Recommandation.....	58
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>59</b>
<b>Références .....</b>	<b>59</b>

# Introduction générale

## Introduction générale

La salinité des sols représente un défi critique pour les terres agricoles de notre région, ainsi que pour les zones semi-arides et désertiques à l'échelle mondiale (FAO, 2021). Cette problématique découle de multiples facteurs interdépendants :

**1. Dépendance aux eaux souterraines salines:** Dans ces régions arides" l'agriculture repose majoritairement sur des ressources hydriques souterraine "souvent chargées en sels" ce qui favorise leur accumulation progressive dans les sols (Qadir et al., 2008) .

**2. Surutilisation d'engrais chimiques:** L'apport excessif d'engrais, notamment azotés et potassiques, accroît la concentration saline des sols .

**3. Remontée capillaire des nappes:** Sous l'effet de pompages intensifs ou de sécheresses, les eaux phréatiques remontent vers la surface, déposant des sels après évaporation (FAO, 2008) .

**4. Régime thermique désertique:** Les températures élevées amplifient l'évapotranspiration, concentrant les sels dans les couches superficielles du sol .

**5. Défaillances techniques en irrigation:** Des pratiques d'irrigation inadaptées (e.g., excès d'eau, drainage inefficace) exacerbent la rétention saline (Metternicht et Zinck, 2003) .

La gravité de ce phénomène conduira à la dégradation des terres arables, ce qui entraîne un stress sur les cultures et une diminution de leur rendement productif avec le coût de production élevé.

Par conséquent, des plans et des stratégies doivent être élaborés

- **Surveillance systématique** de la répartition spatiale des sels .
- **Délimitation précise** des zones à salinité élevée via des outils géomatiques .
- **Suivi temporel** pour évaluer l'efficacité des mesures correctives .

L'utilisation des technologies géospatiales, telles que les systèmes d'information géographique (SIG) et la télédétection, représente une approche stratégique pour cartographier la salinité des sols. Ces méthodes permettent non seulement de générer des données spatiales à haute résolution, mais aussi d'assurer un suivi temporel des zones affectées à l'échelle régionale ou nationale.

Dans le cadre de cette recherche, nous mettons en œuvre une cartographie spatiale de la salinité des sols au niveau de la région de **Z'goum** en recourant à des technologies géomatiques avancées, notamment les systèmes d'information géographique (SIG). Cette démarche vise à :

**1. Analyser les mécanismes** sous-jacents à l'accumulation des sels dans le sol : Mécanismes clés L'accumulation des sels dans les sols résulte de processus naturels et anthropiques.

**2.Élaborer des stratégies d'atténuation** pour limiter les impacts sur les terres agricoles locales.

L'objectif ultime est de proposer des solutions basées sur des données géoréférencées, permettant une gestion durable des ressources pédologiques (Metternicht et Zinck, 2003).

# **Chapitre I : La Salinité et L'irrigation**

---

## **I.1. Définition**

### **I.1.1 Salinité :**

La salinité c'est l'état du sol ou de l'eau caractérisé par une concentration élevée en sels solubles ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ), nuisant aux écosystèmes et à l'agriculture. Ses causes incluent des C'est l'état du sol ou de l'eau caractérisé par facteurs naturels (évaporation en zones arides) et anthropiques (irrigation inadaptée, mauvais drainage). Elle dégrade la structure du sol, limite l'absorption des nutriments par les plantes, et inhibe leur croissance. Selon la FAO (2021), 20 % des terres agricoles mondiales sont touchées, menaçant la sécurité alimentaire.

### **I.1.2 Salinisation:**

La salinisation C'est le processus dynamique d'accumulation progressive des sels dans le sol ou l'eau, conduisant à une augmentation de la salinité. Atteignant des concentrations toxiques pour les plantes, les microorganismes et les écosystèmes. Elle peut être naturelle (évaporation intense en zones arides, remontée de nappes salines) ou anthropique (irrigation avec des eaux salines, drainage inefficace, surutilisation d'engrais) (Rengasamy, 2006 ; FAO, 2021).

## **I.2. Répartition des sols salés dans le monde et dans l'Algérie**

### **I.2.1 Salinité dans le monde :**

Au niveau mondial, les terres émergées occupent une superficie de 13,5 milliards d'hectares. Cependant, après avoir exclu les déserts, les hautes montagnes, l'Antarctique et le Groenland, il à 22% du total. (Nahon, 2008). De plus, la moitié de ces 3milliards d'hectares de terres cultivables sont déjà exploitée. Étant donné que la population humaine devrait doubler à court terme, il est plus que nécessaire de prendre des mesures pour préserver le capital sol. Cependant, ce capital est limité et menacé (Legos, 2009)

A l'échelle mondiale, les sols salins couvrent de vastes surfaces et posent un problème majeur pour l'agriculture. La superficie touchée par la salinité dans le monde est estimée à 954,8 millions d'hectare, soit 23% des terres cultivées (FAO, 2008)

Le tableau suivant présenté la superficie affectée par la salinité dans le monde :

**Tableau 1 : Superficie affectée par la salinité dans le monde**

<b>Région</b>	<b>Superficie (millions d'hectare)</b>
Afrique	80,5
Europe	50,8
Amérique du Nord	15,7
Amérique du Sud	129,2
Australie	357,3
Mexique et Amérique center	2
Asie du Sud Est	20
Asie du center et du Nord	211,7
Asie du sud	87,6
Total	954,8

Source (FAO, 2008)

### **I.2.2 Salinité en Algérie :**

En Algérie, les sols agricoles sont dans leur majorité affecté par la salinité ou susceptibles de l'être (Durand, 1983)

Ils sont réponsus dans les basses plaines d'Oranie, dans la vallée de Mina près de Relizane, sur les hautes plaines au Sud de Sétif et de Constantine, aux bords de certains Chott Melghir. Ils ont aussi une grande extension dans les régions sahariennes au Sud de Biskra jusqu'à Touggourt, Ouargla et d'autres (Durand, 1983)

Les sols salés d'Algérie sont caractérisés en générale par une conductivité électrique à 7 dS/m et de pourcentage de sodium échangeable qui varie 5 à 60 % de la C.E.C (Aubert, 1975)

D'après (Halitim, 1988) dans les régions arides, les sols salés représentent environ 25% de la surface cartographie. Soit 3,2 millions d'hectares (Hamdi, 1999)

### **I.3. Types de la salinisation**

La présence des sels solubles dans les sols se justifie par diverses causes. Deux processus sont signalés.

#### **I.3.1 Salinisation primaire ou naturelle :**

Est un processus associé à la formation des sols, résultant de l'altération des roches salifères qui libèrent des sels en raison de divers facteurs géologique, géomorphologiques et climatiques (Gaucher et Brudin, 1974 in Missaoui, 1991)

Les sels solubles peuvent provenir de différentes sources :

Les matériaux géologiques peuvent libérer des ions et des éléments nutritifs nécessaires à la formation des sels solubles par le biais de leur altération chimique et physique. Ce processus peut se produire lors de l'altération de minéraux primaires riches en sodium, ou encore par la dissolution de roches volcaniques et d'évaporites, qui sont des accumulations salines anciennes formées par l'évaporation de l'eau de mer

Les eaux marines constituent une source majeure de sel dans les zones côtières, entraînant une salinisation permanente liée aux marées (salinisation marine) ou temporaire due à la présence de lentilles d'eau salée dans les zones basses isolées de la mer par des dépôts alluviaux (salinisation lagunaire)

Une nappe phréatique continentale, salée par héritage géologique, peut contaminer les sols superficiels par ascension capillaire, entraînant une salinisation des sols.

### **I.3.2 Salinisation secondaire :**

La distinction entre salinisation primaire et secondaire est cruciale pour comprendre l'évolution des sols. La salinisation secondaire se produit lorsque le sol est déjà formé et acquiert des caractéristiques halomorphes suite à des influences externes, telles que l'invasion marine ou la remontée d'une nappe d'eau chlorurée. Cette distinction permet de préciser le moment où un sol a acquis des caractéristiques halomorphes spécifiques (Sanda, Abbani B, et Abdelali Y., 2005 in Nini M et Laouini CH, 2024)

La salinisation secondaire est souvent le résultat de l'activité humaine, notamment des pratiques agricoles non durables, qui perturbent l'équilibre hydrologique et provoquent l'accumulation de sels dans le sol (Marmoud, 2006). Il s'agit d'un processus d'enrichissement en sels solubles du sol qui résulte de l'apport d'eau pour l'irrigation et qui aboutit à la formation d'un sol Salin. L'irrigation perturbe le bilan hydrique du sol en introduisant un apport d'eau supplémentaire, qui est toujours accompagné d'un apport de sels (in Yacine, 2022)

En effet, la présence d'ions solubles dans l'eau douce même de qualité élevée, peut entraîner une accumulation progressive d'ions dans le sol suite à l'irrigation. Les échanges

---

cationiques entre le sol et l'eau d'irrigation constituent le mécanisme initial de la salinisation des sols. Cette dernière peut également résulter de la remontée capillaire d'eaux souterraines salées ou de l'utilisation d'eau salée pour l'irrigation, entraînant ainsi une altération de la structure et de la fertilité des sols (Ipriid, 2006)

Par conséquent la salinisation d'origine secondaire est principalement induite par des activités anthropiques, notamment des pratiques agricoles non durables. Les principaux facteurs contribuant à la salinisation secondaire sont (Gaucher et Brudin, 1974 in Yacine, 2022)

#### **I.4. Paramètres de caractérisation des sols salés :**

Le diagnostic de la salinité des sols repose sur un ensemble de mesures physico-chimiques, notamment la conductivité électrique (CE), le pH, la capacité d'échange cationique (CEC), les cations solubles, les anions solubles et le sodium échangeable. Ces paramètres permettent d'évaluer le degré de salinité, le faciès chimique des sels et le taux de sodium échangeable, permettant ainsi d'estimer la salinité globale dans le sol. (Haddad et Abbes, 2015 in Yacine, 2022)

L'étude d'un sol sur le plan de la salinité se base sur un ensemble des facteurs sont:

##### **I.4.1 Conductivité électrique :**

La salinité est mesurée par la CE de l'extrait de pâte saturée ou l'extrait diluée du sol. Elle est exprimée en dS/m à 25° (USSL, 1954), (tableau 02)

L'échelle agronomique mise au point par United State Salinity Laboratory (USSL, 1954) est graduée selon les valeurs de la CE, de 0 à 16 m mhos/cm. Un sol considéré salé lorsque la CE est supérieure à 4 millimhos/cm (4dS/m) à 25°C (USSL, Calvet, 2003, IN Yacine, 2022)

**Tableau 2 : Classes de salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait aqueux 1/5 à 25°C**

Ce e1 :5 à 25°C	Classe de salinité
$CE \leq 0.6$	Non salé
$0.6 < CE \leq 1$	Légèrement salé
$1 < CE \leq 2$	Salé
$2 < CE \leq 4$	Très salé
$CE > 4$	Extrêmement salé

(Mathieu et Pieltain, 2009, in Yacine, 2022)

#### I.4.2. PH du sol :

Selon (Soltner, 1989 in Haddad et Abbas) la notion de pH du sol permet de façon commandée et précise de désigner la réaction du sol salins. Les sols salés ont un Ph supérieur à 7, et il augmente en corrélation avec le rapport "  $Na^+/CEC$  " La mesure du Ph du sol s'effectue dans une suspension de l'échantillon de sol dans l'eau (ph eau) ou dans l'eau plus de chlorure de potassium (ph kcl) dans laquelle on mesure la concentration en ions  $H^+$  et  $OH^-$  à l'Wilaya dissocie, dans le liquide surnageant. Le rapport sol/eau étant généralement de 1/2,5 Aussi dans le sol, le ph de la solution varie habituellement de 4,5 à 9,5 (Mathieu et Lozert, 2011)

#### I.4.3 Taux de sodium échangeable:

Selon (Richardes ; 1954) ce terme permet de caractériser le stade d'alcalinisation d'un complexe d'échange. L'ESP EST fonction de la CEC exprimée en (meq/l)

$$ESP = Na^+ / \text{Quantité totale des cations absorbées}$$

#### I.4.4 SAR (sodium absorption) :

C'est un paramètre essentiel pour évaluer le degré d'alcalinisation de la solution du sol. (Richardes, 1954 in Bougurra, 2018)

D'après (Mathieu, 2009) dans l'étude de mécanisme de sodification, l'Ecole de Riverside aux Etats-Unis utilise depuis 1969 un paramètre précis pour définir la composition des solutions du sol ou des nappes salées ; il s'agit de SAR <Sodium Adsorption Ration > ou taux de sodium adsorbé

selon (Durand. 1958, in Boutlli, 2012) Le SAR est déterminé par la relation suivante:

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

- $[Na^+]$ : Concentration en sodium.
- $[Ca^{2+}]$  et  $[Mg^{2+}]$ : Concentrations en calcium et magnésium.

**Tableau 3 : Classification de SAR**

SAR	Sodium absorption ratio (Degré alcalinisation)
<4	Basse alcalinisation
4<SAR≤8	Faible alcalinisation
8<SAR≤12	Alcalinisation moyenne
12<SAR≤18	Alcalinisation forte
>18	Alcalinisation intense

(Servant et al. 1966 in Benzahi, 1994, in Bouguerra 2018)

### I.5. Classification des sols salés

Plusieurs auteurs utilisent des paramètres de salinité et de sodicité pour obtenir des classes de sols salés basées sur la concentration en sels (CE) et le (ESP) (Richard, 1954). Les sols ont été classifiés comme salin, sodique ou salin-sodique. Il y a trois catégories des sols salins et sodiques, déterminées par un système de classification établi par le laboratoire américain de la salinité (Richard, 1954, in Yacine, 2022)

**Tableau 4 : Classification des sols salins**

Type des sols	CE (dS/m)	SAR
Sols salins	CE > 4 dS/m	SAR<13
Sol sal-sodique	CE >4 dS/m	SAR>13
Sol sodique	CE <4 dS/m	SAR>

(Richard, 1954, in Yacine, 2022)

## **I.6. Effets de la salinisation sur les sols et sur les végétaux**

### **1. Dégradation de la structure du sol :**

- Accumulation de sodium ( $\text{Na}^+$ ) provoquant la dispersion des agrégats, réduisant la porosité et augmentant la compaction (Rengasamy, 2006) .
- Accumulation d'ions toxiques ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ) et inhibition de l'absorption des nutriments ( $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ) par les plantes (Qadir et al., 2000).

### **2. Impacts sur les végétaux :**

- Stress osmotique: Difficulté d'absorption de l'eau par les racines (Munns & Tester, 2008) .
- Toxicité ionique: Dommages cellulaires et inhibition de la photosynthèse (Shrivastava & Kumar, 2015) .
- Carences nutritionnelles: Compétition entre  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+/\text{Ca}^{2+}$  (Qadir et al., 2000) .

### **3. Conséquences à long terme :**

- Réduction de la fertilité des sols et désertification accélérée (Qadir et al., 2000) .
- Baisse des rendements agricoles et sensibilité accrue aux maladies (Shrivastava & Kumar, 2015).

#### **I.6.1 Effets de la salinité sur les propriétés physiques du sol :**

Les sels solubles affectent la propriété du sol principalement par leurs cations, notamment l'ion sodium. L'effet défavorable de cet ion sur l'échangeable du sol se manifeste par la dispersion des colloïdes du sol, entraînant des conséquences négatives telles que (Bouguerra, 2018; Yacine, 2022) :

- Une structure du sol dégradée
- Une réduction de la perméabilité et de l'aération
- Une mauvaise stabilité structurale du sol

##### **I.6.1.1 Effet sur les propriétés chimiques :**

#### **1. Modification du pH :**

- Une salinité élevée (surtout avec des sels de  $\text{Na}^+$ ) peut augmenter le pH du sol, le rendant plus alcalin, ce qui réduit la disponibilité des nutriments comme le phosphore et le fer (Rengasamy, P. (2006)

#### **2. Accumulation d'ions toxiques :**

- Les ions  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  et  $\text{SO}_4^{2-}$  s'accumulent, provoquant une toxicité ionique pour les plantes et altérant l'équilibre électrochimique du sol (Metternicht, G. I., & Zinck, J. A. (2003)

### **3. Dégradation de la structure du sol :**

- Le  $\text{Na}^+$  disperse les agrégats en remplaçant le  $\text{Ca}^{2+}$  et le  $\text{Mg}^{2+}$  sur les sites d'échange, réduisant la stabilité structurale et augmentant la compaction Qadir, M., et al. (2000)

### **4. Réduction de la capacité d'échange cationique (CEC) :**

- L'excès de  $\text{Na}^+$  diminue la capacité du sol à retenir et libérer des nutriments essentiels ( $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ), affectant la fertilité (Machado, R. M. A., & Serralheiro, R. P. (2017).

### **5. Perturbation des cycles nutritifs :**

- La salinité inhibe la nitrification et la minéralisation de l'azote, réduisant la disponibilité de  $\text{NO}_3^-$  (Machado, R. M. A., & Serralheiro, R. P. (2017).

- Le chlore ( $\text{Cl}^-$ ) peut bloquer l'absorption du potassium ( $\text{K}^+$ ), essentiel pour la croissance des plantes. (Metternicht, G. I., & Zinck, J. A. (2003).

### **6. Augmentation de la conductivité électrique (CE) :**

- Une CE élevée ( $> 4$  dS/m) indique une salinité excessive, perturbant l'absorption d'eau par les plantes (stress osmotique)

## **6.1. Effet de la salinité sur les propriétés microbiologique du sol**

### **1. Stress osmotique :**

- Réduction de l'activité et de la survie des microbes non adaptés, favorisant les espèces halophiles (archées, Bacillus) via la production de solutés compatibles (Rietz, D. N., & Haynes, R. J. (2003)

### **2. Diversité microbienne :**

- Diminution des bactéries gram-négatives et des champignons sensibles, remplacés par des communautés halotolérantes spécialisées

### **3. Activité enzymatique :**

- Inhibition des enzymes (uréase, phosphatase), ralentissant la décomposition de la matière organique et perturbant les cycles de l'azote et du carbone.

#### **4. Biomasse et résilience :**

- Réduction de la biomasse microbienne totale, mais adaptation via des mécanismes génétiques (ex. transporteurs d'ions)

#### **5. Structure du sol :**

- Fragilisation des agrégats due à la baisse de production d'EPS et à la dégradation des hyphes fongiques

#### **6. Émissions de gaz :**

- Modulation des émissions de N<sub>2</sub>O et CO<sub>2</sub> selon les voies métaboliques microbiennes dominantes

#### **7. Interactions plantes-microbes :**

- Altération des symbioses (mycorhizes, rhizobiums), affectant la nutrition végétale et la fertilité du sol

#### **6.2 Effets de la salinité sur les végétaux :**

Les sels dissous ont des effets indirects sur les végétaux par leur action sur la structure du sol et la circulation des fluides et ont des effets directs sur la croissance et le développement des plantes (Calvet, 2003), provoquant ainsi son flétrissement <<sécheresse physiologique>> (Diarra, 1991, in Bouguerra, 2018)

#### **1.7. L'irrigation dans les zones arides**

L'agriculture en zone aride est une pratique spécifique qui s'adapte aux conditions écologiques (climatiques et édaphiques) de ces régions. Cette activité, comme partout ailleurs, a des impacts significatifs sur les ressources naturelles de la zone aride, qui sont caractérisées par leur fragilité notamment les en eau souterraine, un facteur limitant pour la viabilité et la durabilité de l'agriculture dans ces régions (in Yacine, 2022).

Environ 40 % des terres émergées mondiales (soit 5,2 milliards d'hectares) sont classées comme zones arides ou semi-arides, abritant plus de 2 milliards d'habitants confrontés à des défis d'eau et de dégradation des sols (FAO, 2023). En Afrique, 37 % des terres sont arides, avec des risques accrus de désertification (PNUE, 2021). En Algérie, 95 % du territoire est aride, dont 80 % hyper-aride (principalement au Sahara), limitant les zones cultivables à la bande côtière nord (Ministère de l'Agriculture, 2022). Ces régions subissent une dégradation

accélérée due au changement climatique et aux pressions anthropiques, menaçant la sécurité alimentaire et les écosystèmes fragiles (Nations Unies, 2020, Halitim, 2011).

Les sociétés humaines dans les régions arides ont développé, au fil du temps des systèmes de production et de gestion des ressources qui leur ont permis de s'adapter aux conditions environnementales difficiles et de développer une économie locale durable, fondée sur la valorisation du patrimoine locale et la préservation de l'agri-écosystème , comme en témoigne le <<modèle oasien >>. (in Yacine, 2022)

### **I.7.1 L'agriculture saharienne :**

L'agriculture saharienne s'appuie historiquement sur les systèmes oasiens, caractérisés par des techniques d'irrigation ancestrales comme les foggaras (galeries souterraines drainant l'eau vers les palmeraies). Ces systèmes, développés dans des régions comme le Touat-Gourara-Tidikelt en Algérie, ont permis la sédentarisation des populations nomades et une agriculture diversifiée (dattes, cultures vivrières, arbres fruitiers) . Les oasis traditionnelles étaient autosuffisantes, mais leur viabilité dépendait de la gestion collective de l'eau et des sols

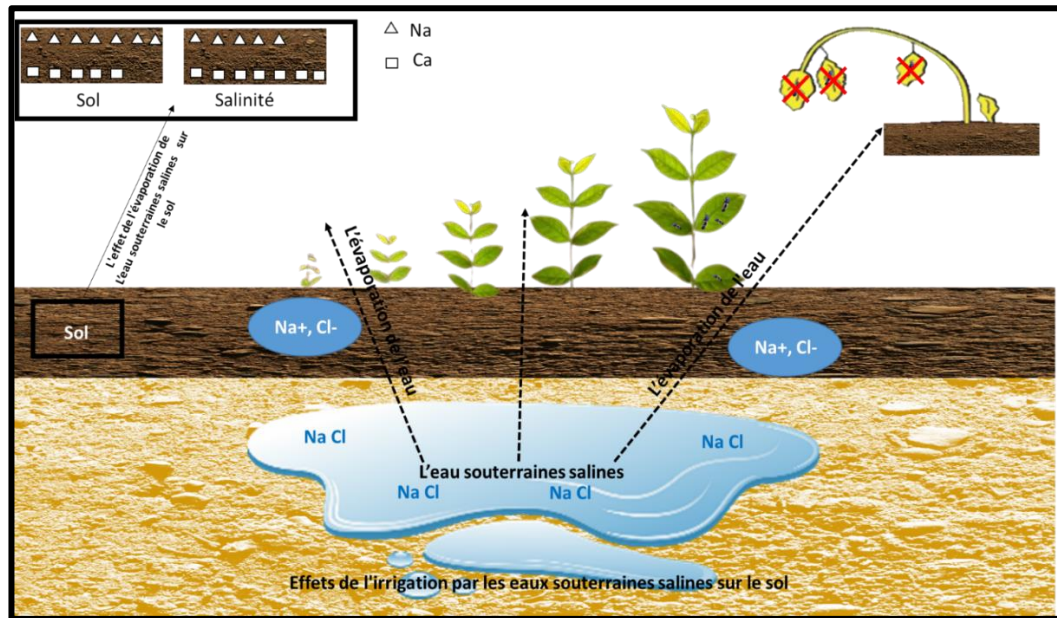
EL OUED joue un rôle clé dans la modernisation de l'agriculture dans les zones arides et semi-arides du sud l'Algérie, en fournissant un soutien technique aux acteurs du secteur agricole. la loi sur l'accession à la propriété foncière Agricole (APFA) adoptée en 1983 a permis une augmentation significative de la base matérielle de la production et favorise l'émergence de nouveaux systèmes agricoles performants, tels que la plasticulture , qui est principalement axée sur la commercialisation. Dans ce contexte, des activités de recherche et de développement ont été menées pour améliorer les pratiques agricoles, notamment pour les cultures sous serre et en plein champ, afin de promouvoir une agriculture durable et compétitive (ITDAS, 2013, cité par Laib, 2014, in Yacine, 2022)

### **I.7.2 L'irrigation en zones arides :**

L'irrigation est une technique agricole qui vise à fournir de l'eau aux cultures de manière contrôlée et régulière, en utilisant des systèmes industriels, afin de permettre leur croissance et leur développement optimal dans les zones arides et de réduire les impacts de la sécheresse. Cette pratique est essentielle pour maintenir une dynamique agricole soutenue et assurer la stabilité de la production

Dans certaines régions, le développement des nappes phréatiques peut jouer un rôle important dans le développement de l'agriculture à petite échelle. Cependant, il est rare que l'eau souterraine soit une ressource renouvelable dans les terres arides. Une nouvelle approche émerge dans les zones sahariennes, notamment dans la région de Biskra, qui consiste à remplacer les systèmes d'irrigation traditionnels, qui consomment beaucoup d'eau, par des systèmes plus

économiques en eau tels que l'aspersion et l'irrigation localisée cette approche est applicable à diverses cultures, notamment les cultures des dattes, la plasticulture et la céréaliculture. En effet dans ces zones, une rénovation des techniques d'irrigation est nécessaire, étant donné que l'agriculture pluviale est pratiquement impossible en raison des conditions climatiques arides (in Yacine, 2022).

**I.8. L'irrigation par les eaux souterraines et leur conséquence sur le sol :****Figure 01: L'irrigation par les eaux souterraines et leur conséquence sur le sol**

L'irrigation par les eaux souterraines, essentielle dans les régions arides comme l'Asie du Sud, l'Afrique du Nord et le Moyen-Orient, est marquée par une salinisation accélérée des sols.

Cette salinisation, dite secondaire, résulte de la forte concentration en sels dissous ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) de ces eaux, combinée à une évaporation intense et à un drainage inadéquat. Par exemple, dans la vallée de l'Indus (Pakistan), plus de 40 % des sols irrigués présentent une salinité critique, réduisant les rendements de blé de 30 à 50 % (Alam & Bhutta, 2004). Le sodium ( $\text{Na}^+$ ), en remplaçant le calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) dans les complexes argileux, provoque la dispersion des agrégats du sol, réduisant sa porosité et sa capacité à retenir l'eau (Rengasamy, 2006). Ce phénomène s'accompagne d'une baisse de l'activité microbienne, limitant la décomposition de la matière organique et la libération d'azote, essentielle pour les cultures (Sardinha et al, 2003) .

Dans des régions côtières comme le delta du Bengale (Bangladesh), la surexploitation des nappes entraîne une intrusion d'eau salée, aggravant la salinité des sols et contaminant les réserves d'eau potable. Par ailleurs, l'utilisation d'eaux souterraines chargées en arsenic dans certaines zones (ex. Bengale occidental) pose des risques sanitaires graves, avec des concentrations dépassant 50  $\mu\text{g/L}$  (OMS recommande < 10  $\mu\text{g/L}$ ) .

Face à ces défis, des solutions innovantes émergent :

**-Techniques de drainage souterrain:** Comme en Égypte, où des drains en plastique enterrés réduisent la remontée de sels .

**-Désalinisation solaire:** Testée en Tunisie pour traiter les eaux saumâtres à faible coût .

**-Cultures tolérantes:** Introduction de variétés de blé résistantes au sel (ex. projet en Inde avec le CIMMYT) .

**-Gestion communautaire:** des coopératives agricoles régulent les pompages via des quotas saisonniers .

### **Utilisation de matières organiques**

L'ajout de matières organiques (compost, fumier, résidus végétaux) améliore la structure du sol et sa capacité à retenir l'eau, tout en réduisant l'accumulation de sels. Ces matériaux stimulent l'activité microbienne, favorisent la dégradation des sels et augmentent la fertilité des sols dégradés. Cette approche est particulièrement efficace dans les oasis traditionnelles, où la gestion organique est combinée à des techniques d'irrigation contrôlée.

### **. Application de gypse (sulfate de calcium)**

Le gypse est une solution classique pour lutter contre la salinité. Il remplace les ions sodium ( $\text{Na}^+$ ) dans le sol par des ions calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), réduisant ainsi la toxicité et améliorant la perméabilité du sol. Pour des résultats optimaux, le gypse doit être appliqué avant les pluies ou l'irrigation, permettant le lessivage des surs excédentaires. Cette méthode est utilisée dans les périmètres irrigués du Sahara algérien, notamment dans la région de Biskra.

Cependant, ces mesures restent insuffisantes sans une gouvernance intégrée. En Californie, la loi SGMA (Sustainable Groundwater Management Act) impose depuis 2014 des plans de gestion locaux pour éviter l'effondrement des aquifères. Une approche similaire, couplée à des incitations financières pour les agriculteurs adoptant des pratiques durables, est cruciale pour concilier sécurité alimentaire et préservation des ressources .

## **I. 9 La qualité des eaux utilisées en irrigation :**

### **I.1.9 Les critères qu'il faut tenir en compte pour choisir une eau d'irrigation :**

Le choix d'une source d'eau pour l'irrigation des cultures repose essentiellement sur deux aspects : le type et la concentration des éléments dissous ou en suspension dans l'eau, ainsi que les propriétés physico-chimiques du sol (Durand, 1983). Si certaines sources hydriques présentent une qualité acceptable, d'autres peuvent contenir des niveaux élevés de sels, des microorganismes indésirables, ou des résidus polluants. Par conséquent, une analyse détaillée des caractéristiques physiques, chimiques et biologiques de l'eau est indispensable pour prévenir les impacts négatifs sur les plantes, le système d'irrigation, le sol et l'écosystème environnant.

Trois critères majeurs doivent guider ce choix:

1. La quantité d'eau disponible, liée aux besoins en irrigation déterminés par l'évapotranspiration (ETP). Plus les volumes d'eau utilisés annuellement sont importants, plus le risque d'accumulation de substances toxiques (sels, résidus, etc.) dans le sol augmente.

2. Le type de culture, car la sensibilité des plantes aux éléments toxiques (comme le sodium ou certains métaux) varie considérablement.

3. Le type de sol : les sols sableux, caractérisés par un taux de percolation élevé, limitent la rétention des sels, contrairement aux sols argileux, dont la structure et la perméabilité peuvent être dégradées par un excès de sodium.

Parmi les paramètres clés pour évaluer la qualité de l'eau d'irrigation figurent:

- La salinité (concentration totale en sels),

La teneur en sodium (risque de dégradation des sols argileux), -

L'alcalinité et le pH (influence sur la disponibilité des nutriments), -

- La présence d'éléments potentiellement toxiques pour les plantes (Bradaï et al. 2012).

En résumé, une gestion efficace de l'irrigation exige une approche holistique, intégrant la qualité de l'eau, les spécificités du sol, les exigences des cultures et les impacts environnementaux, comme le soulignent les travaux de Durand (1983) et (Bradaï et al. 2012, in Abdennor, 2021).

## I.9.2 Les grandeurs d'évaluation pour la qualité d'eau d'irrigation:

### I.9.2.1 La salinité:

**Tableau 5 : Classification des eaux d'irrigation proposée par l'USDA.**

Nomination	Classe	Interpretations
Classe1(C1)	<250 $\mu\text{S cm}^{-1}$	basse salinité
Classe2(C2)	250 $\mu\text{S cm}^{-1}$ à 750 $\mu\text{S cm}^{-1}$	salinité modérée
Classe3(C3)	750 $\mu\text{S cm}^{-1}$ à 2250 $\mu\text{S cm}^{-1}$	haute salinité
Classe4(C4)	>2250 à 5000 $\mu\text{S cm}^{-1}$	très haute salinité
Classe5(C5)	>5000 $\mu\text{S cm}^{-1}$	Non utilisable en irrigation

(Harivandi, 1999, cité par Abdennor, 2021).

### I.9.2.2 Le sodium:

L'importance du sodium réside dans le fait qu'il s'agit d'un **ion principal** dans l'évaluation de la qualité des eaux d'irrigation, en raison de son impact négatif sur la structure du sol et les plantes.

**Tableau 6: Classement de la qualité de l'eau en fonction du danger d'alcalinisation du sol.**

Nom de la classe	Classe	Interpretation
<b>CLASSE S1</b>	$0 < \text{SAR} \leq 10$ Bas taux de sodium	Eaux utilisables pour l'irrigation de presque tous les sols. Danger d'alcalinisation réduit, bien que

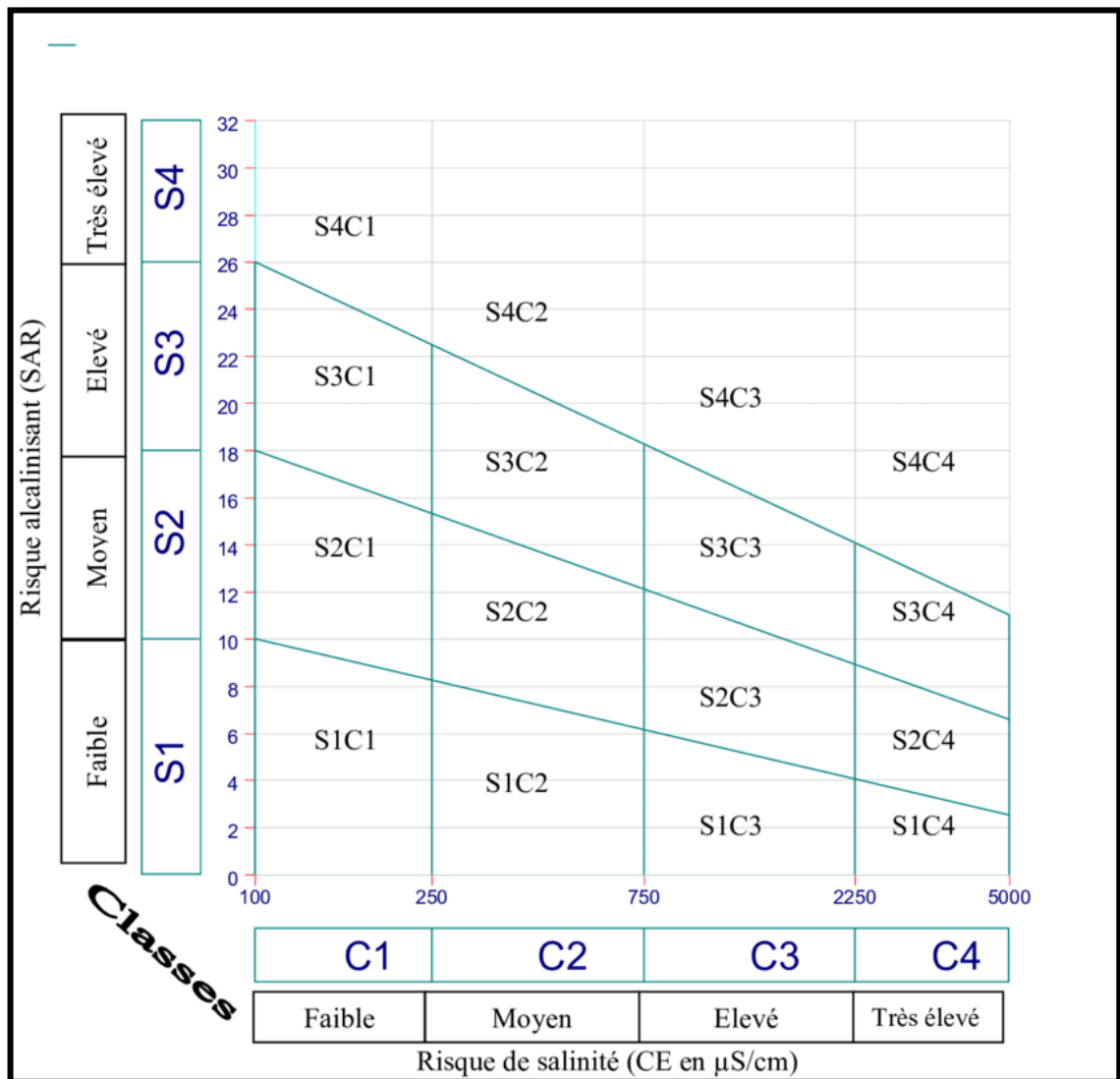
		certaines cultures sensibles au sodium puissent être gênées.
<b>CLASSE S2</b>	10 < SAR ≤ 18 Taux moyen de sodium	Le danger d'alcalinisation des sols est appréciable dans les sols à textures fine et à forte capacité d'échange, surtout dans la condition de faible lessivage. Eau utilisable sur les sols de texture Grossière, ou sur les sols organiques ayant une bonne perméabilité
<b>CLASSE S3</b>	18 < SAR ≤ 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 exigeant la mise en œuvre d'un aménagement spécial assurant un bon drainage et fort lessivage. Addition de matière organique, amendements chimiques est souvent nécessaire.
<b>CLASSE S4</b>	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.

(Cité par Abdennor, 2021)

**I.9.3 Classification des eaux irrigation:****I.9.3.1 Le Diagramme de Richards:**

La Figure 1 et le tableau 6 donnent, respectivement, le diagramme de RIVERSIDE, les classes.

Issues du diagramme de RIVERSIDE et l'interprétation de chaque classe:



**Figure 02: Diagramme de RIVERSIDE selon Richards**

Les classes d'eau d'irrigation (C1S1 à C5S4) dans le diagramme de Richards (Figure 2) classifient la qualité de l'eau selon deux paramètres critiques :

- L'axe des ordonnées (S): Représente le SAR (Sodium Adsorption Ratio), indicateur du risque de sodisation .

- L'axe des abscisses (C): Correspond à la conductivité électrique (CE), mesurant la salinité globale .

- C1S1 (coin inférieur gauche): Qualifiée d' «excellente», elle combine une CE basse (<250 µS/cm) et un SAR faible (<10), minimisant les risques de dégradation du sol et de toxicité pour les plantes .

- Classe C5S4 (coin supérieur droit): Classée «inadaptée à l'irrigation», elle associe une CE très élevée ( $>5000 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) et un SAR critique ( $>26$ ), signalant un danger extrême de salinisation, de compaction des sols et de stress hydrique pour les cultures .

Ce diagramme permet une évaluation visuelle rapide des compromis entre salinité et toxicité sodique, guidant le choix de stratégies d'atténuation (ex : lixiviation des sels, apports en calcium) selon la classe diagnostiquée.

**Tableau 7: Les classes issues du diagramme de Riverside.**

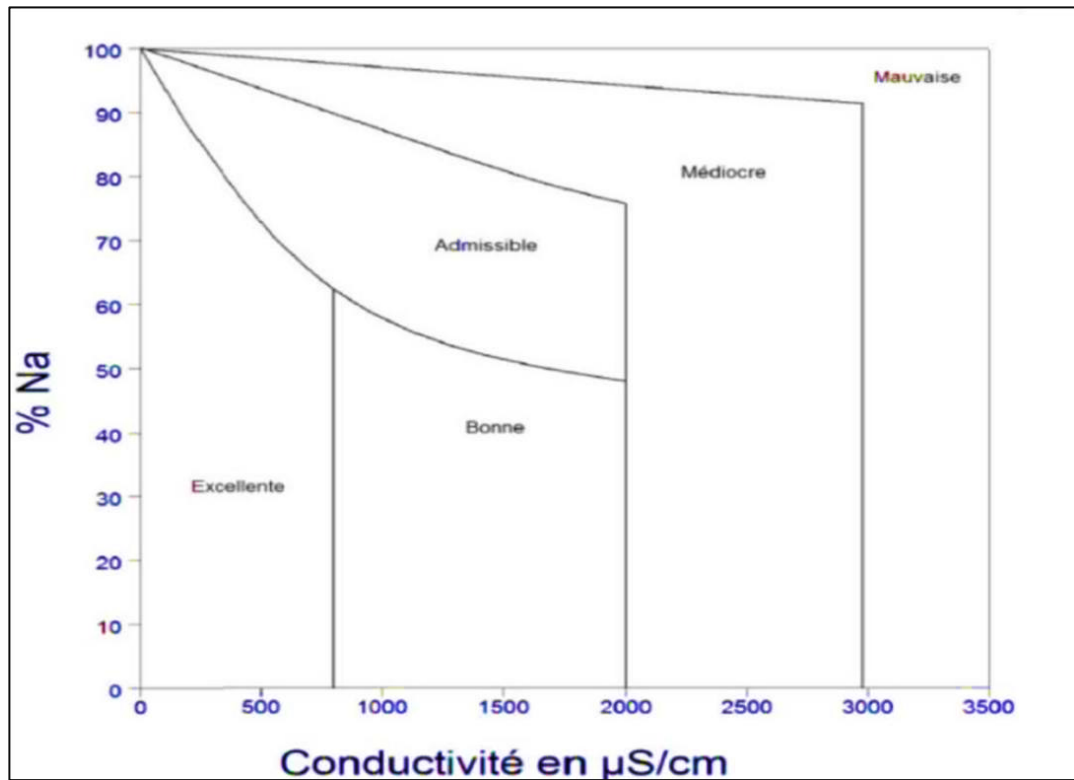
CE SAR	Classe CE ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )				
	C1 0 – 250	C2 250 – 750	C3 750–2250	C4 2250 – 5000	C5 5000 – 10000
S1 0 – 10	C1S1	C2S1	C3S1	C4S1	C5S1
S2 10 – 18	C1S2	C2S2	C3S2	C4S2	C5S2
S3 18 – 26	C1S3	C2S3	C3S3	C4S3	C5S3
S4 > 26	C1S4	C2S4	C3S4	C4S4	C5S4

(Cité par Abdennor, 2021)

### I.9.3.2 Diagramme de Wilcox:

D'après (Sedrati, 2011), La classification de (Wilcox, 1948), est fondée sur la

Conductivité électrique (CE en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) en abscisse et la teneur en sodium dans l'eau qui est exprimée en pourcentage en ordonnées :



**Figure 03: Le diagramme de Wilcox**

A l'issue de la classification de Wilcox, cinq classes pourront être attribuées à une eau d'irrigation ; excellente, bonne, admissible, médiocre et mauvaise.

**Chapitre II :**

**SIG comme outils d'aide à la  
décision dans le domaine agricole**

## II.1 Définition du SIG: (Système d'Information Géographique).

Le SIG est un outil informatique qui combine la collecte de données spatiales (comme les routes et les bâtiments) et les données attributaires (comme la population ou le type de sol), en les organisant en couches d'information superposables, pour transformer les données brutes en informations compréhensibles. Cela facilite la prise de décision éclairée grâce à des représentations cartographiques interactives et dynamiques.

Caractéristiques clés :

- **Données spatiales** : Définies par des coordonnées géographiques (longitude/latitude) ou des systèmes de projection .

- **Données attributaires**: Informations non spatiales (démographiques, géologiques, etc.) .

(<https://sites.google.com/site/pastoraldz/cartographie-gps/courssig/les-sig-quelques-definitions>)

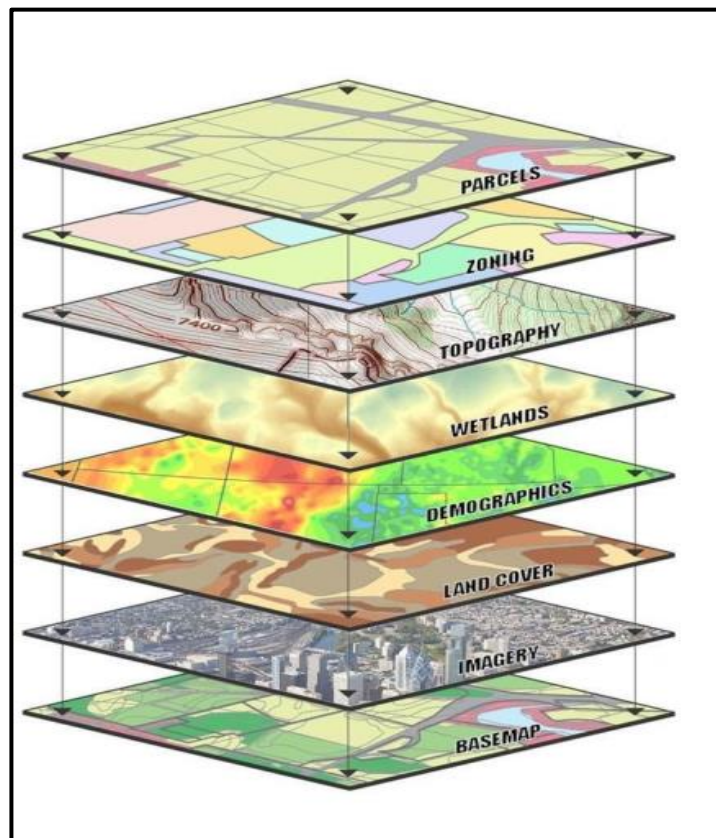


Figure 04: Décomposition de l'environnement en couches d'information

## II.2 Types de données:

### II.2.1 Données géographiques:

Les couches d'information peuvent être présentées sous la forme de données géographiques. Qui vont représenter la forme d'éléments se situant dans l'espace. On différencie ainsi les données raster et les données vectorielles:

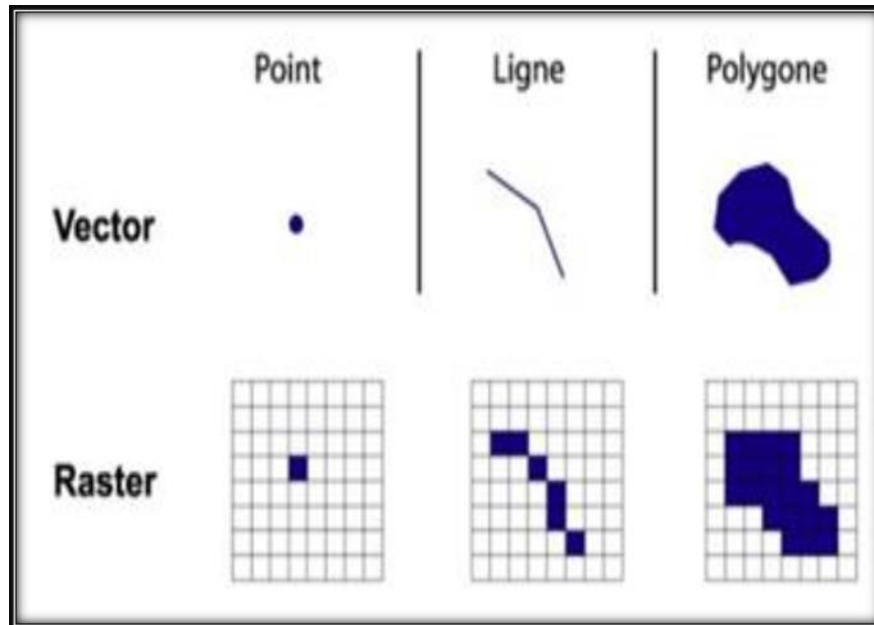


Figure 05: Les types de données géographiques dans un SIG

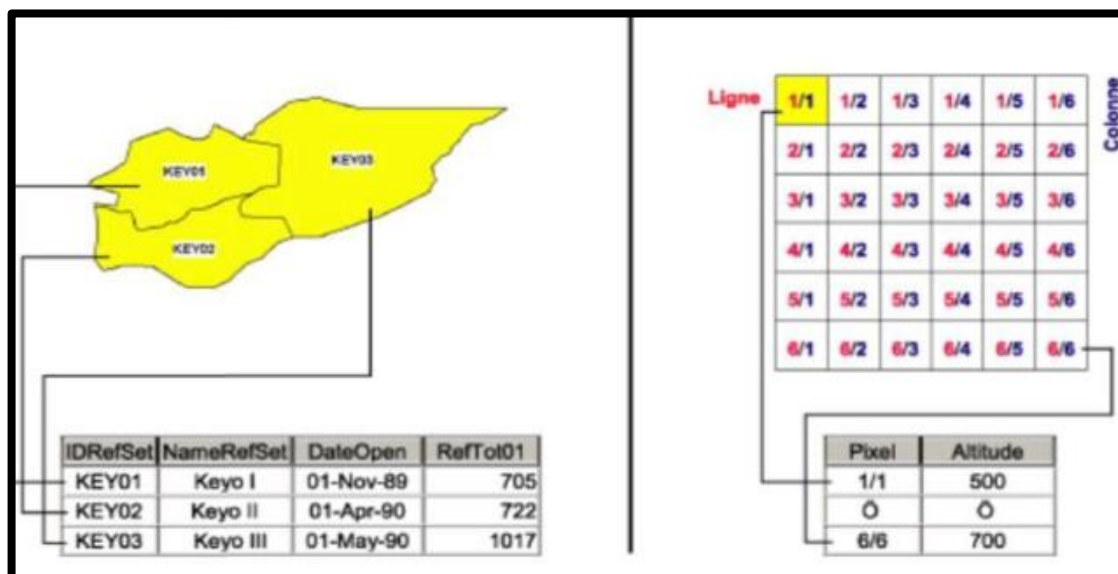
### II.2.2 Les données vectorielles:

Dans ce type de données, le point avec ses coordonnées est le porteur de l'information géométrique. Les lignes et les surfaces se comprennent comme une suite définie de points caractéristiques. Les données vectorielles sont la plupart du temps le résultat de la numérisation manuelle ou semiautomatique. De façon générale, dans les données vectorielles on distingue les points, les lignes et les surfaces qui sont toujours représentés en couches différentes (in Yacine, 2022).

### II.2.3 Les données raster:

Dans les données raster, le pixel (élément d'image) constitue l'élément de base. Ces données proviennent soit de la scénarisation d'une carte, soit d'images numériques telles que celles capturées par des satellites. Les pixels sont répartis de manière régulière au sein de la grille raster, et les lignes et surfaces ne peuvent être représentées que par l'agrégation de pixels

individuels, conduisant à une représentation approximative des objets. Ainsi, la taille du pixel détermine la précision de cette représentation (*in Yacine, 2022*).



**Figure 06: Relation entre les données géographiques et attributives dans un SIG**

Dans cette étude; pour créer les cartes de salinité du sol, nous utilisons le Logiciels QGIS.

### II.3 Présentation de QGIS:

QGIS est avant tout un logiciel de Système d'Information Géographique (SIG) open source, caractérisé par :

#### -Gratuité et liberté d'utilisation :

- Distribué sous licence GNU GPL (permettant l'étude, la modification, et la redistribution du code source) .
- Alternative aux logiciels SIG payants (comme ArcGIS d'ESRI) .
- Multiplateforme: Compatible avec Linux, Mac OS X, Windows, et Android .
- Soutenu par une communauté internationale: Utilisateurs, développeurs, et contributeurs passionnés .

#### - Projet officiel de l'OSGeo :

- Fondation Open Source Géospatial (OSGeo), association à but non lucratif créée en 2006 aux États-Unis .

- Mission: Promouvoir les logiciels libres géospatiaux, renforcer la collaboration entre projets, et intégrer des outils tiers (comme GRASS, GDAL/OGR, SAGA, Python scripts) .

Site web: [www.osgeo.org] (<http://www.osgeo.org/>) .

Fonctionnalités clés de QGIS :

**1. Simplicité d'utilisation avec une interface intuitive .**

**2. Gestion des données spatiales :**

- Formats raster (images, matrices) et vectoriels (points, lignes, polygones) .

**3. Visualisation cartographique avancée .**

**4. Intégration d'outils tiers :**

- Bibliothèques et logiciels comme OrfeoToolBox (OTB), LIDAR, R scripts, TauDEM.

### **II.3.1 Analyse Spatiale (Interpolation):**

L'analyse spatiale est un processus de traitement des données spatiales visant à extraire de nouvelles informations et à approfondir la compréhension des données originales. Cette analyse est généralement réalisée à l'aide de systèmes d'information géographique (SIG), qui fournissent des outils spécialisés pour :

- Calculer des indicateurs statistiques spatiaux .
- Exécuter des traitements géographiques (tels que l'interpolation des données) .

Applications spécifiques par domaine :

#### **1. Hydrologie :**

- Analyse du relief .
- Modélisation des mouvements d'eau de surface et souterrains .

#### **2. Gestion de la faune :**

- Analyse de la répartition des organismes vivants et de leurs interactions avec l'environnement (in Yacine, 2022).

### **Interpolation des données spatiales :**

En raison des coûts élevés et des difficultés liées à la collecte exhaustive de données, les échantillons sont généralement prélevés en un nombre limité de points. C'est ici qu'interviennent les techniques d'interpolation dans les SIG, permettant de créer :

- Une surface numérique (raster) estimant les valeurs du phénomène étudié pour toutes les cellules de la zone .

### **Principales méthodes d'interpolation :**

#### **1.Pondération par l'inverse de la distance (IDW) :**

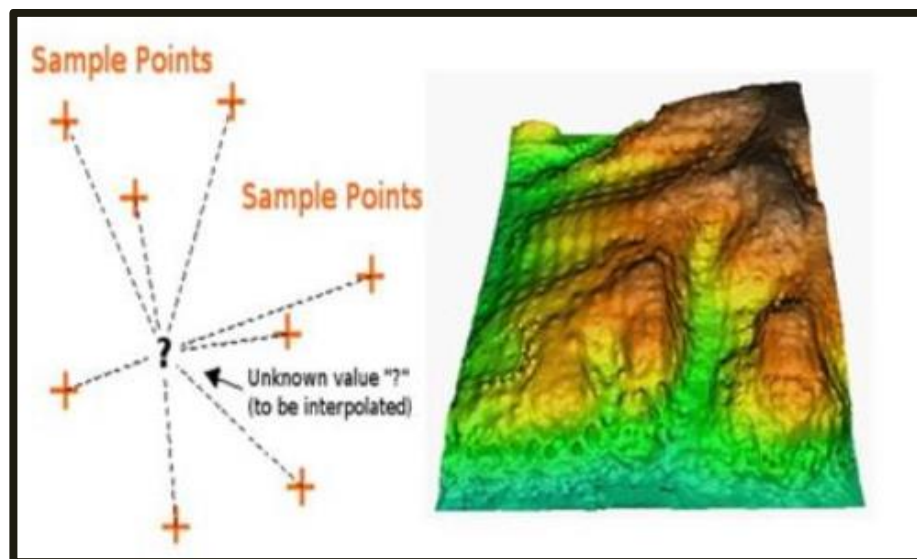
- Basée sur l'idée que les points proches influencent davantage la valeur interpolée .

#### **2.Réseau triangulé irrégulier (TIN) :**

- Divise la zone en triangles en utilisant les points échantillonnés comme sommets .

### **II.3.2 Pondération par l'Inverse de la Distance (IDW):**

Dans la méthode d'interpolation IDW, le principe de base repose sur l'idée que les points proches de l'emplacement inconnu (dont on veut estimer la valeur) ont une influence plus grande que les points éloignés. Autrement dit, le poids attribué à chaque point connu diminue à mesure que sa distance augmente par rapport au point à interpoler. Cette méthode est largement utilisée dans les logiciels de systèmes d'information géographique (SIG) pour convertir des données ponctuelles limitées en cartes continues reflétant la distribution spatiale d'un phénomène avec précision.



**Figure 07: IDW Interpolation**

Dans le processus d'interpolation spatiale, la pondération des points est appliquée via un coefficient de pondération qui contrôle la diminution de leur influence à mesure que leur distance par rapport au point inconnu augmente. Plus le coefficient de pondération est élevé, moins les points éloignés ont d'impact durant l'interpolation, rapprochant ainsi la valeur estimée du point inconnu de celle du point d'observation le plus proche. Les résultats de cette interpolation sont généralement affichés dans les SIG sous forme de couche raster en 2 dimensions, reflétant la distribution spatiale précise du phénomène étudié (cité par, Yacine, 2022).

### **II.3.3 Interpolation triangulaire (TIN):**

L'interpolation triangulaire (TIN - Réseau Triangulé Irrégulier) est une méthode de modélisation de surfaces géographiques utilisée en SIG (Système d'Information Géographique). Elle repose sur la création d'un maillage de triangles irréguliers à partir de points dispersés, reflétant les variations spatiales (altitude, pente, etc.). Contrairement aux données raster, le TIN offre une précision élevée dans les zones à relief complexe tout en optimisant le stockage des données. Les triangles sont générés via l'algorithme de Delaunay, garantissant qu'aucun point ne se situe à l'intérieur de la circonférence d'un triangle voisin. Cette technique est idéale pour modéliser les terrains montagneux, analyser les bassins versants, ou planifier des infrastructures, avec des applications en hydrologie, urbanisme et génie civil.

Selon Burrough & McDonnell (1998) et les ressources Esri/USGS, le TIN reste un outil clé dans des logiciels comme ArcGIS ou QGIS, combinant flexibilité et efficacité pour représenter des surfaces géoréférencées

# **Partie Pratique**

## **Chapitre III : Etude de la région**

### III.1. La situation géographique:

La wilaya d'El Oued, l'une des villes les plus importantes au niveau national, est située dans la vaste région du sud-est et occupe une vaste superficie de 35 752 kilomètres carrés, soit 1,5% de la superficie du territoire de la République algérien.

La superficie de l'Wilaya est de 35 752 km<sup>2</sup>(Soit 1,5 pour cent du territoire national) et sa population à fin 2021 est estimée à 716 905 personnes (soit Avec un taux de densité de population de (20,05)

La wilaya d'El Oued est située au sud-est du pays et ses frontières sont les suivantes:

Au nord, l'wilaya de Khenchela

Nord-est de la wilaya de Tébessa

Nord-ouest la wilaya d'Al-Mughayir

À l'ouest la wilaya de Touggourt

Au sud-ouest de la wilaya d'Ouargla

Est de la République Tunisienne (bande frontalière 260 km).

### III.2. Division administrative:

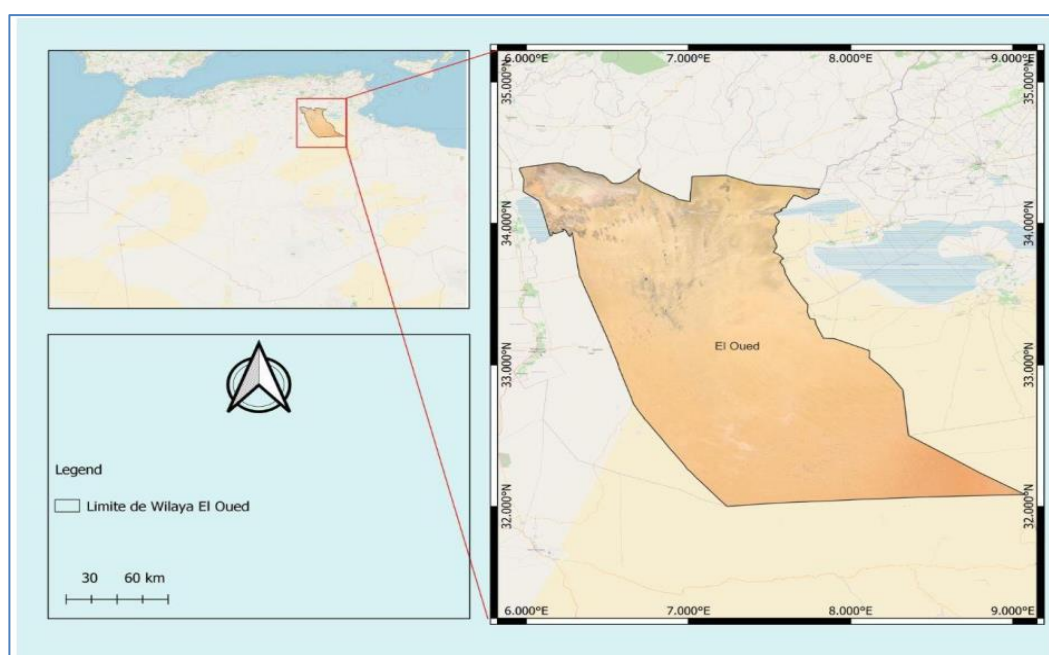


Figure 08 : Situation géographique de la région d'El Oued (Réalisé par QGIS)

### III.3. SITUATION TOPOGRAPHIQUE:

#### III.3.1 Nature topographique de la région d'étude:

La région d'El Oued appelée aussi région du Bas-Sahara à cause de la faible altitude est située au Sud-Est du pays- Le point le plus haut se trouve à la cote 125 m à la commune de Bayadha (Soualah), alors que le point le plus bas se trouve à la cote 29m à la commune de Réguiba (Foulia).

L'altitude moyenne de la région est de 80 mètres et accuse une diminution notable du Sud vers le Nord pour être de 25 mètres au-dessous du niveau de la mer dans la zone des Chotts qui occupent le fond de l'immense bassin du bas Sahara.

#### III.3.2 Pente de terrain:

Le pendage général de la zone d'étude est orienté Sud/Nord, avec une pente moyenne très faible (au mieux de l'ordre de 0,002 m/m à 0,003 m/m) et des incidents liés à la présence des dunes (cité par, Touati, Abbidi, 2018).

**Tableau 8: Altitude moyenne des différentes communes de la vallée d'El Oued**

N°	Commune	Altitude Moy(m)	N°	Commune	Altitude Moy(m)
01	Hassi Khalifa	77	10	Sidi Aoun	54
02	El-Ogla	91	11	Trifaoui	81
03	Mouih Ouansa	91	12	Magrane	60
04	El Oued	77	13	Ourmes	85
05	Robbah	93	14	Kouinine	75
06	Oued Allenda	83	15	Réguiba	57
07	Bayadha	90	16	Taghzout	78.5
08	Nakhla	85	17	Débila	62
09	Guemar	64	18	Hassani Abdelkrim	66

(Cité par, Touati, Abbidi, 2018).

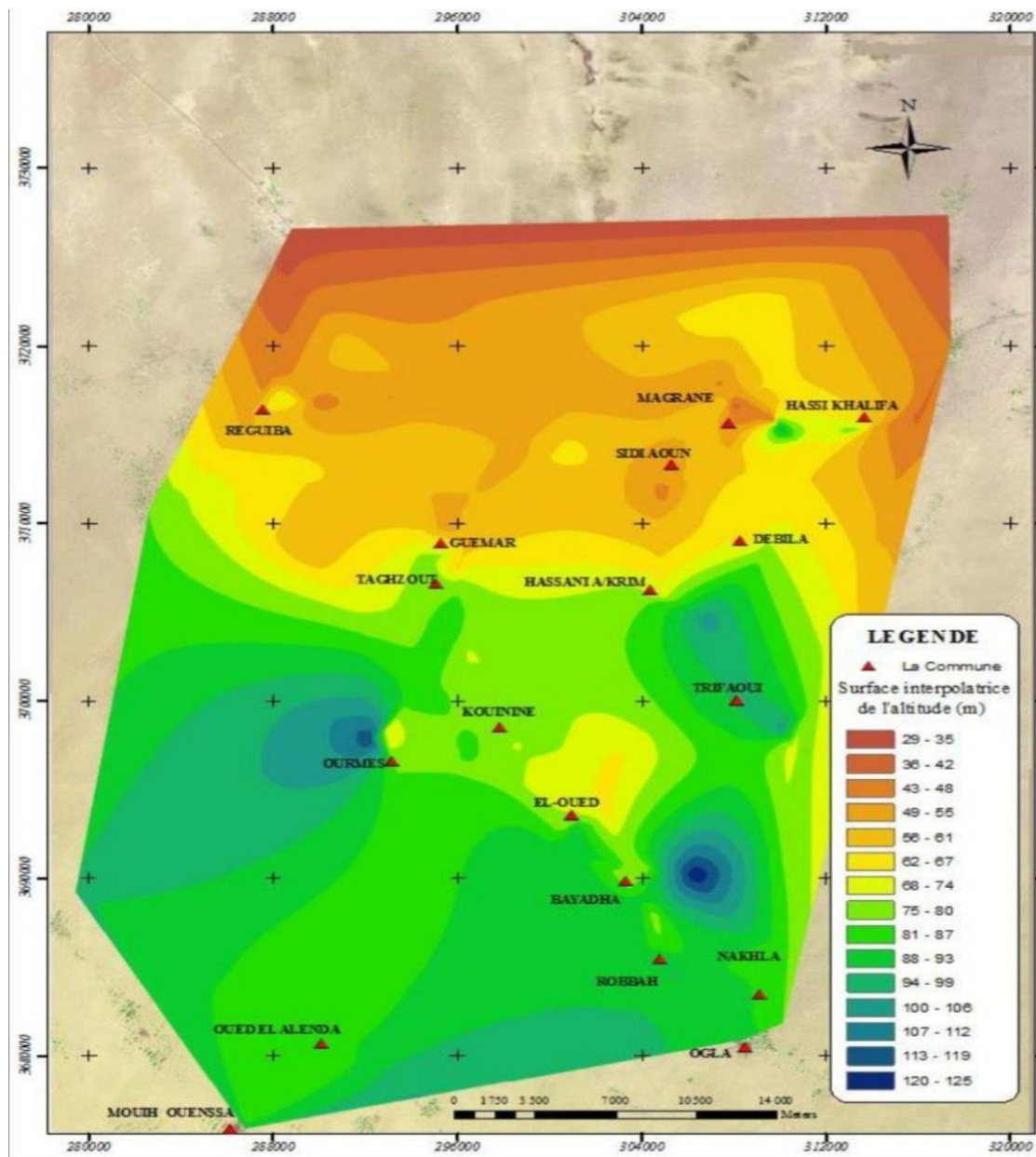


Figure 09: Carte topographique de la vallée d'El Oued

### III.4. Le Climat

L'étude du climat de la région d'el 'oued, est faite pour la période (2013-2023), sur la base des données recueillies auprès de l'Office National de la Météorologie de Gamar

- **Désertique aride:** Les précipitations annuelles moyennes ne dépassent pas 100 mm, avec des températures estivales atteignant 41, 5 °C

#### III.4.1 La température:

- Le tableau 9 montre que la température moyenne annuelle enregistrée à el 'oued est de 25°C. La température minimale est enregistrée pour le mois de janvier avec 9°C et la

température la plus chaude est enregistré le mois de juillet avec 45°C. Le nombre de mois dont la température dépasse les 30°C est de 4 à 5 mois suivant les années.

**Tableau 9: Températures moyennes mensuelles de la région d'El Oued durant la période 2013–2023**

moins	Jan	fév	Mars	Avril	mai	Juin	juil	aout	Sep	oct	nov	déc	MOY Annuel
T Max	18	18	22	23	33	44	45	43	37	29	24	15	29.3
T min	9	11	16	20	23	26	30	32	29	26	16	11	20.8
T moy	13.5	14.5	19	21.5	28	35	37.5	37.5	33	27.5	20	13	25

Source (ONM)

#### III.4.2 Humidité relative:

**Tableau 10: l'humidité moyenne mensuelle de la région d'El Oued durant la période 2013-2023**

Mois	Jan	Fév	mars	Avril	mai	juin	juil	aout	Sep	oct	nov	Déc	Total
H (%)	56.9	49.4	41.6	36.9	33	30.5	26	33	39.4	47	55.1	65.5	42.9

Source (ONM)

#### III.4.3 Le vent:

Les vents caractérisés par une vitesse moyenne de 3.07 m/s. Ils soufflent pendant toute l'année avec des vitesses variables suivant les saisons.

**Tableau 11: Vitesse moyenne mensuelle du vent de la région d'El Oued durant la période 2013-2023**

Mois	Jan	Fév	Mars	Avril	mai	Juin	Jul	aout	sep	Oct	Nov	Déc	Total
Vitesse Vent(m/s)	2.5	2.7	3.5	3.7	3.7	3.8	3.2	3.3	3.3	2.44	2.6	2.1	3.07

Source (ONM)

### III.4.4 La pluviométrie:

Les pluies sont rares et irrégulières. Les quantités les plus importantes de pluies sont enregistrées au mois d'Avril, avec 4.2mm. Le cumul annuel de précipitations est de 24.4mm.

**Tableau 12: Précipitations moyennes mensuelles de la région d'El Oued durant la période 2013–2023**

Moins	Jan	Fév	mars	Avril	Mai	juin	juil	aout	Sep	oct	nov	Déc	Total
P(mm)	1.3	2.6	2.4	4.2	1.33	0.2	0	0.7	2.6	2.2	3.3	3.6	24.4

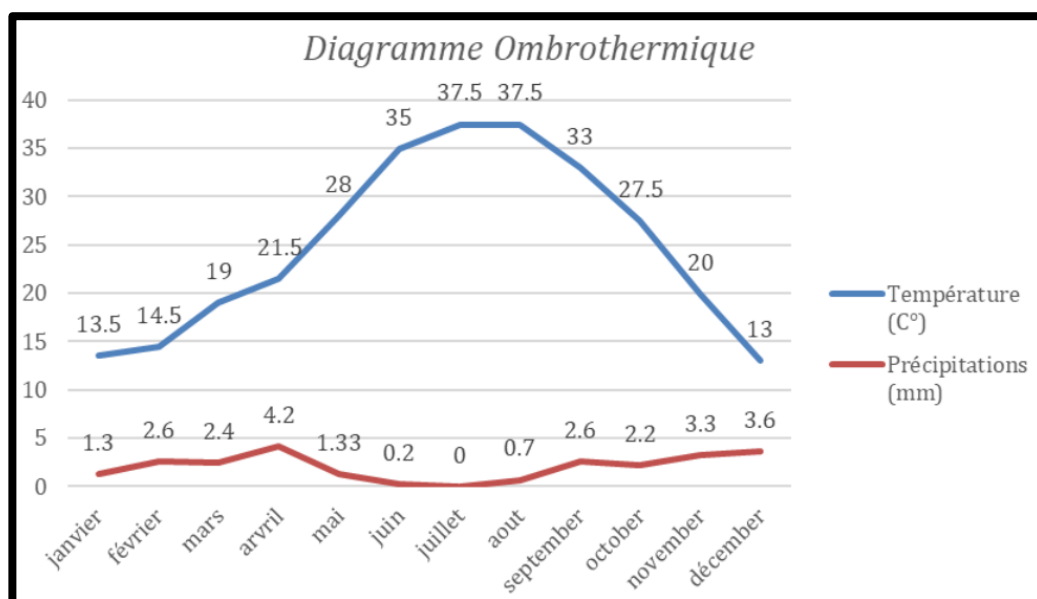
Source (ONM)

### III.5. Synthèse climatique

#### III.5.1 Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN:

Pour donner une synthèse climatique de la région d'étude, nous avons établi le Diagramme ombrothermique de Bagnols et Gausсен (figure 10) et le climagramme D'Emberger (figure 10).

Le diagramme ombrothermique de Bagnols et Gausсен est une méthode graphique Qui permet de définir les périodes sèche et humide de l'année. Pour la région d'el 'oued et À partir des donnés pluviométriques et thermiques moyennes mensuelles calculées sur une Période de 11 ans, nous remarquons que la période sèche s'étale sur toute l'année (figure10)



**Figure 10: Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSE.**

### III.5.2 Climagramme D'emberger:

Ce climagramme permet, grâce au quotient pluviométrique d'EMBERGER (Q2) Spécifique au climat méditerranéen, de situer une zone d'étude dans un étage bioclimatique.

Le quotient pluviométrique d'EMBERGER est calculé par la formule suivante :

$$Q2 = 3,43 \cdot \frac{P}{M - m} = 3,43 \cdot \frac{24,4}{45 - 9} = 2,32$$

Q2: Quotient pluviométrique d'EMBERGER.

P : Les précipitations annuelles en mm

M : La température maximale du mois le plus chaud.

m : La température minimale du mois le plus froid.

= 3443 Coefficient de Stewart établi pour l'Algérie.

Donc, ces valeurs nous permettent de classer la région d'El Oued selon le climagramme d'EMBERGER dans l'étage bioclimatique saharien à hiver doux (Figure 10).

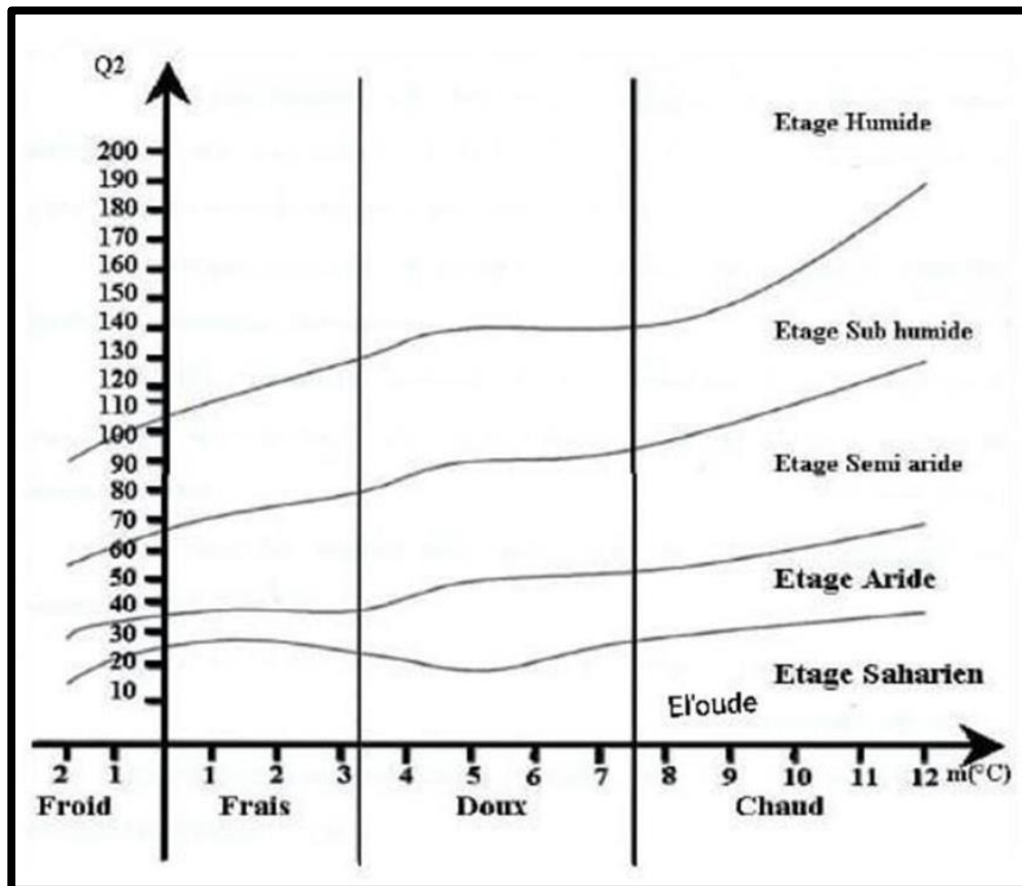


Figure 11 : Localisation de la région d'El Oued sur le climagramme

### **III.6. Qualifications naturelles**

#### **III.6.1 Zone naturelle:**

El Oued est situé dans la région nord-est du Sahara septentrional et le terrain est nettement inférieur au niveau de la mer sur l'axe El Oued-Mugheir (zone Shat) de 75 m à 6m. Les grandes unités géographiques qui caractérisent l'espace naturel de la wilaya sont divisées en deux régions:

Lignes et dépressions dans le nord : Cette zone s'étend autour des Malgheig et Shat Marwan, et est surtout connue pour la culture de palmiers dans le nord et les fermes de pâturage dans le nord et l'ouest.

Origine ethnique orientale dans le sud : la proximité de l'aquifère de surface dans cette région a permis la culture de palmiers sans irrigation régulée (technique Ghout). Ces dernières années, la région a connu un développement important dans les champs et serres comme, les tomates et les pommes de terre en particulier (Monographie de wilaya d'el oued).

#### **III.6.2 Zone géographique:**

Ils forment des dépôts sur toutes les bosses importantes dans tout la Wilaya, où les bosses géologiques et crémeuses convergent à l'est, qui font toute partie du neuvième bassin désertique et la wilaya est située dans une zone stable, où le risque de tremblement de terre est très faible ou nul.

De plus, les principales roches trouvées dans toute la province de l'Wilaya de la Vallée représentant les bosses sont des roches sédimentaires (d'origine chimique) comme les croûtes d'herbe salée et le sable.

### **III.7. Potentiel des ressources en eau de la Wilaya**

La wilaya d'El Oued contient, dans le sous-sol, de grandes quantités d'eau contenues dans des réservoirs d'eau souterraine qui font partie du système aquifère au nord du Sahara. Ces réservoirs d'eau, appelés réservoirs d'eau souterraine, sont des aquifères fossiles en raison de leur remplissage, la recharge naturelle est négligeable par rapport aux niveaux de Retraits effectués (Monographie de wilaya d'el oued).

### **III.7.1 Les aquifères souterrains trouvés dans cette région sont les suivants:**

- Aquifère phréatiques: Cette eau souterraine est répartie dans toute la vallée et est captée par des puits traditionnels à faible profondeur et au niveau d'un bassin sans exutoire.
- Aquifères aval: Ces réservoirs sont regroupés dans cette zone entre 200 et 500 mètres. Le niveau statique varie de 10 à 60 m et la salinité de l'eau de 3 à 6 g/L.
- L'Aquifère Continental Albien: L'Aquifère Albien est peu exploité en raison de sa profondeur et de son coût élevé. La profondeur de captage de cet aquifère peut atteindre 1900 m, donnant un débit allant jusqu'à 200 l/s à une température supérieure à 60°C et un résidu sec de 2 à 3 mg/l.

### **III.7.2 Ressources en eaux de surface:**

Wilaya de la vallée fait partie du bassin inférieur du désert, caractérisé par pratiquement l'absence de tout relief. La zone large et très plate avec des dépressions sur toute la partie nord de l'wilaya sert d'exutoire aux eaux de pluie qui sont drainées par les bassins frontaliers au nord et transportés par les vallées d'Al-Rutam, d'Al-Kharf et de Wadi Yat1, qui se terminent dans la région de Shatt. (Monographie de wilaya d'el oued).

### **III.8. Activité sociale, culturelle et économique**

L'économie de la wilaya dépend principalement de l'agriculture et du pastoralisme, la superficie agricole totale exploitée s'élève à 86 270 hectares (2020-2021), et nous présentons Voici quelques-uns des produits les plus importants:

Culture de palmiers: 1 216 669 quintaux de dattes sur une superficie de 15 374 hectares.  
Grandes cultures: avec une production totale de 19.257.425 quintaux, dont pommes de terre, 12.938.925 quintaux et tomates 3.292.230 quintaux pour la saison agricole (2020-2021).

### **III.9. Espaces irrigués**

Les superficies exploitées en activité agricole dans El Oued en 2023, selon la Direction de l'Agriculture (DSA), s'élèvent à 95 000 hectares, dont 82 435 hectares irrigués et 12 565 hectares en jachère. Les méthodes d'irrigation varient selon plusieurs types, dont pivots d'arrosage, irrigation d'alimentation et méthodes d'irrigation traditionnelles.

### III.10. Type d'agriculture en général

La culture de la pomme de terre est considérée comme la plus répandue, avec une superficie de 43 970 hectares, et sa production est estimée à 12 896 400 quintaux, avec 3,8 millions de palmiers produits sur une superficie de 37 000 hectares, dont 2,4 millions de palmiers de la plus haute variété. (Deglet Nour), faisant de l'Etat le deuxième producteur de ce fruit dans le pays.

La culture de l'arachide, une expérience florissante dans l'Wilaya, a également gagné du terrain avec l'intérêt croissant des agriculteurs, atteignant une superficie de 1.670 hectares, répartis dans six municipalités et produisant plus de 50.000 km, soit 47% de la production nationale. L'Etat d'El Oued se situe également au sommet des régions productrices de tabac avec une production de 40 000 hectares, soit 41% de la production nationale, récoltée sur une superficie totale de 1 680 hectares située principalement dans les régions de Guimar et Rigueba (au nord de l'Wilaya). (DSA)

Selon la Chambre d'Agriculture de l'Oued. Le secteur s'est tellement développé qu'en 2013 la Wilaya est devenue la première région productrice de pommes de terre en Algérie, avec 24 % des 5 millions de tonnes récoltées dans le pays.

**Chapitre IV:**  
**Application pour la cartographie**  
**de la salinité de sol**

## IV.1 Introduction

Les Systèmes d'Information Géographique (SIG) s'avèrent essentiels dans le domaine agricole, car ils permettent de spatialiser les caractéristiques pédologiques du sol grâce à des méthodes d'interpolation variées, telles que l'interpolation par pondération inverse à la distance (IDW). L'un de leurs principaux atouts réside dans leur capacité à afficher des données sur des cartes géoréférencées d'une grande précision, visualisant ainsi la répartition des composants du sol (comme la teneur en sel ou en matières organiques). Grâce à ces cartes, l'agriculteur obtient des informations détaillées sur l'état de ses sols, lui permettant de cibler les zones nécessitant des interventions spécifiques (comme la fertilisation ou le drainage) à l'aide d'un système de positionnement global (GPS). Cela génère un gain de temps et de ressources en évitant les traitements aléatoires. Ce travail vise à intégrer plusieurs paramètres pédologiques (salinité, pH) pour créer une carte globale mettant en évidence la variabilité spatiale de la salinité des sols dans la zone étudiée, tout en proposant des zones potentielles pour introduire de nouvelles cultures adaptées aux conditions salines, comme le quinoa ou la salicorne, facilitant ainsi une transition vers des pratiques agricoles plus durables et résilientes face aux défis environnementaux.

## IV.2. La zone d'étude

### IV.2.1 Localisation géographique :

La Commune de Hassani Abdelkrim est une municipalité relevant territorialement de la daïra de Debila dans la wilaya d'El Oued en Algérie. C'est la plus petite commune de la wilaya en termes de superficie, avec 14 km<sup>2</sup>, et elle se situe à 14 km du centre de la capitale de la wilaya (ville d'El Oued). La commune comprend plusieurs villages, dont les plus importants sont :

- Le centre-ville (Hassani Abdelkrim).
- Le centre rural d'Edh-Dhakar.
- El Gharbia.
- El-Zgoum, qui est le plus grand village de la commune, abritant plus des deux tiers de la population totale de la municipalité.

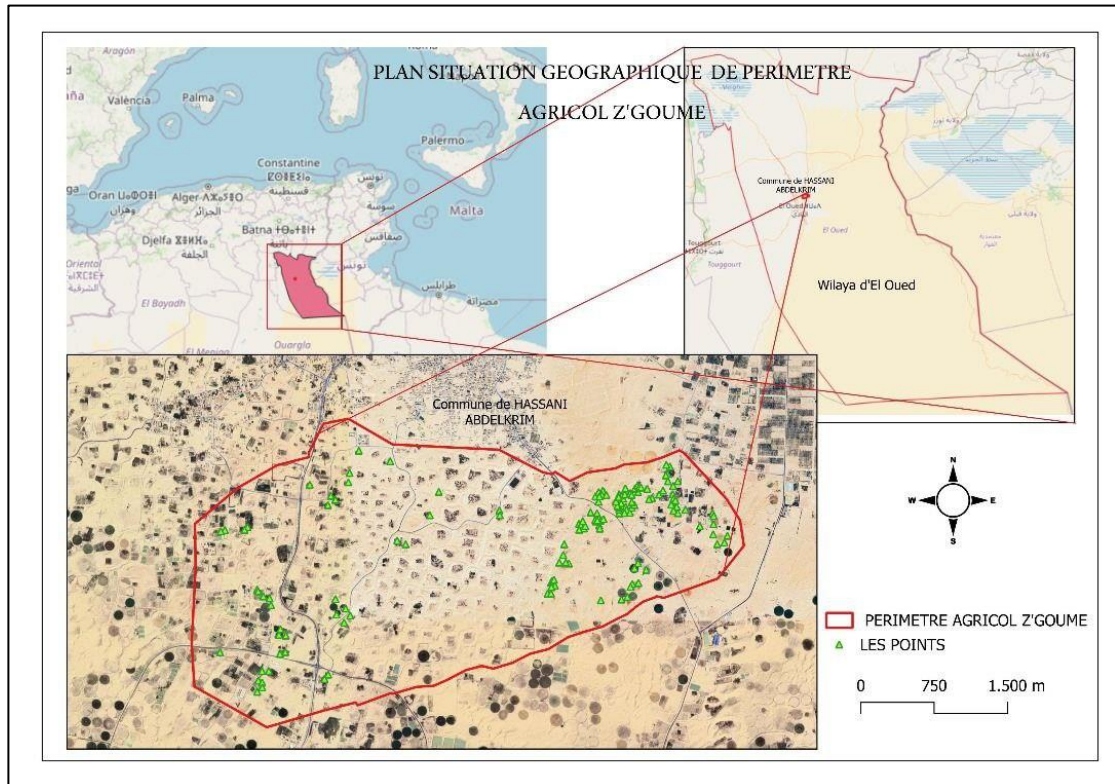
### IV.2.2 Les limites administratives :

La commune de Sidi Aoun Du nord :

Du sud : commune de EL Oued

De l'est : les communes d'Al-Debila et d'Al-Trafaoui

De l'ouest : la commune de Guemar et les communes de Taghzout et kouinine



**Figure 12: Situation géographique de perimetre agricole de Zgoum (la commune hassani abdelkrim) dans la Wilaya (Réalisé par QGIS)**

### IV.2.3 Caractère local :

La municipalité de Hassani Abdelkrim est située dans la wilaya d'El Oued en Algérie, à 14 km du chef-lieu de la wilaya. C'est l'une des plus petites municipalités en termes de superficie (58 km<sup>2</sup>) et la plus densément peuplée (environ 22 755 habitants). Elle se distingue par son caractère agricole oasien, reposant principalement sur la culture des palmiers dattiers (notamment dans des zones comme Zaghm), ainsi que des cultures résistantes à la sécheresse, telles que certains légumes et fruits, utilisant des techniques d'irrigation traditionnelles et modernes pour pallier la pénurie d'eau.

### IV.3 Matériel et méthode:

#### IV.3.1 Comment choisir les sites et l'échantillonnage :

##### IV.3.1.1 choix les sites :

Le but de l'étude est de connaître la variation spatiale de la salinité du sol résultant de l'irrigation irrationnel avec les eaux souterraines dans ces zones, et en conséquence nous préleverons des échantillons des surfaces irrigués de manière aléatoire.

##### IV.3.1.2 Echantillonnage:

La méthodologie consiste à prélever des échantillons au niveau des parcelle choisies d'une façon aléatoire avec une profondeur de 0 à 30 cm à l'aide d'une tarière puis les mettons dans un sac en prenant aussi les coordonnées de chaque échantillon. Ces derniers ont été analysés au niveau du laboratoire de la faculté SNV



**Figure 13: Points d'échantillonnage**

### IV.4 Laboratoire

Les analyses des sols et de l'eau ont été réalisées dans laboratoire de faculté des sciences de la nature et de la vie à l'université d'el oued

Les analyses des sols sont: la conductivité électrique (CE) 1/5 et le pH

Les analyses de l'eau; la conductivité électrique (CE) et le pH

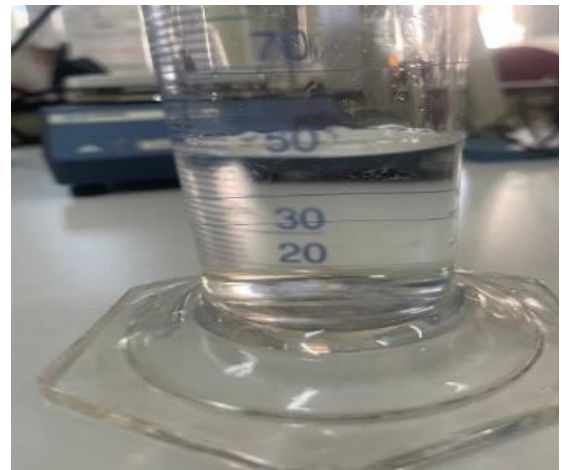
#### IV.4.1 Conductivité électrique (1/5):

Le Mode opératoire pour la réalisation de la CE (1/5);

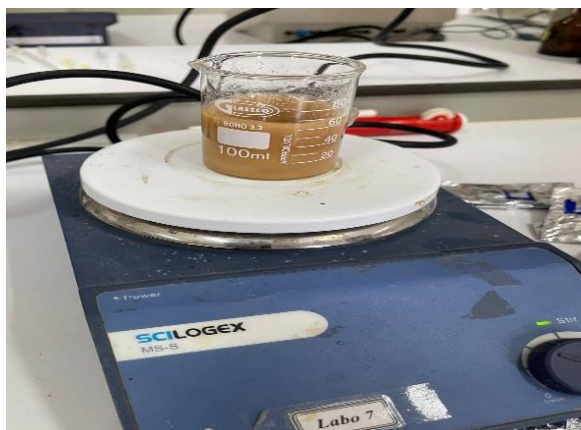
- Peser 10 g du sol.
- Ajouter 50 ml d'eau distillée dans un bécher de 100 ml.
- Agiter pendant 15 minutes avec agitateur magnétique.
- Laisser reposer 15 minutes.
- Mesurer le CE et le pH à l'aide d'un conductivimètre.



**Figure 14: Balance électronique**



**Figure 15 : Bécher**



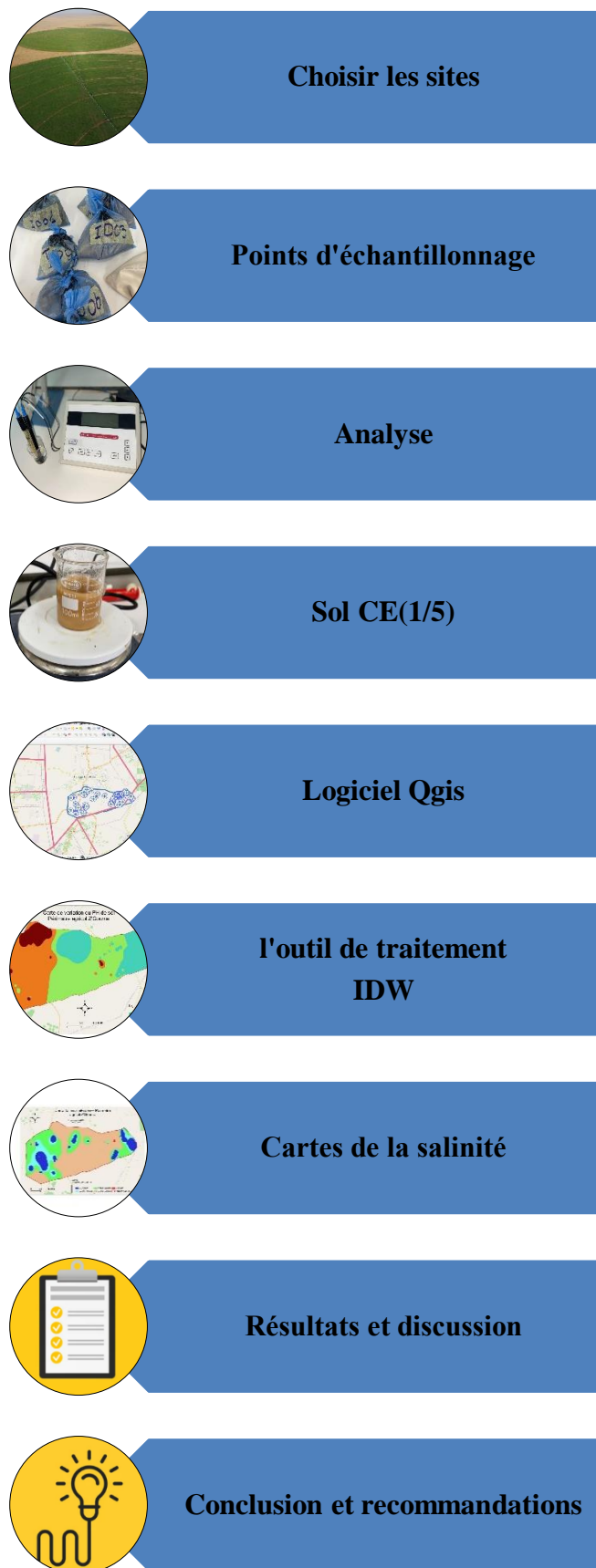
**Figure 16 : Agitateur**



**Figure 17 : Conductivimètre**

Quelques photos qui montrent le mode opératoire pour la réalisation des analyses.

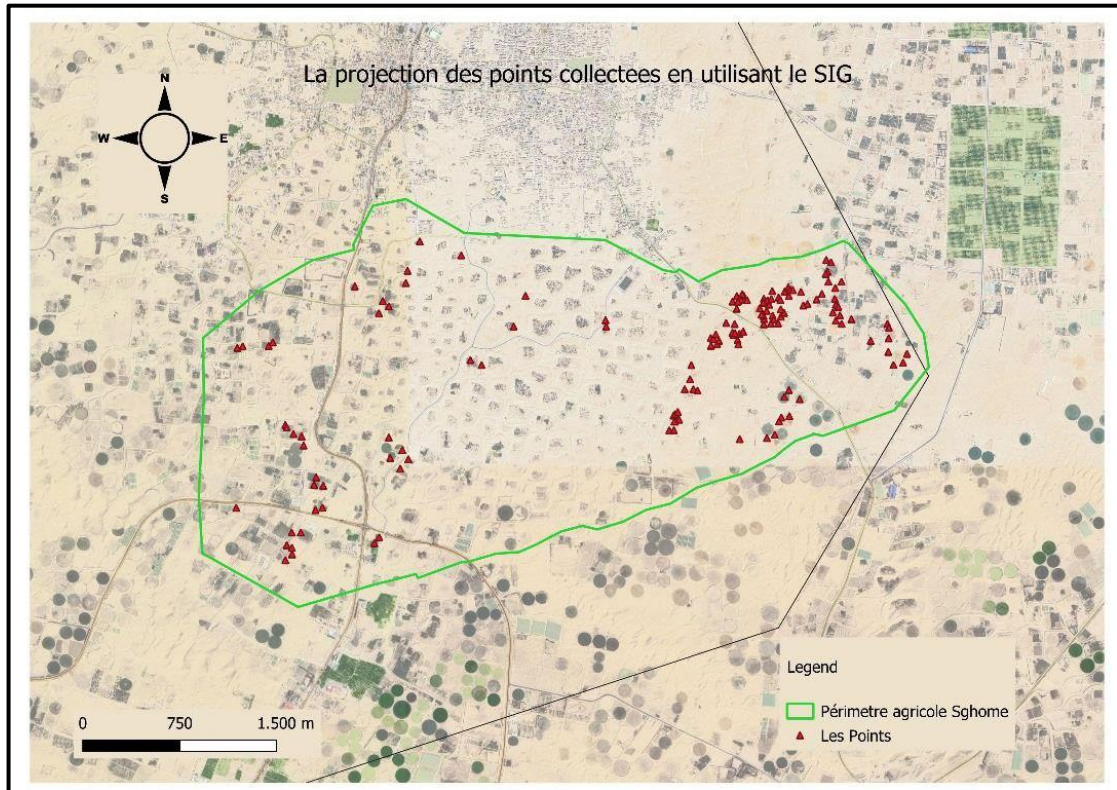
**IV.5 Méthode de travail**



**Figure 18 : Plan de travail**

**IV.5.1 Points d'échantillonnages :**

La mise en œuvre a été réalisée à Z'GOUM au cours de janvier-février 2024, La profondeur des échantillons du Sol est de 0 à 30 cm.



**Figure 19: La coordonees d'échantillonnage du Perimeter agricole de zgom**

**IV.5.2 Analyse et résultat:**

**Tableau 13: Résultats de PH au niveau du périmetre de Z'Goum**

ID	Laltitudes	Longitudes	PH
1	33.4598	6.923775	7.21
2	33.45927	6.924497	7.72
3	33.45913	6.924176	7.12
4	33.45869	6.924024	7.6
5	33.45839	6.924083	7.15
6	33.45905	6.923671	6.59
7	33.4592	6.923592	6.81
8	33.45916	6.923811	7.02
9	33.45926	6.924472	7.18
10	33.45988	6.923069	7.13
11	33.45883	6.921788	7.3
12	33.45876	6.922009	7.22
13	33.45841	6.922327	7.82
14	33.45864	6.922476	7.3
15	33.45908	6.922211	7.19

16	33.45829	6.921808	6.38
17	33.45696	6.920172	6.61
18	33.46231	6.932151	6.22
19	33.45597	6.920063	8.61
20	33.45518	6.920687	8.71
21	33.45527	6.920339	8.54
22	33.45527	6.919621	6.7
23	33.45345	6.918705	6.87
24	33.45355	6.918817	7.6
25	33.45369	6.919047	6.97
26	33.45316	6.919153	7.07
27	33.45303	6.918767	7.21
28	33.45242	6.918338	7.68
29	33.45243	6.918723	7.69
30	33.46086	6.923949	7.73
31	33.46136	6.923605	7.79
32	33.46174	6.92396	7.77
33	33.45181	6.9242	7.64
34	33.46178	6.924527	7.59
35	33.46187	6.924406	6.34
36	33.46149	6.924307	6.58
37	33.46136	6.924048	6.52
38	33.46147	6.924809	6.72
39	33.45979	6.926201	6.62
40	33.46015	6.926218	6.86
41	33.46039	6.926934	6.9
42	33.46012	6.927028	6.96
43	33.45984	6.926793	6.98
44	33.45986	6.927394	7.04
45	33.46032	6.927618	6.85
46	33.46057	6.92789	6.92
47	33.46082	6.927613	6.95
48	33.46036	6.926183	7.12
49	33.46072	6.926438	7.1
50	33.46046	6.926008	7.13
51	33.46089	6.925864	7.17
52	33.46126	6.926169	7.18
53	33.46115	6.926645	7.24
54	33.46156	6.92621	6.96
55	33.46145	6.926524	7.39
56	33.46129	6.926165	7.48
57	33.46154	6.926832	6.98
58	33.4621	6.926907	7.13
59	33.46165	6.927435	7.15
60	33.46148	6.927586	7.04
61	33.46175	6.928291	7.25
62	33.46206	6.927939	7.28
63	33.46235	6.928236	7.31
64	33.46218	6.9284	7.22

65	33.46216	6.928618	7.37
66	33.46204	6.929294	7.17
67	33.4612	6.929836	7.25
68	33.46109	6.929493	7.25
69	33.4619	6.931038	6.55
70	33.46151	6.930597	6.48
71	33.46275	6.931582	6.63
72	33.46345	6.931507	6.57
73	33.4641	6.931796	6.62
74	33.46426	6.931402	6.53
75	33.46328	6.931351	6.73
76	33.46155	6.932114	6.68
77	33.46115	6.932199	6.66
78	33.46099	6.932404	6.47
79	33.46041	6.932541	6.44
80	33.4606	6.931951	6.37
81	33.46004	6.932196	6.28
82	33.45981	6.93268	6.63
83	33.46014	6.933498	6.55
84	33.46274	6.932667	6.41
85	33.45787	6.93656	6.61
86	33.45696	6.936996	6.49
87	33.45712	6.937795	7.21
88	33.45774	6.938118	6.75
89	33.45864	6.935098	6.88
90	33.45881	6.93659	6.87
91	33.45982	6.936495	6.9
92	33.45956	6.936615	6.64
93	33.45522	6.928294	6.96
94	33.45475	6.927907	6.99
95	33.45341	6.928332	7.05
96	33.45331	6.927662	6.92
97	33.45305	6.927469	6.87
98	33.45212	6.927114	7.02
99	33.45189	6.926462	6.86
100	33.45459	6.929186	6.87
101	33.46007	6.913035	4.8
102	33.45963	6.913087	5.41
103	33.46176	6.906374	5.91
104	33.45963	6.905386	6.12
105	33.46458	6.901026	8.53
106	33.46554	6.897573	8.64
107	33.46266	6.896417	8.61
108	33.4635	6.896559	8.63
109	33.46242	6.89217	8.65
110	33.46103	6.894994	7.76
111	33.4614	6.894492	8.23
112	33.46055	6.894176	7.73
113	33.4573	6.901785	8.09

---

114	33.45696	6.902723	7.81
115	33.45853	6.885342	7.52
116	33.45828	6.884997	7.44
117	33.45826	6.882843	7.54
118	33.45815	6.882387	7.48
119	33.45137	6.887905	7.69
120	33.45199	6.887744	7.97
121	33.45217	6.887064	7.96
122	33.45279	6.886391	7.44
123	33.45263	6.886495	9.12
124	33.44689	6.888895	7.69
125	33.44705	6.889481	7.21
126	33.44532	6.887669	7.45
127	33.44532	6.886918	7.42
128	33.44445	6.886504	7.6
129	33.44427	6.886934	7.38
130	33.44381	6.886948	7.75
131	33.44341	6.886388	8.37
132	33.44704	6.882303	7.76
133	33.44864	6.888782	7.33
134	33.44857	6.889543	7.7
135	33.44915	6.88895	7.65
136	33.44499	6.894201	7.38
137	33.44458	6.893799	8.37
138	33.45105	6.89612	7.57
139	33.4505	6.895111	7.58
140	33.45192	6.894999	7.63
141	33.44976	6.895951	7.5
142	33.45041	6.896618	7.78

**Tableau 14: Résultats des CE de sol de Z'Goum**

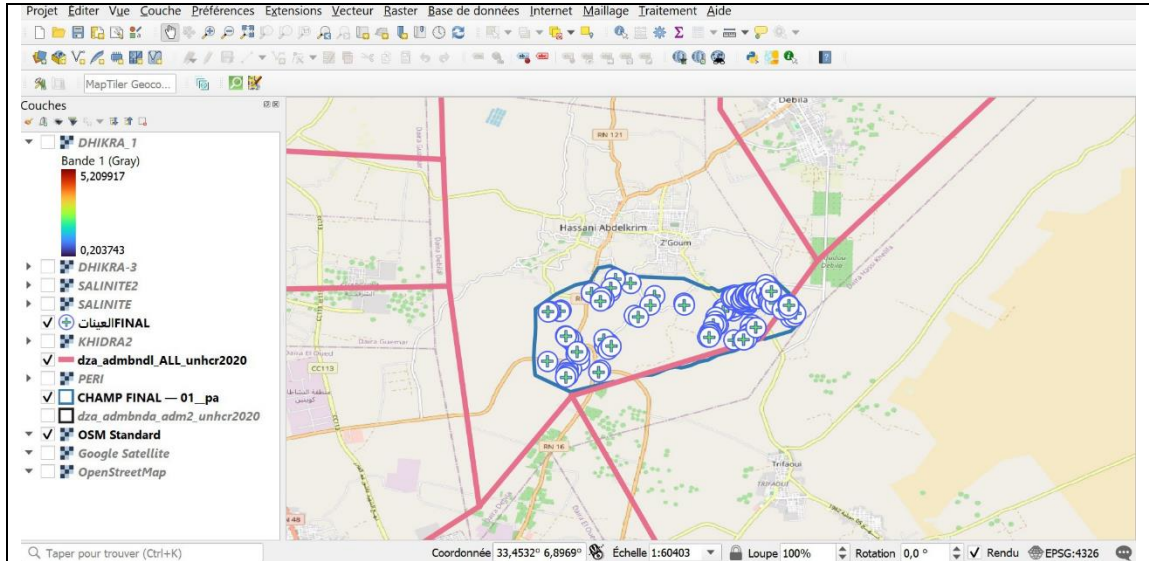
ID	Latitudes	Longitudes	Salinite de sol 1/5(ms/cm)
1	33.4598	6.923775	0.776
2	33.45927	6.924497	0.48
3	33.45913	6.924176	0.441
4	33.45869	6.924024	0.304
5	33.45839	6.924083	1.839
6	33.45905	6.923671	0.359
7	33.4592	6.923592	0.507
8	33.45916	6.923811	0.483
9	33.45926	6.924472	0.445
10	33.45988	6.923069	1.354
11	33.45883	6.921788	0.715
12	33.45876	6.922009	1.532
13	33.45841	6.922327	0.244
14	33.45864	6.922476	1.429
15	33.45908	6.922211	0.377
16	33.45829	6.921808	1.51
17	33.45696	6.920172	1.266
18	33.46231	6.932151	0.304
19	33.45597	6.920063	1.711
20	33.45518	6.920687	0.524
21	33.45527	6.920339	1.589
22	33.45527	6.919621	1.7
23	33.45345	6.918705	1.666
24	33.45355	6.918817	1.754
25	33.45369	6.919047	1.751
26	33.45316	6.919153	1.619
27	33.45303	6.918767	1.6
28	33.45242	6.918338	1.461
29	33.45243	6.918723	1.458
30	33.46086	6.923949	1.595
31	33.46136	6.923605	1.179
32	33.46174	6.92396	1.297
33	33.45181	6.9242	1.391
34	33.46178	6.924527	1.219
35	33.46187	6.924406	1.369
36	33.46149	6.924307	1.283
37	33.46136	6.924048	1.249
38	33.46147	6.924809	1.121
39	33.45979	6.926201	1.128
40	33.46015	6.926218	1.141
41	33.46039	6.926934	1.258
42	33.46012	6.927028	1.127
43	33.45984	6.926793	1.142
44	33.45986	6.927394	7.98
45	33.46032	6.927618	1.327
46	33.46057	6.92789	1.322

47	33.46082	6.927613	1.432
48	33.46036	6.926183	1.318
49	33.46072	6.926438	1.068
50	33.46046	6.926008	1.31
51	33.46089	6.925864	1.168
52	33.46126	6.926169	1.297
53	33.46115	6.926645	1.437
54	33.46156	6.92621	1.255
55	33.46145	6.926524	1.199
56	33.46129	6.926165	1.204
57	33.46154	6.926832	1.461
58	33.4621	6.926907	1.471
59	33.46165	6.927435	1.441
60	33.46148	6.927586	1.728
61	33.46175	6.928291	1.523
62	33.46206	6.927939	1.463
63	33.46235	6.928236	1.364
64	33.46218	6.9284	1.573
65	33.46216	6.928618	1.46
66	33.46204	6.929294	1.53
67	33.4612	6.929836	1.705
68	33.46109	6.929493	1.973
69	33.4619	6.931038	0.303
70	33.46151	6.930597	0.328
71	33.46275	6.931582	0.286
72	33.46345	6.931507	0.288
73	33.4641	6.931796	0.285
74	33.46426	6.931402	0.325
75	33.46328	6.931351	0.311
76	33.46155	6.932114	0.326
77	33.46115	6.932199	0.329
78	33.46099	6.932404	0.333
79	33.46041	6.932541	0.289
80	33.4606	6.931951	0.317
81	33.46004	6.932196	0.317
82	33.45981	6.93268	0.281
83	33.46014	6.933498	0.28
84	33.46274	6.932667	0.317
85	33.45787	6.93656	0.23
86	33.45696	6.936996	0.214
87	33.45712	6.937795	0.214
88	33.45774	6.938118	0.275
89	33.45864	6.935098	0.312
90	33.45881	6.93659	0.308
91	33.45982	6.936495	0.305
92	33.45956	6.936615	0.37
93	33.45522	6.928294	0.23
94	33.45475	6.927907	0.287
95	33.45341	6.928332	0.268

96	33.45331	6.927662	0.265
97	33.45305	6.927469	0.267
98	33.45212	6.927114	0.218
99	33.45189	6.926462	0.261
100	33.45459	6.929186	0.26
101	33.46007	6.913035	0.63
102	33.45963	6.913087	0.312
103	33.46176	6.906374	0.36
104	33.45963	6.905386	0.203
105	33.46458	6.901026	1.409
106	33.46554	6.897573	1.414
107	33.46266	6.896417	1.413
108	33.4635	6.896559	1.335
109	33.46242	6.89217	0.759
110	33.46103	6.894994	0.225
111	33.4614	6.894492	0.235
112	33.46055	6.894176	0.21
113	33.4573	6.901785	1.304
114	33.45696	6.902723	0.217
115	33.45853	6.885342	0.53
116	33.45828	6.884997	0.282
117	33.45826	6.882843	1.61
118	33.45815	6.882387	0.243
119	33.45137	6.887905	0.215
120	33.45199	6.887744	0.204
121	33.45217	6.887064	0.236
122	33.45279	6.886391	0.245
123	33.45263	6.886495	0.73
124	33.44689	6.888895	0.355
125	33.44705	6.889481	0.307
126	33.44532	6.887669	0.205
127	33.44532	6.886918	0.2
128	33.44445	6.886504	1.797
129	33.44427	6.886934	1.939
130	33.44381	6.886948	1.94
131	33.44341	6.886388	1.977
132	33.44704	6.882303	0.215
133	33.44864	6.888782	0.331
134	33.44857	6.889543	0.261
135	33.44915	6.88895	0.259
136	33.44499	6.894201	0.286
137	33.44458	6.893799	0.576
138	33.45105	6.89612	0.229
139	33.4505	6.895111	0.22
140	33.45192	6.894999	0.209
141	33.44976	6.895951	1.878
142	33.45041	6.896618	1.932

**IV.5.3 Logiciel QGIS et l'Outil de traitement IDW:**

Nous avons utilisé l’outil de traitement Interpolation IDW dans logiciel QGIS pour crée les cartes de la salinité et du Ph du sols et de la salinité de l’eau

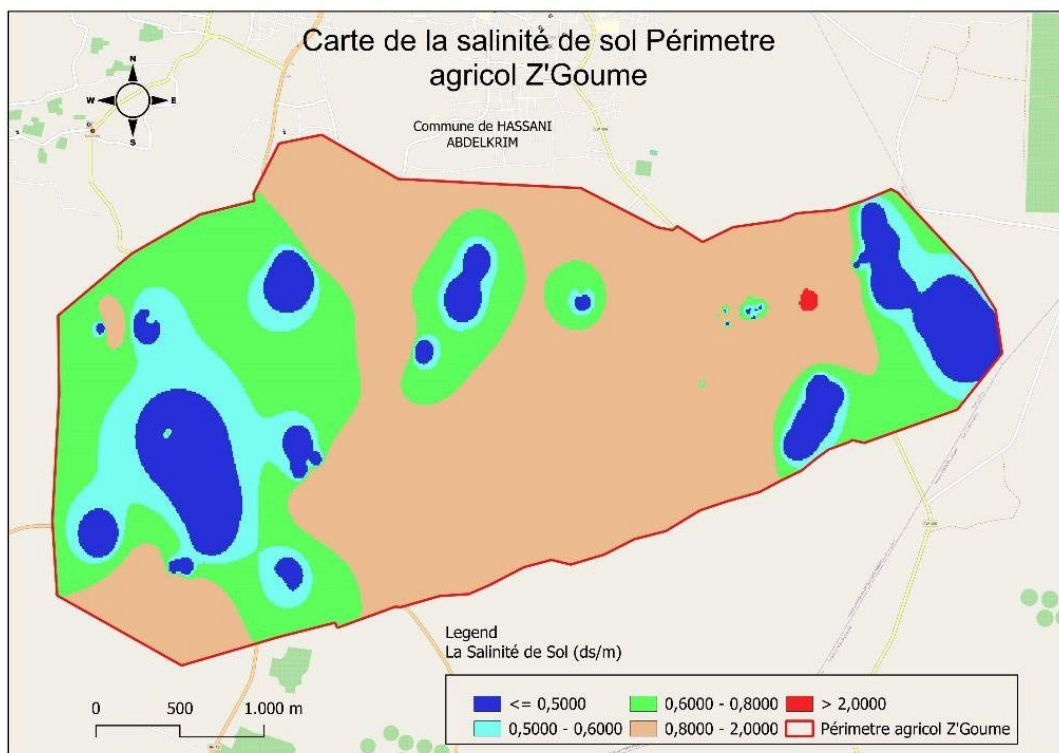


**Figure 20 : Logiciel QGIS**



**Figure 21 : L’exécution de l’interpolation IDW**

## IV.5.4 les cartes et interpolation:



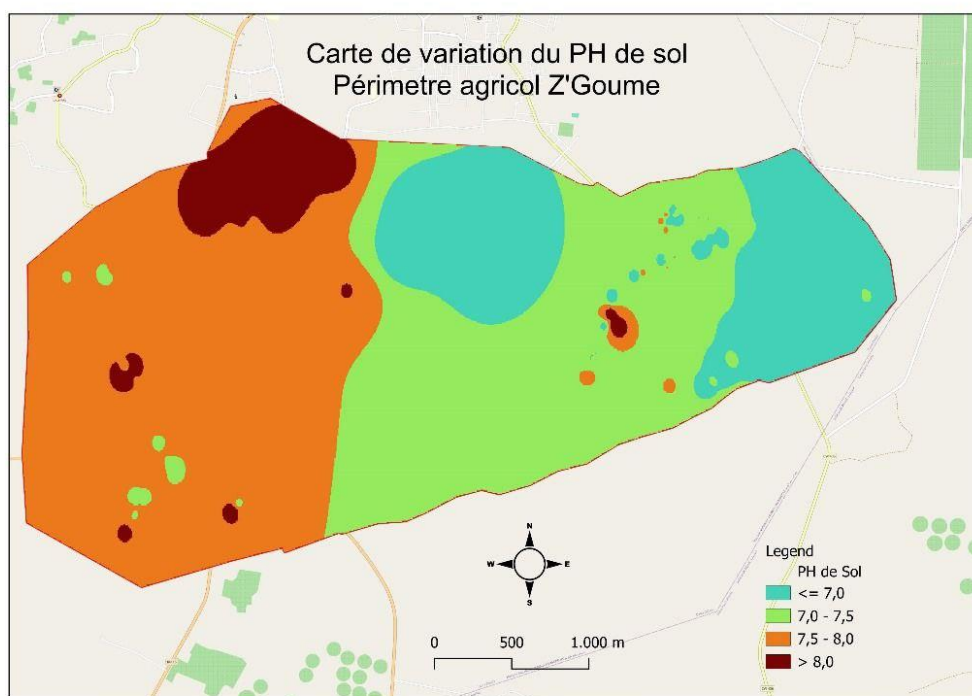
**Figure 22: La carte de la salinité de sol périmètre agricole commune de Z'Goum**

Selon la carte de la salinité du sols Périmètre agricole Z'Goume Répartition des zones selon la salinité (en dS/m, on peut observer ce qui suit:

- Bleu foncé ( $\leq 0,5$  dS/m): salinité très faible, zones favorables à la majorité des cultures, présentes surtout à l'ouest et au nord-est.
- Bleu Clair (0,5 – 0,6 dS/m): salinité faible, également adaptée à agriculture, localisée autour des zones en bleu foncé.
- Vert (0,6 – 0,8 dS/m) : salinité modérée, convenable pour certaines cultures résistantes au sel
- marron (0,8 – 2,0 dS/m): salinité élevée, couvre la majeure partie du périmètre, avec un impact négatif probable sur les cultures sensible.
- Rouge ( $> 2,0$  dS/m): salinité très élevée, zones ponctuelles à risqué élevé de dégradation des sols liée à l'utilisation d'eaux souterraines salines pour l'irrigation.

Ces classifications chromatiques soulignent l'importance de la surveillance de la salinité des sols en tant que paramètre agronomique essentiel pour une gestion durable des ressources agricoles. L'identification des zones à risque accrue (classes rouge et orange) permet de prioriser des stratégies d'atténuation ciblées, telles que l'irrigation de précision, l'amendement des sols, ou la sélection de cultivars tolérants aux stress salins. À l'inverse, les zones à faible salinité (classes bleue et verte) représentent des zones clés

pour l'intensification agricole rationnelle, contribuant à la sécurité alimentaire locale. Cette cartographie ne constitue pas uniquement un diagnostic spatial, mais également un outil décisionnel pour optimiser l'allocation des ressources et préserver l'équilibre agroécologique et socioéconomique du territoire.



**Figure 23: La carte de variation du PH de sols périmètre agricole commune de Z'Goum**

Selon la carte du pH des sols périmètre agricole commune de Z'Goum on peut observer ce qui suit:

- Zones en bleu Clair:  $\text{pH} \leq 7$ , sols légèrement acides, situés surtout à l'est et au nord-est.
- Zones en vert: pH entre 7,0 et 7,5, sols neutres à légèrement basiques, couvrant une grande partie centrale et sud-est – idéals pour la plupart des cultures.
- Zones en orange: pH entre 7,5 et 8,0, sols modérément basiques, situés principalement à l'ouest.
- Zones en rouge:  $\text{pH} > 8,0$ , sols fortement basiques, localisés dans des points concentrés à l'ouest – zones potentiellement problématiques.

L'analyse de la répartition du pH révèle une variabilité chimique influençant la qualité des sols et leur aptitude agricole, nécessitant l'adoption de stratégies de gestion adaptatives – comme la surveillance régulière et l'ajustement des propriétés – pour atteindre un équilibre entre productivité agricole et préservation des ressources naturelles.

**IV.6. Solution et Recommandation:**

Pour faire face à la dégradation des sols et améliorer la productivité agricole dans les zones touchées par la salinité, les stratégies suivantes sont recommandées:

**1. Gestion intelligente de l'irrigation :**

- Adapter les quantités d'eau aux besoins réels des cultures et aux conditions climatiques.
- Réduire l'accumulation des sels jusqu'à 40 % et économiser l'eau et l'énergie.

**2. Amélioration des sols par du compost organique :**

- Ajouter 5 tonnes/hectare de compost pour stimuler la fertilité et l'activité microbienne.
- Diminuer la salinité de 8,1 à 6,3 dS/m.

**3. Introduction de cultures tolérantes au sel:** comme la Quinoa**4. Surveillance numérique continue:**

- Utiliser des cartes interactives et des capteurs pour suivre les changements du sol en temps réel.

Les résultats escomptés de ces stratégies intégrées se traduisent par une réduction notable de la dépendance aux eaux souterraines, grâce à une utilisation optimisée des ressources hydriques. Parallèlement, une augmentation des rendements agricoles de l'ordre de 20 à 30 % est attendue, reflétant une amélioration tangible de la productivité. Enfin, ces mesures concourent à l'adoption d'une agriculture durable, alignée sur les normes internationales en matière de préservation des écosystèmes et de résilience face aux défis climatiques.

## **Conclusion générale**

## Conclusion générale

Cette étude, réalisée dans la région de Z'goum (municipalité de Hassani Abdelkrim, wilaya d'El Oued, Algérie), a permis d'évaluer la salinité et le pH des sols à l'aide des systèmes d'information géographique (SIG). Grâce à une méthodologie combinant prélèvements d'échantillons, analyse spatiale, nous avons pu identifier les zones les plus affectées par la salinisation et proposer des solutions adaptées pour une agriculture durable en milieu désertique.

### Principaux constats:

- **Une salinité élevée**, particulièrement près de la Route Nationale N°16, liée à une irrigation traditionnelle utilisant des eaux souterraines chargées en sels et à une évaporation intense sous un climat aride.
- **Des facteurs aggravants**, tels que les températures extrêmes (atteignant 50°C) et des pratiques d'irrigation inefficaces, qui favorisent l'accumulation des sels en surface.
- **L'importance des SIG** pour cartographier et surveiller la dégradation des sols, offrant ainsi des outils précieux pour une gestion proactive des ressources agricoles.

### Recommandations clés:

- **Moderniser les techniques d'irrigation** (goutte-à-goutte, aspersion) pour limiter le gaspillage d'eau et réduire la salinisation.
- **Introduire des cultures halophytes** adaptées aux sols salins, favorisant ainsi la réhabilitation des terres dégradées.
- **Mettre en place un système de suivi continu** via les SIG, intégrant des données satellitaires et des capteurs de terrain pour une actualisation régulière des cartes de salinité.

### Défis rencontrés:

- **Le manque de données historiques** sur la qualité des sols, dû à des infrastructures de recherche limitées dans cette région de Z'Goum.
- **Les difficultés logistiques** liées au terrain (dunes de sable, étendues vastes et difficiles d'accès), qui ont compliqué les campagnes d'échantillonnage.

### **Perspectives**

Cette recherche démontre l'utilité des SIG comme outil d'aide à la décision pour une gestion durable des sols en milieu oasien. En transformant les défis en opportunités, il est possible d'améliorer la productivité agricole tout en préservant les écosystèmes fragiles du désert algérien. Les résultats obtenus ouvrent la voie à des projets pilotes d'agriculture intelligente, renforçant la sécurité alimentaire et valorisant le patrimoine agricole local.

**En conclusion**, cette étude contribue à une meilleure compréhension des contraintes pédologiques dans la région de Z'goum et propose des solutions concrètes pour une agriculture résiliente face aux changements climatiques et aux pressions anthropiques

## **Références**

## Références

1. ABDENNOUR M., 2021. Variabilité spatio-temporelle de la salinisation des sols du périmètre irrigué du Ziban (Biskra) – Apport de la géostatistique et de la télédétection THESE Doctorat. Université de Biskra, p .127
2. ABIDI H., TOUATI S, 2018. Application du SIG pour déterminer la qualité physico-chimique des eaux des forages destinées à l'AEP dans la région du Souf. Mémoire master. Université d'El oued. P78
3. Alam, K., & Bhutta, M. N. (2004). Comparative evaluation of canal seepage measurement techniques: A case study of Fordwah Eastern Sadiqia (South) irrigation system.
4. AUBERT.G, 1976 ; Annales de l'institut agronomique el harache. Vol VI n°01. 297p.
5. BOUGUERRA A.,2018. La variabilité spatiale de la salinité des sols cultivés à El Hadjira Ouargla. Master Académique. Université de Ouargla, p.69.
6. Burrough, P. A., & McDonnell, R. A. (1998). Principles of Geographical Information Systems (1st ed.). Oxford University Press.
7. Calvet, L.-J. (2003). Approche sociolinguistique de l'avenir du français dans le monde [مقاربة سوسيولسانية لمستقبل الفرنسية في العالم]. Hérodote, 126, 15-30.
8. Daibouche Y., 2022. Cartographie de la salinité de sol de la Ferme Ain Ben Naoui - Biskra.Mémoire de master. Université de Biskra, p.64.
9. DURAND J. H., 1983 - Les sols irrigables. Etude pédologique. Ed. Imbert, Alger, 190 p.
10. Durand, J. H. (1958). La salinisation des sols en régions arides et semi-arides. Revue de Géographie Physique et de Géologie Dynamique, 2(1), 35-48.
11. F.A.O., 2008 : Annuaire statistique de la FAO.
12. FAO (2023). L'État des ressources en terres et en eau pour l'alimentation et l'agriculture
13. FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture). (2021). Symposium mondial sur les sols affectés par le sel

## Références

---

14. GAUCHER G., BUDDIN S., 1974 - Géologie, géomorphologie et hydrologie des terrains Salés. Université de France. 230p. In MISSAOUI Y., 1991. Evolution de la salinité en Fonction des doses d'irrigation. Mémoire de Magistère. L'ITDAS de Biskra. 91p.
15. GAUCHER G., BUDDIN S., 1974 - Géologie, géomorphologie et hydrologie des terrains Salés. Université de France. 230p.
16. Halitim, A. (1988). The Soils of Arid Regions of Algeria. Alger: University Office Publication.
17. Halitim, A. (2011). ملوحة التربة في المناطق الصحراوية: الأسباب والآثار. مجلة العلوم الزراعية.
18. HAMDI AISSA B., 2001 – Le Fonctionnement actuel et passé de sols du Nord du Sahara (cuvette de Ouargla). Approches micro-morphologique, géochimique et Minéralogique et variabilité spatiale. Thèse de doctorat. Institut National Agronomique. Paris-Grignon. 310p.
19. Harivandi, M. A. (1999). Interpreting turfgrass irrigation water test results (Publication No. 8395). University of California Division of Agriculture and Natural Resources. <https://anrcatalog.ucdavis.edu>
20. HILGERS, Mathieu, 2009, Une ethnographie à l'échelle de la ville. Urbanité, histoire et reconnaissance à Koudougou (Burkina Faso), Paris, Karthala, 422 p.
21. <https://sites.google.com/site/pastoraldz/cartographie-gps/courssig/les-sig-quelques-definitions>
22. In MISSAOUI Y., 1991. Evolution de la salinité en Fonction des doses d'irrigation. Mémoire de Magistère. L'ITDAS de Biskra. 91p
23. IPTRID & ICID-Italy. (2006). Water resources in Italy: availability and agricultural uses. Irrigation and Drainage, 55(2)
24. Lecos, M. (2009). دراسة تأثير الملوحة على النباتات في المناطق الجافة.
25. Machado, R. M. A., & Serralheiro, R. P. (2017). Soil salinity: Effect on vegetable crop growth. Management practices to prevent and mitigate soil salinization. Horticulturae, 3(2), 30

## Références

---

26. Marmoud, A., & (2006). Cartographie de la salinité des sols à l'aide des techniques de télédétection et des SIG. *Revue de Télédétection*, 6(1), 45-57.
27. MATHIEU .C, LOZET. J, 2011- Dictionnaire encyclopédique de science du sol. Lavoisier. Edition Tech&Doc. Paris. 733 p
28. Metternicht, G. I., & Zinck, J. A. (2003). Remote sensing of soil salinity: Potentials and constraints. *Remote Sensing of Environment*, 85(1), 1-20
29. Ministère de l'Agriculture algérien (2022). Rapport national sur la lutte contre la désertification
30. Monographie de wilaya d'el oued 2021.
31. Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59, 651-681
32. Nahon, D. (2008). L'épuisement de la terre: L'enjeu du XXIe siècle
33. Nations Unies (2020). Défis de la désertification en Afrique du Nord
34. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). (1985).
35. PNUE (2021). Perspectives environnementales mondiales pour les zones arides
36. Qadir, A., & Sharif, M. (2000). Curvature Inheritance Symmetry in Vacuum Non-Degenerate Ricci Recurrent Spacetimes. *General Relativity and Gravitation*, 32(7), 1429–1436.
37. Qadir, M., Qureshi, A. S., & Cheraghi, S. A. M. (2008). Étendue et caractérisation des sols affectés par le sel en Iran et stratégies pour leur amélioration et leur gestion. *Dégradation et développement des terres*, 19(2), 214-227
38. Rengasamy, P. (2006). Impact des pratiques humaines sur la
39. Richard, L.A. (1954) Diagnosis and Improvement of Saline and Alkalis Soils. *Agric. Handbook 60*, US Dept. Agric., Washington DC, 160 p.
40. Rietz, D. N., & Haynes, R. J. (2003). Effects of irrigation-induced salinity and sodicity on soil microbial activity. *Soil Biology and Biochemistry*, 35(6), 845-854 .

## Références

---

41. Sanda, A. B., Abbani, B., & Abdelali, Y. (2005). تأثير الملوحة على نمو النباتات في المناطق الجافة: دراسة حالة في جنوب المغرب. مجلة العلوم الزراعية، 12(3)، 45
42. Sardinha, M., et al. (2003). Microbial performance in soils along a salinity grad - Marmoud, A., & (2006). Cartographie de la salinité des sols à l'aide des techniques de télédétection et des SIG. Revue de Télédétection, 6(1), 45-57.ient under acidic conditions. Applied Soil Ecology, 23(3), 237-244 .
43. Sedrati, N. (2011). تأثير التغير المناخي على الزراعة في الجزائر. مجلة الزراعة والتكنولوجيا
44. Servant, J., et al. (1966). Étude pédologique des sols de la vallée du fleuve [الوادي]. Cahiers ORSTOM, série Pédologie, 4(2), 123-145.
45. Shrivastava, P., & Kumar, R. (2015). Soil salinity: A serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation. Saudi Journal of Biological Sciences, 22(2), 123-131
46. Site web: [www.osgeo.org] (<http://www.osgeo.org/>)