

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université de Ghardaia



Faculté des Sciences de la Nature et de Vie et Sciences de la Terre

Département de Biologie

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

Filière : Écologie et environnement

Spécialité : Ecologie

Par : ADJILA Maroua
CHEIKHI Aicha

Thème

**Impact de l'irrigation sur la distribution spatiale du carbone
organique dans les sols d'une palmerie dans la région de Ghardaïa
(cas d'El-Atteuf)**

Soutenu publiquement le 17 / 06 / 2025

Devant le jury composé de :

Dr. BENSLAMA Abderraouf	MCB	Univ. Ghardaia	Président
Dr. CHIKHI Faredj	MCB	Univ. Ghardaia	Examineur
Dr. HAMEL Imane	MCB	Univ. Ghardaia	Directeur de mémoire
Dr. HEROUINI Amel	MCB	Univ. Ghardaia	Co-Directeur de mémoire

Année universitaire : 2024 / 2025

Remerciement

*Avant tout, Nous remercions **Allah**, Dieu le Miséricordieux, l'Unique, le puissant pour son guide et sa protection afin de pouvoir accomplir ce travail.*

*Nous tenons à remercier vivement notre encadreuse **Dr. HAMEL Imane** pour avoir accepté de diriger ce mémoire et pour son appui, ses conseils et ses orientations tout au long de ce travail.*

*Nos remerciements s'adressent également au **Dr . HEROUINI Amel** pour son aide très utile.*

Nous tenons à exprimer nos profonde gratitude aux honorables membres du jury pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant d'évaluer et de juger notre travail.

*Mes remerciements les plus sincères vont à Monsieur **BENSLAMA Abderraouf**, Maître de Conférences « B » à l'Université de Ghardaïa, pour avoir accepté de présider le jury de cette soutenance, et à Monsieur **CHIKHI Faredj**, Maître de Conférences « B » à la même université, pour avoir eu l'amabilité d'examiner ce mémoire.*

Nous tenons à vous remercier pour l'intérêt que vous avez porté à ce travail, pour le temps que vous lui avez consacré et pour vos précieux commentaires qui ont permis de l'enrichir.

*Permettez-nous aussi de remercier tous nos collègues et nos amis qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail et spécialement à notre promotion **ECOLOGIE 2024/2025**.*

Nous tenons à exprimer ma profonde gratitude à nos familles pour son soutien constant et son appui moral tout au long de la préparation de ce modeste travail.

*Nous remercions également le personnel du laboratoire **A.D.E de Ghardaïa**, ainsi que le personnel des laboratoires d'enseignement de l'Université de Ghardaïa, pour leur disponibilité et leur précieuse collaboration.*

*Un remerciement particulier est adressé à Monsieur **BENZITA Cheikh**, propriétaire du jardin, pour son aide et sa précieuse contribution à la collecte des données.*

Enfin, Nous tenons à remercier tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail.



DEDICAS



Je dédie ce mémoire à :

*À mes chers parents, Ali et Kheira que nulle dédicace ne puisse exprimer mes
sincères sentiments*

*Pour leur patience illimitée, leur encouragement continu, leur aide, en
témoignage de mon profond amour et respect pour leurs grands sacrifices*

À mes chères frères « Abdelhakim Abdelghani et hadj Mohammed »

À ma chère sœur « Amani » .

Et tout ma famille Adjila

Et la famille ouled haddar

Pour votre soutien et vos encouragements dans ce travail

*À ma directrice de mémoire * Dr .Hamel Imane **

À ma binôme « Aicha »

Et mes amis : Hana Asia. Nossiba .Bohra Et Ikram

*Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce travail soit
possible, je vous dis merci*

Maroua



DEDICAS



*À ceux qui ont contribué à mon parcours, À ma mère ***Fatima Cheikhi***, qui a toujours été une source d'amour et de soutien, et qui n'a jamais hésité à m'encourager et à me motiver pour réaliser mes rêves.*

*À mon père ***Mohammed***, qui a été un exemple de travail acharné et de persévérance, et qui m'a appris l'importance de la détermination.*

*À mes chères sœurs **Khadîdja, Zineb, Sakina**, mes chers frères **Abderrahmane, Mokhtar** qui ont été mon soutien et mes alliées à chaque étape, vos conseils et votre présence à mes côtés ont été un moteur pour continuer et avancer.*

*À ma directrice de mémoire ***Imane Hamel***, qui a eu une influence significative dans mon orientation et le développement de mes compétences, toujours en train de m'encourager à penser de manière critique et à élargir mes horizons.*

*À mes chers amis **Asma, Messaouda, Kaouther, NOUR EL houda** et ma binôme ***Maroua*** qui m'ont offert un soutien moral, partageant avec moi joies et peines, et qui ont toujours été une source de réconfort et d'encouragement.*

*Enfin, à tous les membres de la famille ***Cheikhi***, qui ont été mon véritable soutien à chaque instant, votre présence dans ma vie a eu un impact considérable sur la réalisation de cet accomplissement.*

« *Aicha* »

RESUME

Impact de l'irrigation sur la distribution spatiale du carbone organique dans les sols de la région de Ghardaïa (cas d'El-Atteuf)

La matière organique du sol joue un rôle fondamental dans la fertilité, la stabilité structurale et la rétention d'eau, surtout dans les zones arides où elle est essentielle à la durabilité des systèmes agricoles. Cette étude a été réalisée dans le périmètre du barrage El-Ahbass à El-Atteuf (Ghardaïa, sud de l'Algérie), une région oasienne marquée par un climat aride et des sols pauvres en carbone organique, et irriguée selon un système traditionnel. L'objectif principal était d'évaluer l'impact de l'irrigation sur le carbone organique du sol (COS) et certaines propriétés physico-chimiques. Pour cela, 80 échantillons ont été prélevés autour de 40 palmiers à une profondeur de 0–30 cm, avant et après l'irrigation ; L'étude des paramètres physico-chimiques pour évaluer la qualité d'eau d'irrigation montre que l'eau souterraine est neutre à légèrement basique (pH 7,2), mais présente une salinité élevée (CE = 6,06 dS/m), ce qui peut poser problème pour l'irrigation, surtout pour les cultures sensibles. Le SAR de 4,24 indique un risque modéré de sodification des sols. L'analyse du carbone organique du sol a montré que les teneurs ont augmenté dans plusieurs zones irriguées, atteignant jusqu'à 1,13 %, notamment sous les palmiers où l'humidité et les résidus organiques se sont accumulés. Le sol présente un caractère alcalin avec un pH (entre 8 et 9) et une augmentation de la conductivité électrique (de 0.2 à 0.31 dS/m), traduisant une accumulation de sels après l'apport d'eau. Cependant, l'analyse spatiale a mis en évidence une redistribution du carbone : les zones proches du puits et en pente plus dans le nord-ouest jusqu'à le sud, ont montré une perte en COS due au ruissellement, tandis que les zones basses ont enregistré une concentration plus élevée. Ces résultats confirment que l'irrigation, bien qu'elle améliore localement l'humidité et l'activité biologique, peut aussi entraîner un lessivage du carbone selon la topographie et l'intensité de l'écoulement. L'étude souligne ainsi l'importance d'une gestion adaptée de l'eau et des matières organiques dans les zones arides, pour préserver la qualité des sols et favoriser leur résilience à long terme.

Mots-clés : Répartition spatiale, Carbone organique, conductivité électrique, pH, El-Atteuf, Ghardaïa.

ABSTRACT

Impact of Irrigation on the Spatial Distribution of Soil Organic Carbon in the Ghardaïa Region (Case of El-Atteuf)

Soil organic matter plays a fundamental role in fertility, structural stability, and water retention, especially in arid regions where it is essential for the sustainability of agricultural systems. This study was conducted in the vicinity of the El-Ahbass Dam in El-Atteuf (Ghardaïa, southern Algeria), an oasis area characterized by an arid climate and soils low in organic carbon, irrigated using a traditional system. The main objective of this study was to evaluate the impact of irrigation on soil organic carbon (SOC) and selected physicochemical properties. To this end, 80 soil samples were collected around 40 palm trees at a depth of 0–30 cm, both before and after irrigation. The analysis of physicochemical parameters to assess the quality of irrigation water revealed that the groundwater is neutral to slightly alkaline (pH 7.2), but exhibits high salinity (EC = 6.06 dS/m), which may pose problems for irrigation, particularly for salt-sensitive crops. A Sodium Adsorption Ratio (SAR) of 4.24 indicates a moderate risk of soil sodification. The results showed an increase in SOC content in several irrigated areas, reaching up to 1.13%, especially beneath palm trees where moisture and organic residues accumulate. The soils are generally alkaline, with a pH ranging from 8 to 9, and showed an increase in electrical conductivity (from 0.2 to 0.31 dS/m), indicating salt buildup following irrigation. Spatial analysis revealed a redistribution of SOC: losses were observed in areas near the well and on sloping land, particularly from the northwest toward the south, due to surface runoff, while higher concentrations were found in lower-lying areas. These findings confirm that irrigation, while enhancing moisture and biological activity locally, can also result in carbon leaching depending on topography and runoff dynamics. The study underscores the importance of integrated water and organic matter management in arid regions to maintain soil quality and support long-term resilience.

Keywords: Spatial distribution, Soil organic carbon, Electrical conductivity, pH, El-Atteuf, Ghardaïa.

تأثير الري على التوزيع المكاني للكربون العضوي في تربة منطقة غرداية (حالة العطف)

تُعد المادة العضوية في التربة عنصراً أساسياً في الحفاظ على خصوبتها، واستقرار بنيتها، وقدرتها على احتباس الماء، لا سيما في المناطق الجافة حيث تُعتبر ضرورية لاستدامة النظم الزراعية. وقد أُجريت هذه الدراسة في محيط سد الأحباس ببلدة العطف (غرداية، جنوب الجزائر)، وهي منطقة واحات ذات مناخ جاف وتربة فقيرة بالكربون العضوي، تُروى وفق نظام تقليدي. هدفت هذه الدراسة إلى تقييم تأثير الري على الكربون العضوي في التربة، إلى جانب بعض الخصائص الفيزيائية والكيميائية. ولتحقيق ذلك، تم أخذ 80 عينة تربة من محيط 40 نخلة، على عمق 0-30 سم، قبل وبعد عملية الري. أظهرت دراسة الخصائص الفيزيائية والكيميائية لمياه الري أن المياه الجوفية متعادلة إلى قاعدية قليلاً ($pH = 7.2$)، إلا أنها تتميز بملوحة مرتفعة ($CE = 6.06$ ديسيمنز/متر)، مما قد يشكل خطراً على المحاصيل الحساسة. أما قيمة SAR البالغة 4.24 فتدل على وجود خطر معتدل لتملح التربة. أظهر تحليل الكربون العضوي زيادة في عدة مناطق مروية، حيث بلغت النسبة 1.13%، خاصة تحت النخيل، حيث تتراكم الرطوبة والمخلفات العضوية. تتسم التربة بطابع قاعدي، حيث تراوح الرقم الهيدروجيني بين 8 و9، مع ارتفاع في التوصيلية الكهربائية من 0.2 إلى 0.31 ديسيمنز/متر، ما يدل على تراكم الأملاح بعد الري. وقد كشفت التحاليل المكانية عن إعادة توزيع للكربون العضوي؛ إذ لوحظت خسائر في المناطق القريبة من البئر والمائلة، خاصة من الشمال الغربي نحو الجنوب، بسبب الجريان السطحي، في حين سُجلت تراكيز أعلى في المناطق المنخفضة. تُظهر هذه النتائج أن الري، رغم مساهمته في تحسين الرطوبة والنشاط البيولوجي موضعياً، قد يؤدي إلى فقدان الكربون العضوي بفعل الغسل، تبعاً للطبوغرافيا وشدة الجريان. وتبرز الدراسة أهمية الإدارة المتكاملة للمياه والمادة العضوية في المناطق الجافة، لضمان استدامة التربة وتعزيز قدرتها على الصمود على المدى الطويل.

الكلمات المفتاحية: التوزيع المكاني، الكربون العضوي، التوصيلية الكهربائية، الرقم الهيدروجيني، العطف، غرداية.

Liste des abréviations

°C	Degré Celsius
µm	Micro mètre
µS/cm	Micro Siemens par centimètre
A.N.R.H	Agence nationale des Ressources hydriques
ADE	Algérienne des eaux
CE	Conductivité électrique
dS/m	Di Siemens par mètre
ONM	Office National Météorologique
meq/L	Milliéquivalent par litre
mg/L	Milligramme/litre
SAR	Sodium adsorption ratio (Taux d'adsorption de sodium)
CV	Coefficient de variation
MOS	Matière Organique du Sol
COS	Carbone Organique du Sol

Liste des tableaux

N°	Titre	Page
Tableau 01	Données météorologiques de la Wilaya de Ghardaïa (2013/2023)	09
Tableau 02	Superficies agricoles de la wilaya de Ghardaïa (D.S.A, 2021)	21
Tableau 03	Analyses de l'eau d'irrigation	31
Tableau 04	Statistiques descriptives de C % avant irrigation	35
Tableau 05	Statistiques descriptives de C % avant irrigation	37
Tableau 06	Résultats du test de Wilcoxon (C)	38
Tableau 07	Statistiques descriptives de CE.	39
Tableau 08	Résultats du test de Wilcoxon (CE)	41
Tableau 09	Statistiques descriptives de pH	43
Tableau 10	Résultats du test de Wilcoxon (pH)	45

Liste des figures

N°	Titre	Page
Figure 01	Limites administratives de la wilaya de Ghardaïa (cheikhi.2025)	07
Figure 02	Carte de la situation géographique de la région d'étude (Atteuf) (Cheikhi.2025)	08
Figure 03	Diagramme Ombrothermique de la région de Ghardaïa (2013-2023).	11
Figure 04	Etage bioclimatique de Ghardaïa selon climagramme d'EMBERGER (2013-2023).	12
Figure 05	Carte géomorphologique de la wilaya de Ghardaïa (hamel.2023)	14
Figure 06	Carte géologique de la région de Ghardaïa (BENSLAMA, 2021).	15
Figure 07	Carte de la limite du système aquifère SASS (OULED SIDI AMOR,2016)	16
Figure 08	Évolution des surfaces agricoles utiles (S.A.U) de la wilaya de Ghardaïa (Bouhoun ;Abiismail,2022)	21
Figure 09	Localisation du site d'étude (ADJILA 2025)	24
Figure 10	position des échantillons du sol (ADJILA ; 2025)	24
Figure 11	Evaluation de la qualité d'eaux d'irrigation dans la région d'étude (Diagramme de WILCOX)	32
Figure 12	Classification d'eaux d'irrigation dans la région d'étude (Diagramme de RIVERSIDE)	33
Figure 13	Diagramme de PIPER pour l'eau d'irrigation de la région d'étude	34
Figure 14	Carte de variabilité spatiale du carbone organique avant l'irrigation.	36
Figure 15	Carte de variabilité spatiale du carbone organique après l'irrigation.	37
Figure 16	Carte de variabilité spatiale de CE avant l'irrigation .	40
Figure 17	Carte de variabilité spatiale de CE après l'irrigation.	41
Figure 18	Carte de variabilité spatiale du pH avant l'irrigation	44
Figure 19	Carte de variabilité spatiale du pH après l'irrigation	44

Table des matières		
	Résumé	
	Abstract	
	المخلص	
	Liste des abréviations.....	
	Liste des tableaux.....	
	Liste des figures.....	
	Introduction	01
	Chapitre I : Matériels et méthodes	
	Partie I: Présentation de la région d'étude	
1.	Situation géographique de la willaya de Ghardaïa.....	04
2.	Situation géographique et administrative de la commune d'EL ATTEUF.....	06
3.	Synthèse climatique.....	06
3.1.	Climat.....	07
3.1.1	Données climatiques de la station météorologique de Ghardaïa.....	07
3.2.	Température.....	08
3.3.	Précipitation.....	08
3.4.	Humidité.....	08
3.5.	Vent.....	08
4.	Synthèse bioclimatique.....	08
4.1.	Diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN.....	08
4.2.	Climagramme d'EMBERGER.....	09
5.	Géomorphologie.....	10
5.1.	Chabka.....	10
5.2.	Région des Regs.....	11
5.3.	Région de l'Erg.....	11
5.4.	Hamada.....	11
6.	Géologie.	12
7.	Hydrogéologie.....	13
7.1.	Système aquifère de Sahara septentrional (SASS)	13
7.2.	Nappe du continental intercalaire (CI).	14
7.3.	Nappe du complexe terminal (CT).	14
7.4.	Nappe phréatique	15
7.5.	Types d'aquifères captée.	15
7.5.1.	Nature lithologique.	15
8.	Pédologie.	16
9.	Faune.	16
10.	Flore.	17
11.	Agriculture.	18
	Partie II: Matériel et méthodes d'étude	
1.	Choix la zone d'étude.	20
2.	Présentation du site d'étude.	20
3.	Échantillonnage.	21
4.	Analyses au laboratoire.	22
4.1.	Analyses du sol.	22
4.1.1.	Mesure du pH.	22

4.1.2.	Mesure de la conductivité électrique.....	22
4.1.3.	Carbone organique.	22
4.2.	Analyses d'eau.	23
5.	Analyses statistiques.	23
5.1.	Statistiques descriptives.	23
5.2.	Coefficient de variation.	24
6.	Modélisation géostatistique.	24
6.1.	Krigeage.....	25
6.2.	Réalisation des cartes thématiques.....	26
	Chapitre II : Résultats et discussion	
1	Caractéristiques des eaux d'irrigation.....	27
1.1	Les paramètres physico-chimiques des eaux d'irrigation.....	27
1.1.1	Diagramme de Wilcox.....	28
1.1.2	Diagramme de RIVERSIDE (1954).....	29
1.1.3	Diagramme de PIPER.....	30
2	Etude de carbone organique du sol.....	31
2.1	Etude de carbone organique du sol Avant l'irrigation.....	31
2.2.	Réalisation des cartes thématique	31
2.2.1	Cartographie par krigeage.	32
2.3.	Etude de carbone organique du sol après l'irrigation.....	32
2.4.	Réalisation des cartes thématique.	33
2.4.1.	Cartographie par krigeage.	33
2.5.	Test de comparaison (WILCOXON).....	34
2.6.	Discussion.....	34
3.	Etude de conductivité électrique.....	35
3.1.	Réalisation des cartes thématique.....	36
3.1.1.	Cartographie par krigeage.....	36
3.2.	Test de comparaison (WILCOXON).	37
3.3.	Discussion.	38
4.	Etude de pH du sol.	39
4.1.	Réalisation des cartes thématique.	40
4.1.1.	Cartographie par krigeage.	40
4.2.	Test de comparaison (WILCOXON).	41
4.3	Discussion.	41
	Conclusion	43
	Références bibliographiques	
	Annexes	

Introduction générale

Introduction

Le sol est l'une des ressources naturelles les plus essentielles à la survie de la vie sur Terre. Il joue un rôle fondamental dans la croissance des plantes, constitue un réservoir pour la rétention et la circulation des nutriments et de l'eau, et participe activement à la régulation du climat à travers le stockage du carbone (BRADY & WEIL, 2016). En effet, après les océans, le sol représente le plus grand réservoir de carbone terrestre, grâce à la présence de la matière organique qui agit à la fois comme source et puits de carbone (LAL, 2004).

Par ailleurs, La matière organique du sol (MOS), constituée de résidus organiques en décomposition et de composés humiques, joue un rôle fondamental dans le maintien de la fertilité, en améliorant la structure du sol, sa capacité de rétention en eau et en stimulant l'activité biologique (STEVENSON & COLE, 1999). L'un de ses constituants essentiels est le carbone organique du sol (COS), qui constitue un indicateur clé de la qualité et de la durabilité des sols. La dynamique du COS est influencée par plusieurs facteurs environnementaux, ainsi que par les pratiques de gestion agricoles (SIX *et al.*, 2002).

Les propriétés du sol varient en fonction de nombreux facteurs tels que le climat, le couvert végétal et les pratiques anthropiques. Dans le contexte aride de l'Algérie, cette variabilité est particulièrement marquée. Le pays présente une diversité écologique importante, mais la majorité de ses terres agricoles se trouvent en zones sèches ou semi-arides, où les sols sont souvent sableux, pauvres en matière organique et vulnérables à la dégradation (BOUDJEMAA *et al.*, 2012).

Les sols des zones arides et semi-arides se présentent généralement des caractéristiques chimiques spécifiques telles qu'une salinité élevée et un pH souvent alcalin. Ces conditions limitent l'activité microbienne, réduisent la disponibilité des éléments nutritifs et perturbent la dynamique de la matière organique. Elles représentent un véritable défi pour la préservation de la fertilité, en particulier lorsqu'elles sont aggravées par des pratiques agricoles non durables comme une irrigation non contrôlée (BENABDELI, 2001).

L'irrigation, pratiquée depuis des siècles dans les zones arides, constitue une composante vitale de l'agriculture saharienne. Dans la région de Ghardaïa, elle repose principalement sur l'exploitation des eaux souterraines par le biais de puits, foggaras ou pompes manuels. Bien que ces techniques aient permis de faire vivre les oasis depuis des générations, elles soulèvent aujourd'hui de nouveaux enjeux liés à la rareté de l'eau, à la

surexploitation des nappes phréatiques et à la faiblesse des apports en matière organique dans les sols (BENABDELI, 2001 ; FAO, 2015).

La qualité de l'eau d'irrigation joue un rôle déterminant dans l'évolution du COS. La présence de sels dissous, de composés organiques ou d'éléments chimiques dans l'eau peut modifier le pH et la conductivité électrique (CE) du sol, ce qui influence directement l'activité microbienne et la minéralisation du carbone organique. Une eau de mauvaise qualité, notamment salée, peut engendrer une salinisation progressive du sol, réduisant ainsi la disponibilité en eau et en nutriments pour les plantes et les micro-organismes, et affectant négativement le stockage du COS (RICHARDS, 1954). Inversement, des apports réguliers de matière organique, qu'ils soient véhiculés par l'eau ou apportés par les pratiques culturales, peuvent améliorer la teneur en COS, stabiliser la structure du sol et renforcer sa résilience (REEVES, 1997).

Des recherches menées à l'échelle locale, comme celles portant sur l'irrigation avec des eaux usées épurées dans la région de Ouargla, confirment l'impact de la qualité de l'eau sur les propriétés physico-chimiques du sol et la dynamique du carbone organique. Ainsi, l'étude de ces interactions est essentielle pour assurer une gestion durable des ressources en sols dans les environnements arides (LAL, 2004).

Comprendre l'effet de l'irrigation traditionnelle sur la dynamique du carbone organique dans les sols arides revêt donc une importance particulière dans un contexte de changement climatique et de pression croissante sur les ressources hydriques. Ce travail s'inscrit dans une perspective de gestion durable des terres agricoles dans le sud algérien, en fournissant des données scientifiques pouvant orienter les pratiques de fertilisation, d'irrigation et de conservation de la matière organique. Les résultats attendus contribueront à améliorer la productivité tout en préservant l'équilibre écologique des systèmes oasiens.

La variabilité spatiale des sols demeure encore largement méconnue, en grande partie parce que de vastes zones du globe n'ont pas été cartographiées de manière détaillée. Par ailleurs, les agriculteurs ont souvent une connaissance limitée de la diversité des sols de leurs parcelles, qu'ils perçoivent principalement à travers le comportement de l'horizon de surface cultivé (GIRARD, 2011).

Ce travail s'inscrit dans le cadre de l'étude de l'impact de l'irrigation sur la répartition spatiale du carbone organique dans les sols d'une palmeraie située dans la région d'El Atteuf (Ghardaïa).

Cette étude a un double objectif :

- D'une part, caractériser les paramètres physico-chimiques du sol et de l'eau souterraine dans la zone étudiée ;
- D'autre part, analyser la distribution spatiale de ces paramètres à l'aide d'outils de cartographie.

Ce mémoire est divisé en deux parties complémentaires : la première présente le matériel utilisé et les méthodes adoptées pour réaliser l'étude, tandis que la deuxième est consacrée à l'analyse et à l'interprétation des résultats obtenus. L'ensemble du travail est clôturé par une conclusion générale qui résume les principaux acquis de cette recherche.

Chapitre I :

Matériels et méthodes



Partie I: Présentation de la région d'étude

Chapitre I : Matériels et méthodes

Partie I : Présentation de la région d'étude.

La wilaya de Ghardaïa, instituée selon le découpage administratif algérien défini par la loi n° 84-09 du 4 février 1984, s'étend sur une superficie de 84 660,12 km². Ce cadre territorial a été modifié par la loi n° 19-12 du 12 novembre 2019, qui actualise et enrichit la législation de 1984, portant ainsi le nombre total de wilayas à 58 et celui des communes à 1 541. Une des évolutions notables de cette réorganisation est la création de la wilaya d'Al-Ménéa, résultant du démembrement de Ghardaïa conformément à l'article 52 bis 9. Cette nouvelle entité administrative comprend trois communes : Al-Ménéa, Hassi-El-F'Hel et Hassi-El-Gara, et couvre une superficie totale de 58 494,69 km² (HAMEL, 2023)

1. Situation géographique de la wilaya de Ghardaïa.

Au cœur du Sahara algérien septentrional, à 600 km au sud d'Alger, la wilaya de Ghardaïa se révèle comme un trésor culturel et touristique. Héritière d'une histoire millénaire, elle se positionne comme le second pôle touristique du pays, après le littoral, attirant des visiteurs du monde entier. La vallée du Mzab, inscrite au patrimoine mondial de l'UNESCO, en est le joyau, abritant cinq ksour (cités fortifiées) chargés d'histoire. La wilaya se compose de sept daïras (Ghardaïa, Metlili, Berriane, Daïa Ben Dahoua, Zelfana, El Guerrara, Bounoura) et de dix communes (Berriane, Bounoura, Dhayet Bendhahoua, El Atteuf, El Guerrara, Ghardaïa, Mansoura, Metlili, Sebseb, Zelfana) (BENSALAH et *al.*, 2018).

Les coordonnées géographiques du chef- lieu de la wilaya sont (BICHI ET BENTAMER, 2006) :

- ✚ Altitude 480 m.
- ✚ Latitude 32° 30' Nord.
- ✚ Longitude 3° 45' Est.

La wilaya de Ghardaïa couvre une superficie de 86.560 km², elle est limitée :

- ✚ Au Nord par les wilayas de Laghouat et de Djelfa
- ✚ Au Sud par la wilaya de Menia
- ✚ A l'Est par la wilaya d'Ouargla
- ✚ A l'Ouest par les wilayas d'Adrar et d'El-Bayadh (GADOUM.2023)

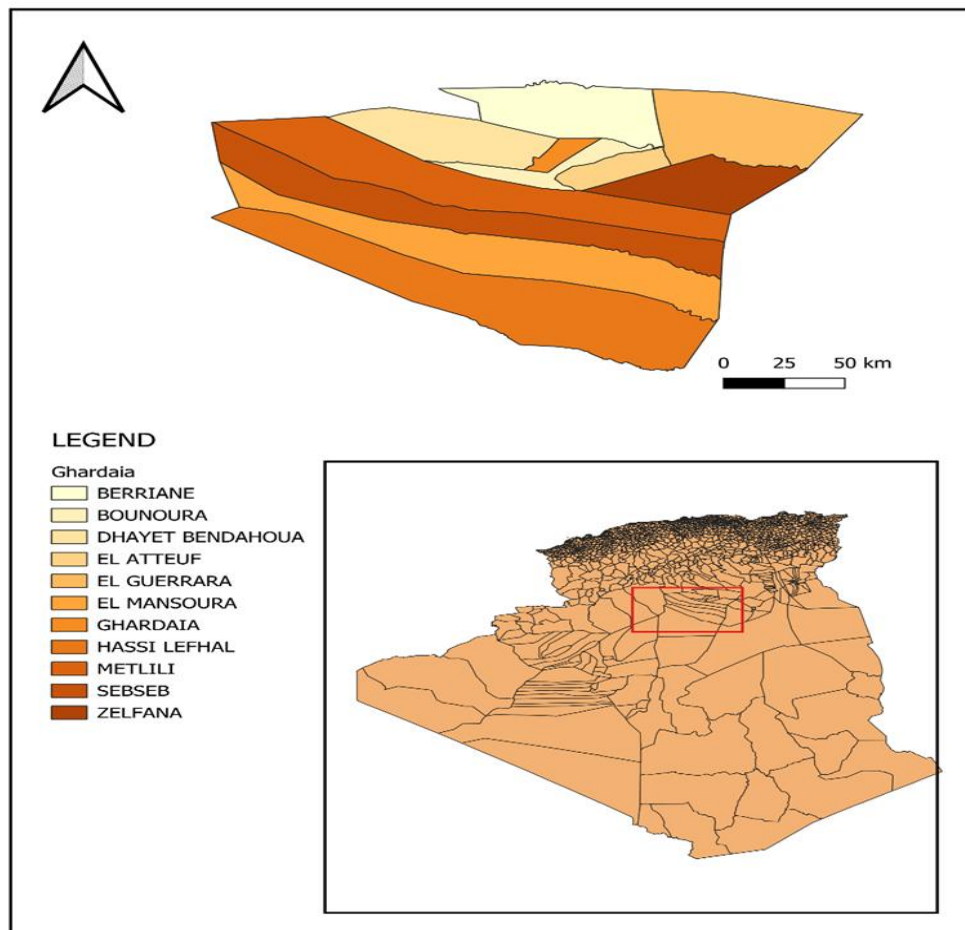


Figure 01.Limites administratives de la wilaya de Ghardaïa (Cheikhi. Adjila .2025)

2.- Situation géographique et administrative de la commune d'EL ATTEUF.

La région d'EL ATTEUF est située à 8 km au Nord de la wilaya de Ghardaïa et à 606 km au Sud d'Alger. Elle est à la latitude 32° 27' nord, 3° 45' Est et à une altitude de 458m. Elle couvre une superficie de 750 km². Elle est limitée :

- ✚ Au nord : Par la commune de bounoura
- ✚ Au sud : Par la commune de zelfana
- ✚ A l'ouest : Par la commune de bounoura
- ✚ A l'est : Par la commune de el guerrara (ATTEUF, 2024).

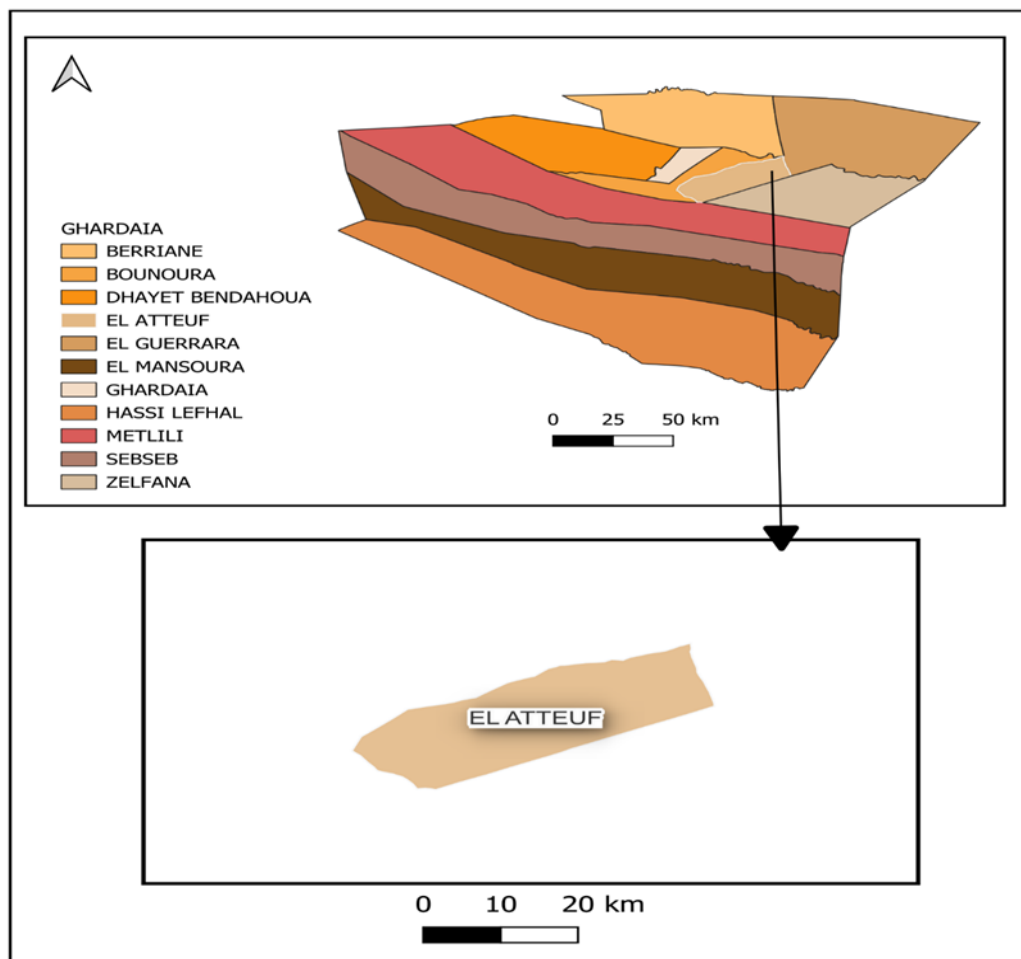


Figure 1 : Carte de la situation géographique de la région d'étude (EL ATTEUF)
(Cheikhi.Adjila 2025)

3.- Synthèse climatique

3.1.-Climat

3.1.1- Données climatiques de la station météorologique de Ghardaïa

Les moyennes climatiques mensuelles analysées couvrent une période de 10 ans (2013-2023), (TUTIMPO.2025), permettant une identification précise des variations climatiques dans la région d'étude. ces paramètres climatiques constituent non seulement des éléments déterminants du milieu physique, mais exercent également une influence majeure sur les écosystèmes animaux et végétaux

D'après les résultats climatiques de la région, le climat est typiquement saharien, qui se caractérise par deux saisons : une saison chaude et sèche (d'Avril à Septembre) et une autre tempérée (d'Octobre à Mars) et une grande différence entre les températures de l'Eté et de l'Hiver (A.N.R.H., 2012). L'irrégularité pluviométrique (<100 mm/an) complète ce profil désertique typique.

Tableau 01.Données météorologiques de la Wilaya de Ghardaïa (2013/2023)

	Température (C°)			P	H	V.V
	Min	Max	Moy	(mm)	(%)	(m/s)
Janvier	6,72	18,98	12,78	1,65	46,9	13,16
Février	8,61	20,86	14,74	3,84	40,6	18,38
Mars	12,21	25,16	18,87	4,04	34,7	17,56
Avril	16,71	30,79	24,1	3,96	29,9	17,89
Mai	21,86	36,03	29,32	4,04	26,4	17,49
Juin	27,33	41,93	35,2	0,71	21,4	16,48
Juillet	31,35	45,68	39,03	0,20	18,6	13,7
Aout	30,3	44,02	37,45	4,39	23,6	12,89
septembre	26,31	39,6	33,01	5,33	32,3	12,85
Octobre	19,53	32,4	25,99	4,11	37,6	11,59
Novembre	13,13	24,55	18,45	4,88	44,8	13,04
Décembre	8,44	19,75	13,85	3,87	54,2	12,79
Moyenne	18,55	31,64	25,23	41.02*	34,2*	14,82

H : Humidité relative T : Température P : Pluviométrie V.V : Vitesse de vent :

* : Cumulés annuelle

3.2.- Température

La température est le facteur climatique le plus important. Elle a une action majeure sur le fonctionnement et la multiplication des êtres vivants (GUEHILI, 2015)

La température moyenne annuelle est de 25.23 °C, avec, 39.03 °C en juillet pour le mois le plus chaud et 12.78 °C en Janvier pour le mois le plus froid (TUTIEMPO.2025).

3.3.-Précipitation

Les précipitations dans la région sont caractérisées par leur rareté et leur irrégularité, tant à l'échelle mensuelle qu'annuelle. La saison sèche estivale est particulièrement marquée, avec une absence quasi totale de pluie de mai à juillet. Le mois de septembre enregistre le maximum de précipitations, avec une moyenne de 5,3 mm. Les précipitations annuelles moyennes sont de seulement 41.02 mm (TUTIEMPO.2025)

3.4.-Humidité relative

L'humidité relative de l'air est extrêmement faible dans la région. Elle atteint son point le plus bas en juillet, avec une moyenne de seulement 18,6 %. Le taux d'humidité augmente légèrement en décembre, atteignant un maximum de 54,2 %. La moyenne annuelle de l'humidité relative est de 34,2 % (TUTIEMPO.2025).

3.5.-Vent

Ils sont de deux types : Les vents de sables en Automne, Printemps et Hiver de direction Nord –Ouest. Les vents chauds (**Sirocco**) dominant en Eté, de direction Sud Nord ; sont très sec et entraînent une forte évapotranspiration, nécessitent des irrigations importantes (BENSAMOUNE, 2008). D'après les données de (TUTIEMPO.2025) pour la période de 2013-2023, les vents sont fréquents sur toute l'année avec une moyenne annuelle de 14.82 m/s.

4.- Synthèse bioclimatique

4.1.-Diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN

L'analyse des données de précipitations et de températures mensuelles enregistrées sur une période de 10 ans (Tabl.01) permet d'établir une courbe pluviométrique afin de déterminer la période de sécheresse.

Le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen (1953) est un outil précieux pour visualiser les variations saisonnières de la réserve hydrique (Fig.). Ce diagramme est construit de la manière suivante :

- ✚ L'axe des abscisses représente les mois de l'année.
- ✚ L'axe des ordonnées indique les précipitations (en mm) et les températures moyennes (en °C).
- ✚ L'échelle utilisée est de $P = 2T$, où P représente les précipitations et T les températures.
- ✚ L'aire compris entre les deux courbes représente la période sèche.

Dans la région de Ghardaïa nous remarquons que cette période s'étale sur toute l'année.

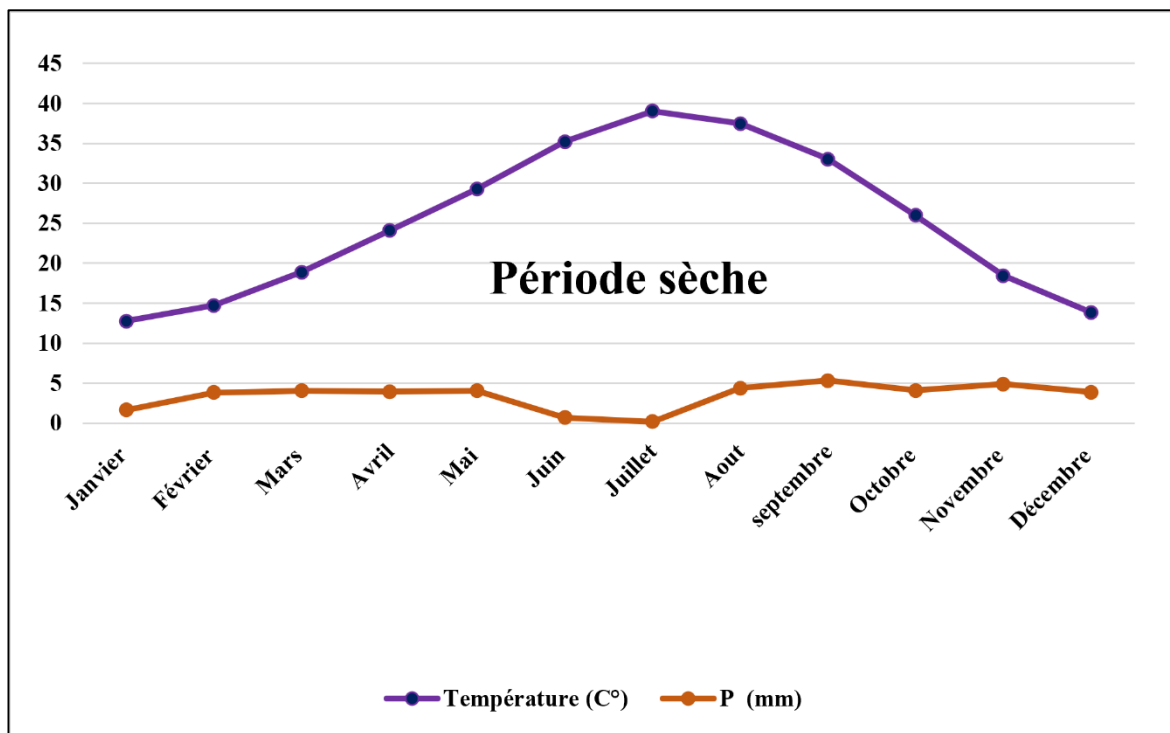


Figure 02 : Diagramme Ombrothermique de la région de Ghardaïa (2013-2023).

4.2.-Climagramme d'EMBERGER

Permet de classer les différents types de climats méditerranéens (DAJOZ, 1985); (DAJOZ, 2003). Le calcul du potentiel bioclimatique pour chaque étage bioclimatique est basé sur la carte bioclimatique. En utilisant des cartes bioclimatiques, les données climatiques de base peuvent être corrélées avec des stratégies appropriées et des mesures de conception correspondantes Il est défini par la formule simplifiée suivante (STEWART, 1969)

$$Q2=3,43 \text{ p/ (M-m)}$$

- ✚ Q2 : Quotient thermique d'EMBERGER
- ✚ P : Précipitations moyennes annuelles en mm
- ✚ M : La température maximale du mois le plus chaud en °C m : La température minimale du mois le plus froid en °C

D'après la formule, la Wilaya de Ghardaïa se situe dans l'étage bioclimatique saharien à Hiver doux et son quotient thermique (Q2) est de **3.60**

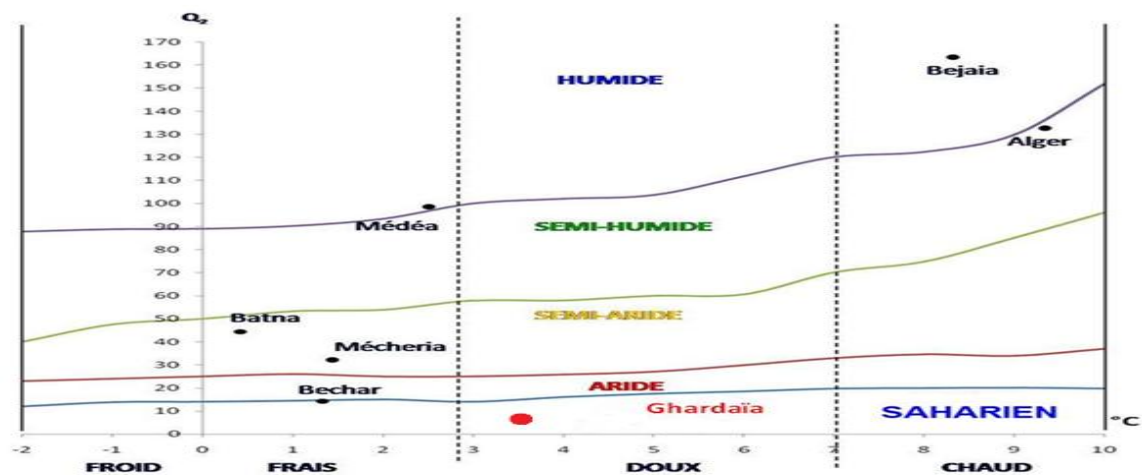


Figure 04 : Etage bioclimatique de Ghardaïa selon climagramme d'EMBERGER (2013-2023).

5.-Géomorphologie

Ghardaïa est une région typiquement saharienne constituée des formes géomorphologiques particulières issues des processus morphogénétiques (vent, eau... etc) dont les principales formes de relief présentes sont : Les Hamadas, Les Regs, ergs et les Dayas... (BIAD.2022)

5.1. Chabka

D'après (COYNE, 1989) c'est un plateau crétacé rocheux occupant quelques 8 000 Km², représentant 21 % du territoire de la région, il est découpé en petites vallées irrégulières plus ou moins parallèles et penchant vers l'Est. Moins hautes (moins de cent mètres), ces vallées peuvent parfois s'élargir sur plusieurs kilomètres. Les formations encaissantes

comprennent des calcaires généralement dolomitiques au dessus de couches de marnes. Neuf communes y sont plus ou moins localisées : Ghardaïa, Berriane, Daïa ben dahoua, Bounoura, El Atteuf, Metlili, Sebseb, Mansoura et Hassi –Fhel. (KHENE, 2013), Le plateau de M'Zab continue vers le sud jusque sur le plateau d'El Golea. qui s'achève à l'ouest par une falaise ininterrompue, similaire à celle d'El Loua. Au bas de cet escarpement, au bord du massif rocheux des grandes dunes sableuses occidentales, A l'est, il existe un Hamada à la craie blanche, suivi d'un Hamada en béton rougeâtre qui couvre le territoire continental de Neugène. L'artère principale de l'oued Mya, qui provient de Tademaït, coupe successivement la hamada du Crétacé et la hamada néogène ; elle poursuit en direction d'Ouargla. (AUGUSTIN, 1939).

5.2.- Région des Regs

MONOD, 1992 a défini les regs comme étant des plaines de graviers et de fragments rocheux. Ils se définissent par des étendues de sols solides caillouteuses sans relief apparent résultant de l'érosion éolienne (déflation). Les Regs se reposent l'Est de la région de M'Zab et de substrat géologique du pliocène. Cette région est occupée par les communes de Zelfana, Bounoura et El Atteuf (KHENE, 2013 ; DADAMOUSA, 2017)

5.3.- Région de l'Erg

L'élément essentiel du paysage saharien est le sable. Les ergs sont de vastes régions ensablées ou se localisent généralement les dunes (LELUBRE, 1952). Les dunes peuvent avoir des formes différentes en fonction de la direction dominante du vent GARDI (1973). Dans la région du M'Zab, les accumulations sableuses sont dominées par l'erg occidental, massif dunaire, longeant la région sur son flanc ouest, et s'élargissant au sud. Il constitue une source d'ensablement des périmètres agricoles, des agglomérations et des routes dans l'axe Mansoura – El Ménéa (KHENE, 2013)

5.4. Hamada

La Hamada couvre la partie Est du territoire, le terrain est vaste à ondulations douces et amples et présente une légère pente vers l'Est, direction vers laquelle tendent toutes les vallées collectrices de la chebka, ici sans ramifications (HOUICHITI, 2009).

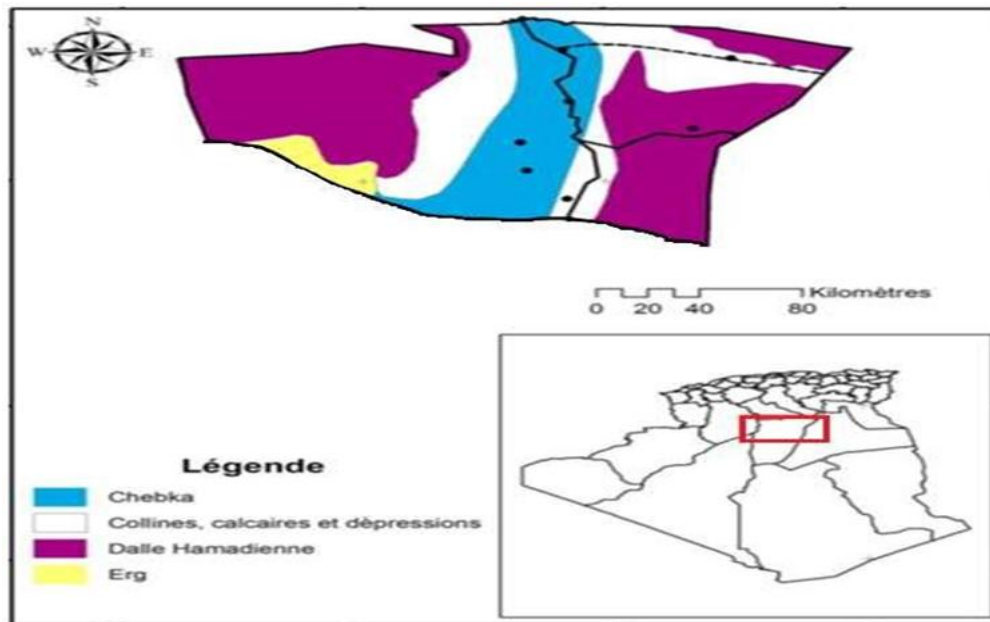


Figure 4: Carte géomorphologique de la wilaya de Ghardaïa (HAMEL.2023)

6.-Géologie

La wilaya de Ghardaïa est située en bordure occidentale du bassin sédimentaire secondaire du Sahara, sur un vaste plateau subhorizontal de massifs calcaires turoniens, communément appelé "la dorsale du M'Zab" (A.N.R.H., 2009). Cette région fait partie du bassin sédimentaire du Bas-Sahara et présente une lithologie variée (A.N.R.H, 2016) :

- ✚ **À l'ouest et au sud-ouest** : des argiles verdâtres et bariolées d'âge cénomanien.
- ✚ **Au centre** : des calcaires massifs durs, blanc grisâtre, attribués au Turonien.
- ✚ **À l'est** : des calcaires marneux et des argiles gypseuses d'âge sénonien.
- ✚ **À l'est et au nord-est** : des sables rougeâtres consolidés du Miopliocène.

Dans le fond des vallées des oueds : des alluvions quaternaires.

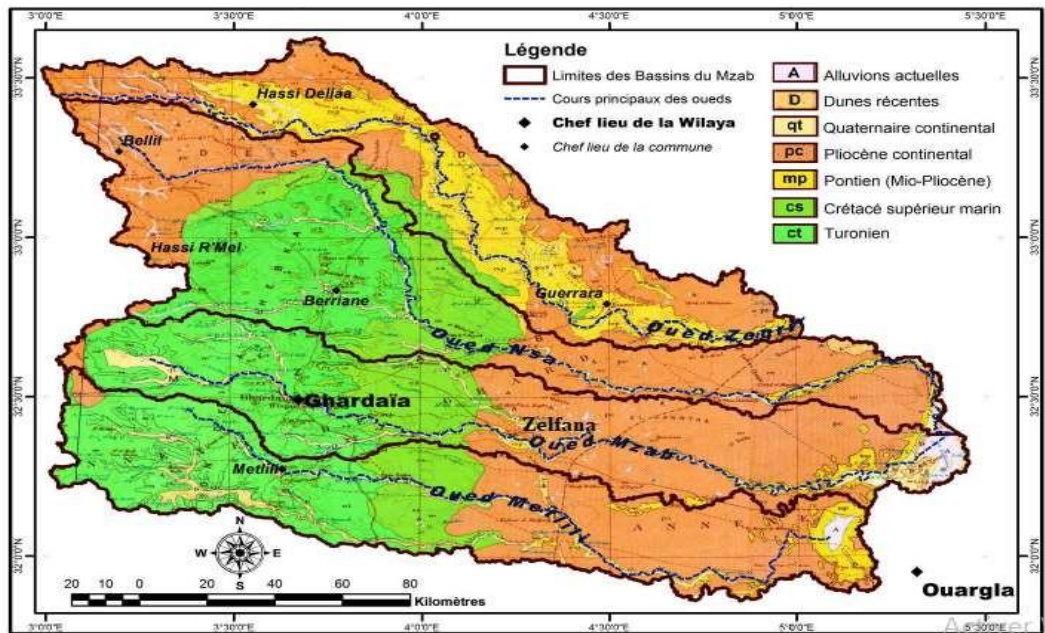


Figure 05 : Carte géologique de la région de Ghardaïa (BENSLAMA, 2021)

7.- Hydrogéologie

La température et de salinité sont spécifiques au type de la formation géologique du Continental Intercalaire dans la région d'étude. ABHS ,2005). La région de Ghardaïa est jalonnée par un grand réseau des Oueds dont les principaux sont : Oued Sebseb, Oued Metlili, Oued M'Zab, Oued N'sa et Oued Zegrir (ANRH., 2007). L'ensemble de ces oueds constitue le bassin versant de la dorsale du M'Zab (carte.04), ils drainent en grande partie les eaux de la dorsale de l'Ouest vers l'Est, leur écoulement sont sporadiques, ils se manifestent à la suite des averses orageuses qui connaît la région (ANRH., 2007).

7.1.- Système aquifère de Sahara septentrional (SASS)

Le Système Aquifère du Sahara Septentrional (SASS) s'étend sur une vaste zone dont les limites sont situées en Algérie, en Tunisie et en Lybie. Ce bassin renferme une série des couches aquifères qui ont été regroupées en deux réservoirs appelés : le Continental Intercalaire (CI) et le Complexe Terminal (CT).

Le domaine du SASS couvre une superficie d'environ 1 000 000 km² dont 70 % se trouve en Algérie, 24 % en Lybie et 6 % en Tunisie et s'étend du Nord au Sud, depuis l'Atlas Saharien jusqu'aux affleurements de Tidikelt et du rebord méridional de Tihert et d'Ouest en Est depuis la vallée de Guire-Saoura jusqu'au graben d'Hun en Lybie (BENESSEDDIK, 2019).

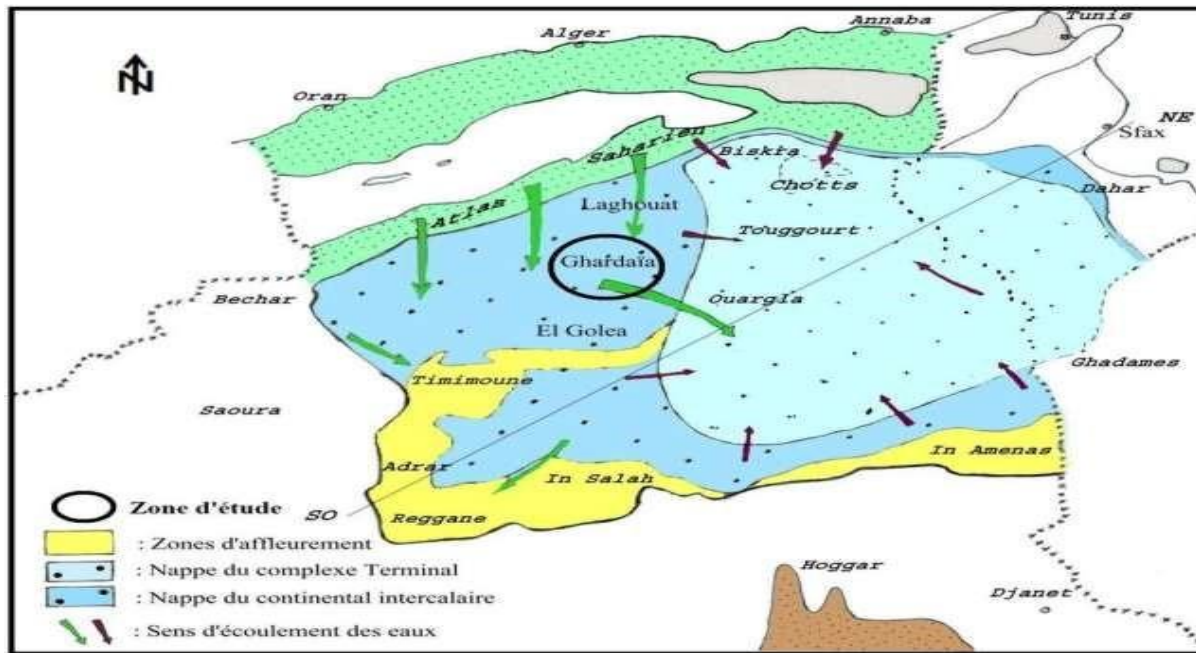


Figure 06 : Carte de la limite du système aquifère SASS (OULED SIDI AMOR, 2016).

7.2.- Nappe du continental intercalaire (CI).

Souvent appelée « Nappe de l'albien » couvre les terrains dont l'âge .En vue d'augmenter les disponibilités en eau pour les besoins agricoles et domestiques des habitants, 15 forages ont été réalisés dans la nappe albienne. Le débit varie de 22 à 40 litres par seconde. Pour amener l'eau à la surface, le pompage est nécessaire (A.N.R.H, 2016).

7.3.-Nappe du complexe terminal (CT).

Le complexe terminal couvre une superficie de 665.000 km², il regroupe plusieurs aquifères à formation géologiques différentes, d'âge Turonien, Sénonien, Eocène et Mio-pliocène. Interconnectés entre eux, l'ensemble forme un même système hydraulique. Ces limites d'affleurement sont :

- ✚ Au Nord, dans le sillon des chotts algéro-tunisiens.
- ✚ À l'Est, le long du flanc oriental du Dahar et du J. Nafusa en Tunisie.
- ✚ Au Sud, sur les plateaux de Tinrhert et de Tademaït.
- ✚ À l'Ouest, sur la dorsale du M'zab (calcaires du Turonien), considérée comme une zone d'alimentation du CT.

La nappe est jaillissante au centre du bassin et libre sur les bordures. Elle est alimentée essentiellement par infiltrations des pluies exceptionnelles dans les sables Mio-pliocènes, ainsi

que par les fréquents ruissellements le long des oueds descendant de l'Atlas saharien au Nord, et de l'Ouest, par les écoulements des oueds de la chebka du M'zab. Avec une épaisseur moyenne de 342 mètres et une porosité efficace de 5%, les réserves du CT sont évaluées à environ de 11.000×10^9 de m³ (OULD BABASY, 2005). La limite de la nappe CT étant située plus à l'est dans la région du M'zab, elle n'est pas exploitée avec succès dans la région de Ghardaïa. Pour cette raison, nous allons seulement discuter en profondeur de cette nappe CI. (OULED SIDI AMOR, 2016).

7.4.- Nappe phréatique

D'une manière générale, les vallées des oueds de la région sont le siège de nappes phréatiques. L'eau captée par des puits traditionnels d'une vingtaine de mètres de profondeur en moyenne mais qui peuvent atteindre 50 m et plus, permet l'irrigation des cultures pérennes et en particulier des dattiers. L'alimentation et le comportement hydrogéologique sont liés étroitement à la pluviométrie.

La qualité chimique des eaux est comme suit: • En amont, elle est bonne à la consommation. • En aval, elle est mauvaise et impropre à la consommation, contaminée par les eaux urbaines (A.N.R.H, 2007).

7.5.- Types d'aquifères captée

L'aquifère a capté dans notre étude est de type continental intercalaire (albienne) qui s'étend sur 600 000 km² dans des grès et des argiles datés de 100 à 150 millions d'années. Environ 20000 milliards de m³ d'eau y sont piégés. Elle occupe la totalité du Sahara algérien septentrional, et se prolonge : dans le Sud de la Tunisie et le Nord de la Libye (A.N.R.H, 2016)

I.7.5.1.- Nature lithologique.

L'étude de la coupe géologique dans la zone de oued M'Zab présente les formations suivantes :

-  **Le Turonien** : de 1 à 30 mètres. Calcaire grisâtre à blanc massif, Marne jaune à calcaire à la base.
-  **Le Cénomani** : de 30 à 290 mètres. Il s'agit d'argiles verdâtres grises, brunes, parfois noirâtres. Compactes et bariolée à gypses vitreux, argiles grisâtres claires sableuses à la base.

✚ **L'Albien** : A partir de 290 mètres. Sables bruns moyen à fin argileux, sables jaunes à grès, argiles grises sableuses, à vertes, sables fins bruns et roses, argiles grises sableuses, sables fins brun argileux, grès rose et brun à ciment argileux, sables à argiles rouge, sables fins roses gréseux, grès rouge, argile rouge plastique à la bas (HERMA & BICHI.2022)

8.- Pédologie

Selon BELERAGUEB (1996), les sols sahariens se classent en trois catégories distinctes : les regs désertiques (formations sablo-graveleuses), les sols limono-argileux des terrasses alluviales, et les sols halomorphes des sébkhas à forte salinité. Ces sols présentent globalement une texture sablo-limoneuse accompagnée de caractéristiques chimiques contraignantes : faible teneur en phosphore, azote et oligo-éléments combinée à un pH alcalin réduisant la disponibilité des nutriments. L'abondance de calcaire total y perturbe l'assimilation du phosphore, potassium et azote, tandis que la pauvreté en matière organique (<1%) se traduit par une capacité d'échange cationique très faible (inférieure à 5 méq/100g de sol), limitant ainsi la rétention des éléments fertilisants (BOUHOUN & ABIISMAIL, 2022)

9.-Faune

Le désert est un milieu apparemment simple où la sévérité des agressions du milieu vient limiter le développement de la vie. C'est l'un des rares milieux où la répartition de la plupart des êtres vivants se limite à la strate superficielle du sol et à la strate endogée, (VIAL & VIAL, 1974). La faune est riche dans la région de M'Zab mais se limite à des espèces adaptées au milieu saharien (BOUKRAA,2008).Plusieurs espèces des nématodes sont notées tel que *Ascaris lombricoïdes* Linné, *Oxurisvermicularis* Beremser (AMAT,1888). Les mollusques sont assez abondants dans la région de Ghardaïa, ABONNEAU (1983) signale la présence d'*Helixdeserticus*. Les arthropodes comprennent un grand nombre d'espèces sahariennes. Parmi les myriapodes on trouve la scolopendre (*Scolopendrasp.*), plusieurs espèces d'arachnides sont présentées tels que les scorpions (*Androctonusaustralis*) des solifuges (*Galeodessp.*) et des araignées (BOUKRAA, 2008).Selon DOUADI (1992) les insectes constituent le groupe le plus riche. CHOBOUT (1898) a recensé plus de 330 espèces de Coléoptères, 124 espèces d'Hyménoptère et beaucoup d'autres espèces de Diptera, de Névroptères et d'Hétéroptères. Les orthoptères représentent le groupe d'insectes le plus important par leur diversité et par leur nombre (ZERGOUN, 1991). Les Orthoptera ont fait

l'objet de plusieurs études bioécologiques dans la région de M'Zab. Précisément ZERGOUN (1991) à Beni Izguen, BABAZ (1992), et YAGOUB (1996) à Ghardaïa et DOUADI (1992) à Guerrara ont inventorié 31 espèces de criquets. Pour ce qui concerne les Amphibie, *Bufo viridis*(LAURENTI, 1768) est cité par LE BERRE (1989). Parmi les Reptiles on cite des *Chelonia* comme *Testudograeca* (LINNAEUS, 1758)

10.-Flore

La flore est le témoignage le plus fidèle du climat. autour du monde, notamment au Sahara (GARDI, 1973). (MAIRE, 1933), recense 480 espèces saharienne et l'endémisme y est élevé à cause des vastes espaces qui ne conviennent pas à la vie. En ce qui concerne le Sahara septentrional, il existe 162 espèces endémiques. (QUEZEL, 1978).

Les botanistes comme les géographes ont souvent mis l'accent sur la pauvreté de la flore saharienne. Mais la pauvreté est bien plus réelle parmi les plantes supérieures et encore plus parmi les cryptogrammes. (QUEZEL ,1965).

D'après OZENDA, 1983 cette pauvreté se reflète dans le rapport entre le nombre d'espèces qui vivent dans ce désert et l'immensité de la région qui en fait partie. La flore saharienne semble être différenciée de celle d'origine méditerranéenne, comme en témoigne la prépondérance évidente des familles et des affinités méditerranéennes, ces éléments diminuent du nord au sud (OZANDA, 1964).

La nature et la densité de la végétation dépendent des caractéristiques bioclimatiques et édaphiques, la natte végétale est discontinue et hautement irrégulière. (OZENDA, 1991).

Dans la vallée du M'Zab, la culture prédominante est le palmier dattier; l'Oasis est principalement une palmeraie, Elles renferment des arbres fruitiers et des cultures maraîchères. (OZENDA, 1983).

Les arbres de toutes sortes se trouvent sur les rayures vertes. Les bosquets sont pour l'essentiel comme des arrêt-éolien dans les périmètres d'aménagement. Parmi les espèces comptée on note le casuarina, le faux poivrier, l'eucalyptus, le tamarix (dans les lits des oueds), le pin d'Alep et le cyprès (BEN SEMAOUNE, 2008).

Au-delà pour les plantations de palmiers, il existe des peuplements floristiques qui constituent un cas spécial dans cette région subsaharienne citant : *Aristida pungens*, *Retama retam*, *Calligonum comosum*., *Ephedra alata*., *Urginea noctiflora*, *Erodium glaucophyllum*, *Haloxylon scoparium*., *Astragales gombo*, *Caparis spinosa*, *Zilla macroptera*, *Pistachia atlantica*, *Zyziphus lotus*, *Tamarix articulata*, *Populu seuphratica* (OZENDA, 1983)

La distribution de la couverture végétale dépend de la nature de milieu de vie, ce qui est confirmé par (CHEHMA et al, 2005), Où ils ont classé décroissant ces milieux de vie à la base de la richesse spécifique dont les lits d'oueds sont les plus riches, suivis par les daïas, des hamadas, des milieux sableux et des regs respectivement. La richesse spécifique marquante des lits d'oued s'exprime par: *Anabasis articulata*, *Retama retam*, *Ephedra alata*, *Aristida pungens* et *Artemisia herba alba*. *Retama retam*, *Randonia africana* et *Astragalus gombo* se rencontrent en abondance au niveau des dépressions. Les *Traganum nutadum*, *Arthrophytum scoparium* et *Salsola tetragona* dominent les hamadas. Les milieux sableux sont marqués par : *Aristida pungens*, *Retama retam* et *Astragalus gombo* sont les plus abondantes dans. Les espèces dominantes dans les regs *Ephedra alata*, *Zygophyllum album* et *Cornulaca monacantha*. Des peuplements floristiques halophiliques peuvent être trouvés, constituant un cas spécial important en aval de l'Oued M'Zab tels que *Atriplex halimus*, *Salsola vermiculata* et *Anabasis articulata*, (ABONNEAU, 1983).

D'après (KHENE, 2007). Les oasis se caractérisent par un microclimat également induit par les cultures et un système agricole plus ou moins intensifié. Par conséquent, cette zone agricole irriguée possède un système de production extrêmement productif. Le palmier dattier formant l'étage supérieur, arbres fruitiers l'étage intermédiaire comme. Les agrumes oranger et citronnier, le figuier, l'abricotier, le grenadier, l'olivier, le pêcher, l'amandier et le pommier. Les cultures herbacées formant l'étage inférieur on rencontre, les cultures maraichères comme la courge, le potiron, la pastèque, le melon, les tomates, l'aubergine et les piments. Les cultures fourragères sont représentées par l'orge, la luzerne et le trèfle (TOUTAIN, 1979 ; KHENE, 2007 ; CHOUIHET, 2019).

11.- Agriculture

La wilaya de Ghardaïa a connu un développement agricole accéléré entre 2015 et 2021, avec un accroissement de 64% des surfaces cultivées. Les terres agricoles sont passées de

44 155 hectares à 72 500 hectares sur cette période sextennale, soit une extension moyenne annuelle de 4 724 hectares (BOUHOUN &ABIISMAIL ;2022)

Tableau 02. Superficies agricoles de la wilaya de Ghardaïa (D.S.A, 2021)

Superficie totale (ha)	8466021
Surface agricole totale (S.A.T) (ha)	1370911
Surface agricole utile (S.A.U)	72491

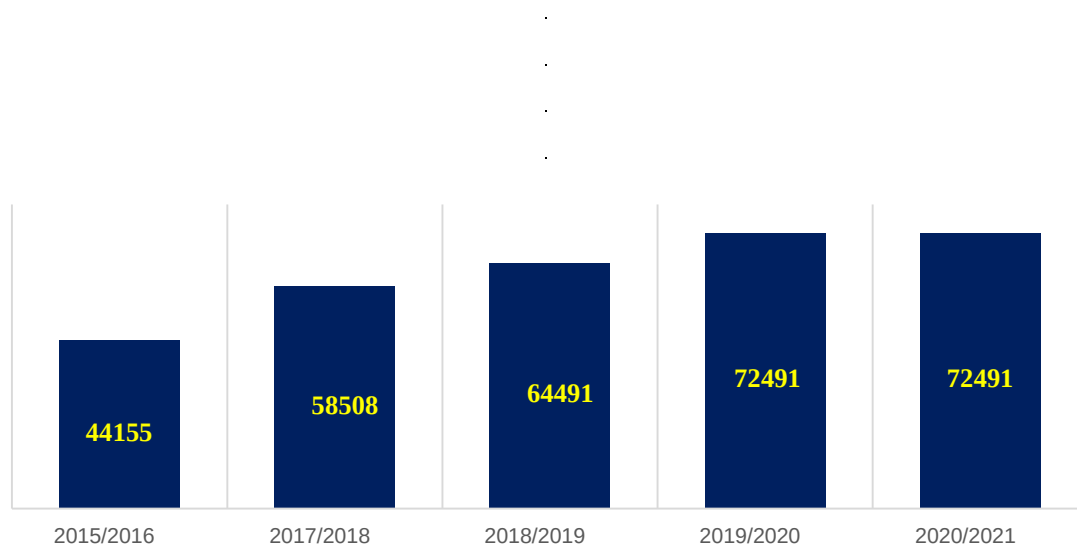


Figure 7 : Évolution des surfaces agricoles utiles (S.A.U) de la wilaya de Ghardaïa (BOUHOUN &ABIISMAIL,2022)

Partie II: Matériel et méthodes d'étude

Chapitre I. Matériel et méthodes

Partie II. Matériel et méthodes d'études

1.- Choix la zone d'étude

Nous avons choisi le site de AHBASS, situé à EL ATTEUF (figure 09), comme lieu de réalisation de notre étude expérimentale. Ce site a été choisi pour deux raisons principales : la première est qu'il est cultivé depuis 25 ans, ce qui permet d'évaluer l'impact des pratiques agricoles sur le long terme ; la seconde est que l'irrigation est réalisée selon la méthode traditionnelle de l'immersion, ce qui permet d'étudier son effet sur les propriétés du sol.

2.- Présentation du site d'étude

Le terrain de l'étude se trouve dans la palmeraie de (Benzita Cheikh) à AHBASS à EL Atteuf (32°26'54" N 3°45'04"E), il couvre une superficie totale de 1,2 hectares. Ce site a été établi en 2000 dans la commune d'ELAtteuf, située à environ 8 km du chef-lieu de la wilaya de Ghardaïa. La palmeraie compte plus de 55 pieds, comprenant les variétés Deglet Nour, et Ghars. Une partie des oliviers de l'exploitation ne sont pas encore en production ou présentent une faible fructification.

L'alimentation en eau du site est assurée par un puits traditionnel. L'irrigation des palmiers dattiers est effectuée tous 3 jours, tandis que la fertilisation repose exclusivement sur l'utilisation de fumier organique.

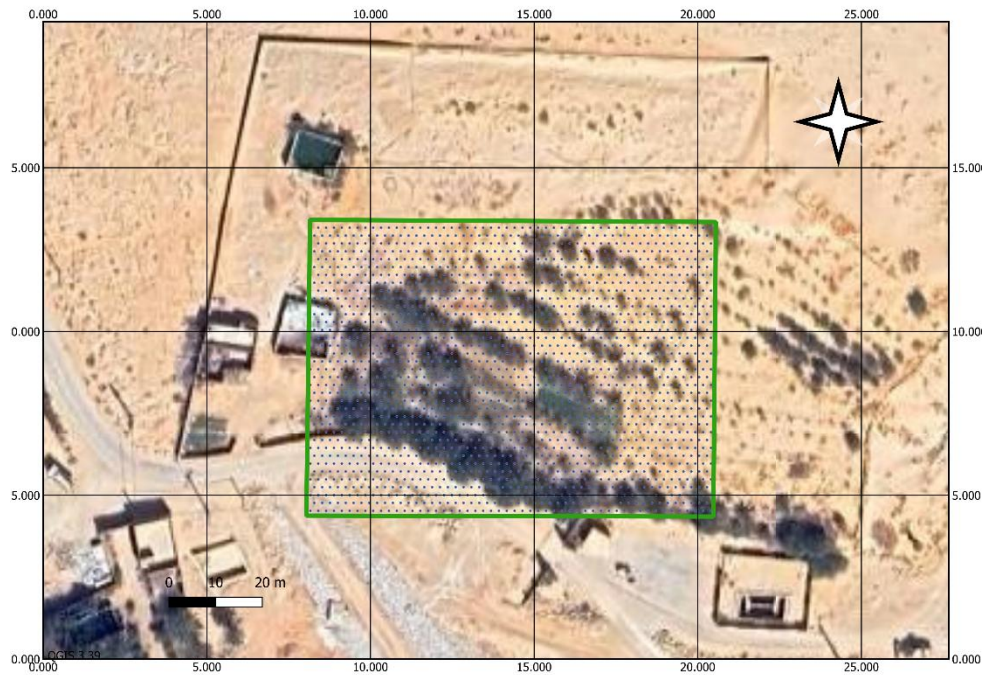


Figure 9 : Localisation du site d'étude (Adjila. Cheikhi .2025)

3.- Échantillonnage

L'échantillonnage a été réalisé entre les mois de janvier et février 2025. Une méthode d'échantillonnage aléatoire a été adoptée, portant sur un total de 80 points d'échantillonnage de sol, répartis équitablement entre 40 échantillons prélevés avant irrigation et 40 après irrigation. Les prélèvements ont été effectués à une profondeur de 0 à 30 cm à l'aide d'une tarière. Il convient de préciser que l'irrigation est assurée par un puits traditionnel .

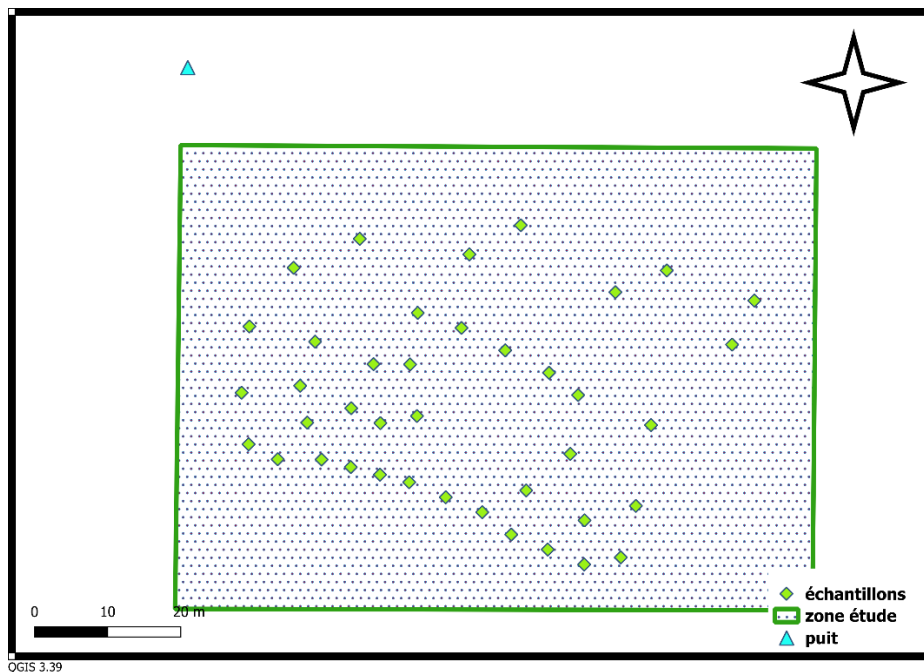


Figure 10: position des échantillons du sol (Adjila. Cheikhi .2025)

4.- Analyses au laboratoire

Le protocole de préparation des échantillons de sol au laboratoire a débuté par un séchage à l'air ambiant, une étape cruciale pour éliminer toute trace d'humidité. Ensuite, un tamisage précis à 2 mm a permis d'homogénéiser les échantillons et de les débarrasser des matériaux grossiers. Ces échantillons ainsi conditionnés étaient alors aptes à être analysés en laboratoire afin de caractériser leurs propriétés physico-chimiques, notamment le pH, la conductivité électrique et la matière organique (par la méthode de Walkley-Black).

4.1.- Analyses du sol

4.1.1- Mesure du pH

Le pH du sol a été mesuré à l'aide d'un pH-mètre dans une suspension sol-eau distillée avec un rapport de 1:5 (10 grammes de sol pour 50 millilitres d'eau distillée). Le mélange a été agité à l'aide d'un agitateur avant la lecture.

4.1.2.- Mesure de la conductivité électrique

La conductivité électrique de l'extrait de sol saturé a été mesurée à l'aide d'un conductimètre, en tant qu'estimation de la salinité du sol (préparation : 10 grammes de sol pour 50 millilitres d'eau distillée, agités avant la lecture).

4.1.3.- Carbone organique

L'analyse de la matière organique débute par la pesée de 1,0 g de sol séché à l'air dans un erlenmeyer de 500 ml. On procède à l'ajout de 10 mL de $K_2Cr_2O_7$ 0,167 M, suivi d'une agitation douce pour disperser l'échantillon. Vingt millilitres d' H_2SO_4 concentré sont ensuite ajoutés rapidement et avec précaution, en dirigeant le jet dans la suspension, puis le mélange est agité (doucelement initialement, puis vigoureusement pendant 1 min). L'erlenmeyer est incubé pendant 30 minutes sur une surface isolée sous hotte pour minimiser la perte de chaleur. Après refroidissement, 200 mL d'eau sont ajoutés. L'indicateur choisi (o-phénanthroline ou sulfonate de diphénylamine de baryum) est ajouté (3-4 gouttes), et la solution est titrée avec une solution ferreuse 0,5 M. Le titrage avec la "ferroïne" se termine par un changement de couleur brusque du bleu au rouge (brun sur fond blanc), précédé d'une transition verdâtre puis vert foncé. Le pourcentage de carbone organique est alors calculé, et la matière organique est estimée à partir de cette valeur.

4.2.- Analyses d'eau

L'échantillon d'eau analysé provient d'un forage unique situé dans la zone d'étude. Il a été prélevé dans le but d'évaluer sa qualité en vue de son utilisation pour l'irrigation. L'analyse a été réalisée au laboratoire de l'Algérienne des Eaux (ADE) de Ghardaïa selon un protocole rigoureux, reposant sur des méthodes normalisées garantissant la fiabilité des résultats. Les paramètres physico-chimiques mesurés sont les suivants :

- ✚ Conductivité électrique (C.E.) à 25°C : Mesurée au conductimètre, cette analyse permet d'évaluer la salinité globale de l'eau.
- ✚ pH : Mesuré à l'aide d'un pH-mètre à électrode en verre afin de déterminer l'acidité ou l'alcalinité de l'échantillon.
- ✚ Cations calcium (Ca^{2+}) et magnésium (Mg^{2+}) : Dosés par spectrophotométrie à absorption atomique.
- ✚ Cations sodium (Na^+) et potassium (K^+) : Dosés par spectrophotométrie à flamme.
- ✚ Chlorures (Cl^-) : Déterminés par la méthode argentométrique de Mohr, basée sur la précipitation des ions Cl^- sous forme de chlorure d'argent (AgCl) en présence de nitrate d'argent (AgNO_3).
- ✚ Sulfates (SO_4^{2-}) : Dosés par méthode gravimétrique utilisant une solution de chlorure de baryum (BaCl_2) à 10 %, permettant la précipitation des sulfates sous forme de sulfate de baryum (BaSO_4).
- ✚ Bicarbonates (HCO_3^-) : Déterminés par titrimétrie à l'acide sulfurique (H_2SO_4) en présence de méthylorange comme indicateur coloré.

5.- Analyses statistiques

5.1.-Statistiques descriptives

Dans le cadre de l'analyse des données, les statistiques descriptives jouent un rôle fondamental. Elles regroupent l'ensemble des méthodes servant à organiser, résumer et présenter les données de façon claire et significative. Elles comprennent notamment les mesures de tendance centrale (moyenne, médiane) ainsi que les mesures de dispersion (étendue, écart-type), permettant ainsi une première lecture des caractéristiques d'un ensemble de données (DROZ, 2018).

5.2.- Coefficient de variation

Parmi les indicateurs statistiques relatifs, le coefficient de variation (CV) est un outil pertinent pour comparer la dispersion entre différentes séries de données. Il se calcule en divisant l'écart-type par la moyenne, puis en multipliant le résultat par 100 pour l'exprimer en pourcentage. Ce coefficient permet d'apprécier la variabilité relative indépendamment de l'unité de mesure. Afin d'interpréter sa valeur, on se réfère généralement à des classes d'intensité (DROZ, P. (2018) :

-  $CV < 15 \%$: faible variation (homogénéité importante)
-  $15 \% \leq CV < 30 \%$: variation modérée
-  $30 \% \leq CV < 60 \%$: variation forte
-  $CV \geq 60 \%$: très forte variation (hétérogénéité marquée) .

6.- Modélisation géostatistique.

La modélisation géostatistique est une approche statistique utilisée pour analyser et prédire la distribution spatiale des phénomènes dans des domaines tels que l'environnement, l'agriculture, la géologie ou l'épidémiologie. Elle repose sur l'hypothèse que les données collectées dans un espace géographique sont corrélées en fonction de leur proximité. L'objectif principal de la géostatistique est de modéliser cette dépendance spatiale pour estimer des valeurs inconnues à partir d'un ensemble de données échantillonnées. CHILES & DELFINER, 2012).

Cette méthode utilise des outils comme les variogrammes, qui permettent d'analyser la structure de la variance spatiale, et les krigeages, une technique d'interpolation permettant de prédire les valeurs d'une variable à des endroits où les données manquent, en tenant compte de la corrélation spatiale (CHILES & DELFINER, 2012).

6.1.- Krigeage

La théorie du krigeage a été mise au point par le mathématicien français Georges Matheron, en s'inspirant des travaux de l'ingénieur minier sud-africain Daniel Krige. Dans les années 1950, ce dernier a développé des méthodes statistiques empiriques pour estimer la répartition des minerais à partir de données issues de forages (Bossier, 2012).

Le krigeage est une méthode géostatistique utilisée pour modéliser l'espace à partir de données éparées. Elle permet de produire une représentation cohérente et continue des phénomènes étudiés. Son principe fondamental repose sur l'estimation de la valeur d'une variable régionalisée en un point non mesuré, en combinant linéairement les valeurs observées aux points voisins (HENNEQUI, 2010). Dans les années 1980, le krigeage a été utilisé en cartographie numérique ainsi qu'en modélisation géométrique. À partir des années 1990, son usage s'est étendu à plusieurs domaines d'application tels que le secteur pétrolier, l'environnement et la mécanique (BOURGEOIS, 2006).

L'un des principaux avantages du krigeage est qu'il fournit le meilleur estimateur linéaire possible, en minimisant la variance de l'estimation. Il permet également de corriger les biais liés aux échantillonnages préférentiels, tout en offrant des intervalles de confiance plus précis que ceux obtenus par les méthodes statistiques classiques (BERNARD-MICHEL, 2006).

Le krigeage se distingue par une interpolation non biaisée, associée à une variance minimale. Les poids attribués aux observations dépendent non seulement de leur position géographique, mais surtout de leur structure de dépendance spatiale (BEN SALAH, 2014).

Il existe plusieurs variantes de krigeage (KRESSE et DANKO, 2012), parmi lesquelles les plus connues sont : le krigeage simple, le krigeage ordinaire et le krigeage universel (GRATTON, 2002 ; BAILLARGEON, 2005). Dans le cadre de notre travail, nous avons opté pour le krigeage ordinaire, car il s'agit de la méthode la plus couramment utilisée (GRATTON, 2002 ; OSAMA et al., 2005 ; LI et al., 2012).

6.2.- Réalisation des cartes thématiques.

La cartographie thématique s'inscrit dans le cadre plus large de la représentation cartographique. Elle consiste à produire des représentations graphiques spécifiques qui illustrent les relations spatiales entre un ou plusieurs phénomènes ou thématiques (ZANIN CH,2006).

Lorsque les variables présentent une structure spatiale, leur cartographie peut être réalisée à l'aide de la méthode du krigeage (LAURENT et ROSSI, 1997). Dans ce travail, les cartes thématiques des différents paramètres étudiés ont été élaborées à l'aide du logiciel ArcGIS 10.8.

Chapitre II.

Résultats et Discussions



Chapitre II. Résultats et discussions.

1.- Caractéristiques des eaux d'irrigation.

Les eaux souterraines constituent une ressource précieuse et stratégique dans les régions arides et semi-arides de l'Algérie, notamment dans les zones sahariennes où les précipitations sont rares et irrégulières. Dans ces régions, l'agriculture repose essentiellement sur l'exploitation des nappes phréatiques et artésiennes, comme celles du Continental Intercalaire et du Continental Terminal, qui s'étendent sous une grande partie du Sahara algérien (notamment dans les wilayas d'Adrar, Ouargla, Ghardaïa, et El Oued). Cependant, l'utilisation intensive de ces eaux pour l'irrigation peut poser des problèmes de salinisation des sols et de dégradation de la qualité de l'eau, d'où l'importance de leur caractérisation physico-chimique afin de garantir une gestion durable et efficace des ressources hydriques. (DJEDJIGA et *al.*, 2017)

1.1.- Les paramètres physico-chimiques des eaux d'irrigation.

L'étude des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines est essentielle pour évaluer la qualité de l'eau et sa pertinence pour l'irrigation, en particulier dans les zones sahariennes où les ressources en eau sont limitées. Ces paramètres incluent les éléments suivants :

Tableau 03 :Analyses de l'eau d'irrigation

EC (dS/m)	Na ⁺⁺ (meq/L)	Ca ⁺⁺ (meq/L)	Mg ⁺⁺ (meq/L)	K ⁺ (meq/L)	%N a	SAR(meq/L)	So4(mg/L)	TH(mg/L)
6.06	21.74	21.32	31.2	0.71	29	4.24	1	2624
pH	NH4 ⁺ (mg/L)	Fer (mg/L)	Td	HCO ₃ (mg/L)	T°	Cl (mg/L)	Sal (mg/L)	NO ₂ (mg/L)
7,2	0.014	0.194	0.300	302.56	16.1	1097.62	3.7	0

Les résultats de l'analyse de l'eau d'irrigation montrent un pH de 7,2, indiquant une eau neutre à légèrement basique. La conductivité électrique (CE) est très élevée (6060 μ S/cm), ce qui révèle une forte salinité. L'indice d'adsorption du sodium (SAR) atteint une valeur de 4,24, signalant un risque modéré de sodification des sols, notamment en présence de fortes concentrations en sodium et en sels totaux.

Par ailleurs, les analyses révèlent des teneurs élevées en sodium, chlorures, sulfates, calcium, magnésium et bicarbonates. Pour le potassium il présente un niveau modéré, tandis que les composés azotés restent faibles mais doivent être surveillés. Enfin, l'eau présente une dureté

totale extrêmement élevée (2624 mg/L) et une faible turbidité (0,3 NTU), ce qui reflète une eau claire mais fortement minéralisée.

1.1.1.- Diagramme de Wilcox.

Le diagramme de Wilcox (WILCOX, 1955) est utilisé pour évaluer la qualité des eaux d'irrigation à partir de la conductivité électrique (CE) et du pourcentage de sodium (Na%). Ce graphique permet de déterminer l'aptitude de l'eau à l'irrigation en fonction de sa salinité et de son alcalinité relative (WILCOX, L. V. 1955)

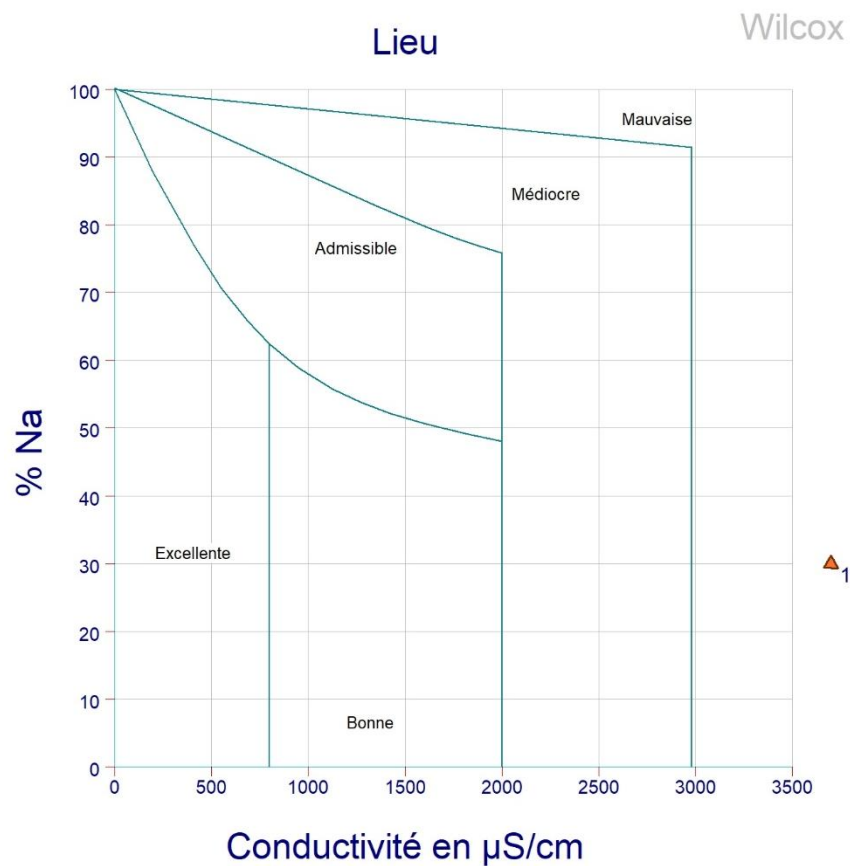


Figure 11 : Évaluation de la qualité d'eaux d'irrigation dans la région d'étude (Diagramme de WILCOX)

L'eau analysée est classée comme de mauvaises qualités pour l'irrigation selon wilcox, en raison de sa salinité et de sa teneur élevée en sodium

1.1.2.- Diagramme de RIVERSIDE (1954).

Le diagramme de Riverside (U.S. Salinity Laboratory Staff, 1954) est utilisé pour évaluer la qualité des eaux d'irrigation en fonction de la conductivité électrique (CE) et du rapport d'adsorption du sodium (SAR). Il permet de déterminer les risques liés à la salinité et à l'alcalinité sodique sur les sols et les cultures (U.S. 1954)

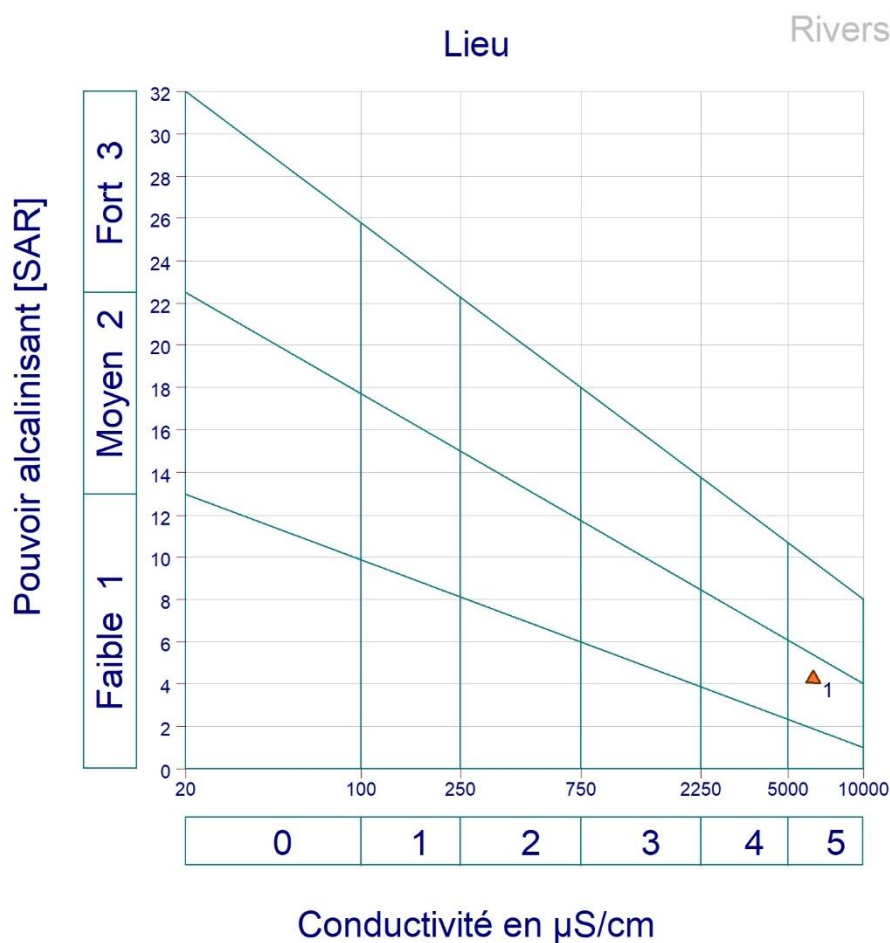


Figure 12 : Classification d'eaux d'irrigation dans la région d'étude (Diagramme de RIVERSIDE)

L'eau analysée présente une salinité très élevée (C5) et un faible pouvoir alcalinisant (S1), ce qui la rend inadaptée à l'irrigation sans traitement en raison de sa salinité. Bien que le risque d'alcalinisation soit faible, l'utilisation prolongée de cette eau sans mesures correctives peut provoquer une accumulation de sels dans le sol et une dégradation de sa structure.

1.1.3 Diagramme de PIPER.

La représentation graphique des résultats d'analyses est un outil important pour identifier les faciès chimiques et pour donner une idée des aspects qualitatifs d'eau d'irrigation. Pour atteindre cet objectif, on a eu recours au diagramme de Piper. La réalisation de ce diagramme a été faite en utilisant le logiciel DIAGRAMMES 6.5 (SIMLER, 2012). Il est composé de deux triangles, l'un pour le faciès cationique et l'autre pour le faciès anionique.

Au vue les résultats présentent dans la figure 13. L'eau d'irrigation analysée dans notre puits présente un faciès des anions chloruré, d'après le diagramme de PIPER (6.5). Par contre les échantillons analysés ne présentent pas de cations dominants. Ce type d'eau peut résulter du mélange de plusieurs sources.

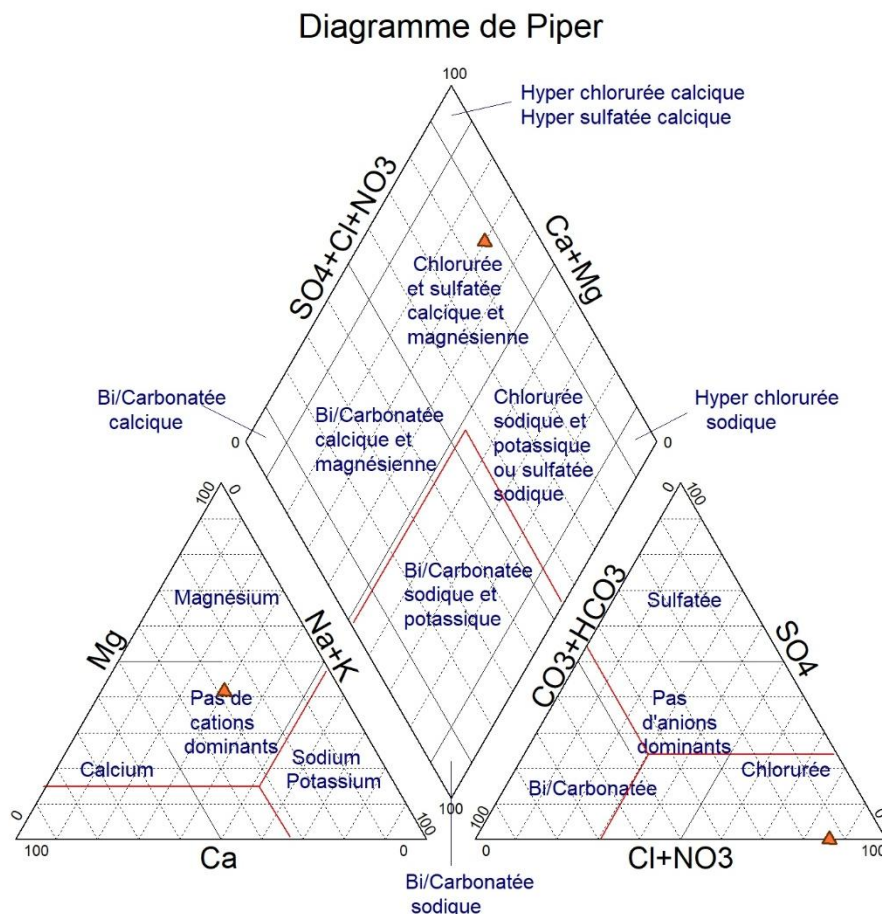


Figure 13 : Diagramme de PIPER pour l'eau d'irrigation de la région d'étude

2.- Etude de carbone organique du sol.

Dans les zones arides et semi-arides, les sols sont généralement pauvres en matière organique en raison des faibles apports de biomasse végétale et de la décomposition rapide sous l'effet de températures élevées (BATIONO et *al.*, 2007). L'étude du carbone organique du sol selon la méthode de Walkley et Black a été réalisée jusqu'à une profondeur de 0 à 30 cm, à partir de 40 échantillons avant et après l'irrigation.

L'analyse statistique a principalement porté sur la détermination de la loi de distribution des variables, qui sont non uniformes et hétérogènes, ainsi que sur le calcul de leurs principaux paramètres statistiques, à savoir la moyenne, l'écart-type et le coefficient de variation.

2.1.-Etude de carbone organique du sol avant l'irrigation.

Les résultats relatifs à C % avant l'irrigation sont présentés dans le tableau 04.

Tableau 1 : Statistiques descriptives de C % avant irrigation

Nombre d'échantillons	40
Moyenne	0,28
Écart-type	0,18
Minimum	0,09
Maximum	0,76
Coefficient de variation	64,28

D'après la zone de sol étudiée, le tableau 04 indique que les teneurs en carbone organique est en moyenne de 0,28, avec une valeur minimale de 0,09 et une valeur maximale de 0,76. L'écart-type est de 0,18, ce qui, combiné à un coefficient de variation de 64,28 %, indique une variabilité spatiale élevée du carbone organique dans les sols étudiés. Cette teneur moyenne témoigne d'un sol globalement pauvre en matière organique.

2.2. Réalisation des cartes thématique

Les approches géostatistiques offrent un cadre rigoureux pour modéliser et interpréter la distribution spatiale des paramètres de sol. En particulier, l'analyse du variogramme expérimental et l'application de l'interpolation par krigeage permettent non seulement de quantifier le degré de dépendance spatiale, mais aussi de produire des cartes continues des paramètres de sol à partir de données ponctuelles (GOOVAERTS, 1997). Dans ce contexte,

cette étude vise à appliquer la modélisation géostatistique pour analyser la distribution spatiale dans une zone agricole donnée, en vue d'identifier les zones de variabilité, d'en comprendre les causes potentielles, et de fournir des bases scientifiques solides pour une meilleure prise de décision agronomique. (MORAL *et al.*, 2010) .

2.2.1.-Cartographie par krigeage.

Une interpolation spatiale a été réalisée à l'aide de la méthode du krigeage pour établir la carte de la variabilité spatiale du carbone organique avant l'irrigation.

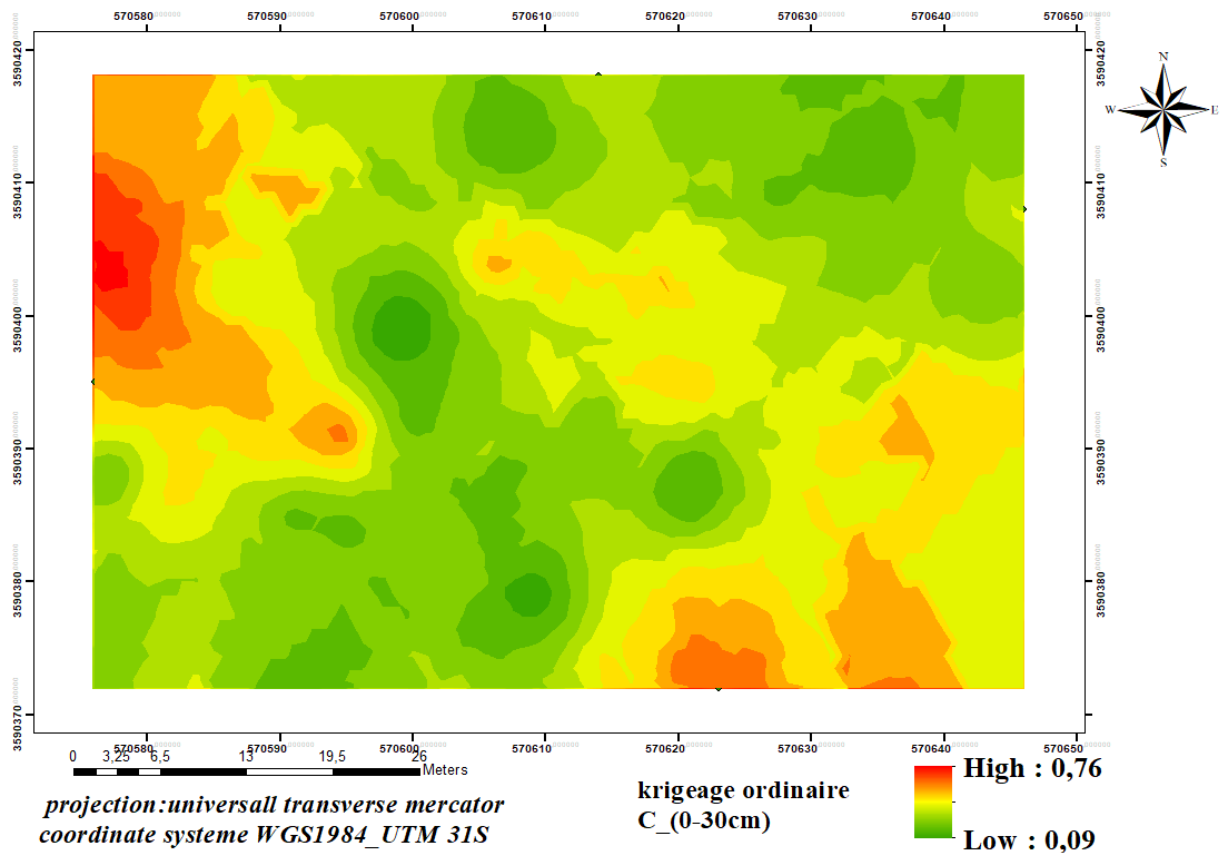


Figure 1 : Carte de variabilité spatiale du carbone organique avant l'irrigation.

La carte (Fig.14) montre le carbone organique avant l'irrigation varie entre 0,09 à 0,76 ce qui signifie que le sol est très pauvre, Les valeurs les plus élevées se trouvent dans le nord-ouest et un peu au sud-est de la palmeraie. Le coefficient de variation est de l'ordre de 64,28% dans la palmeraie, ce qui montre une variation spatiale élevée.

2.3.-Etude de carbone organique du sol après l'irrigation.

Les résultats relatifs à C % après l'irrigation sont présentés dans le tableau 05.

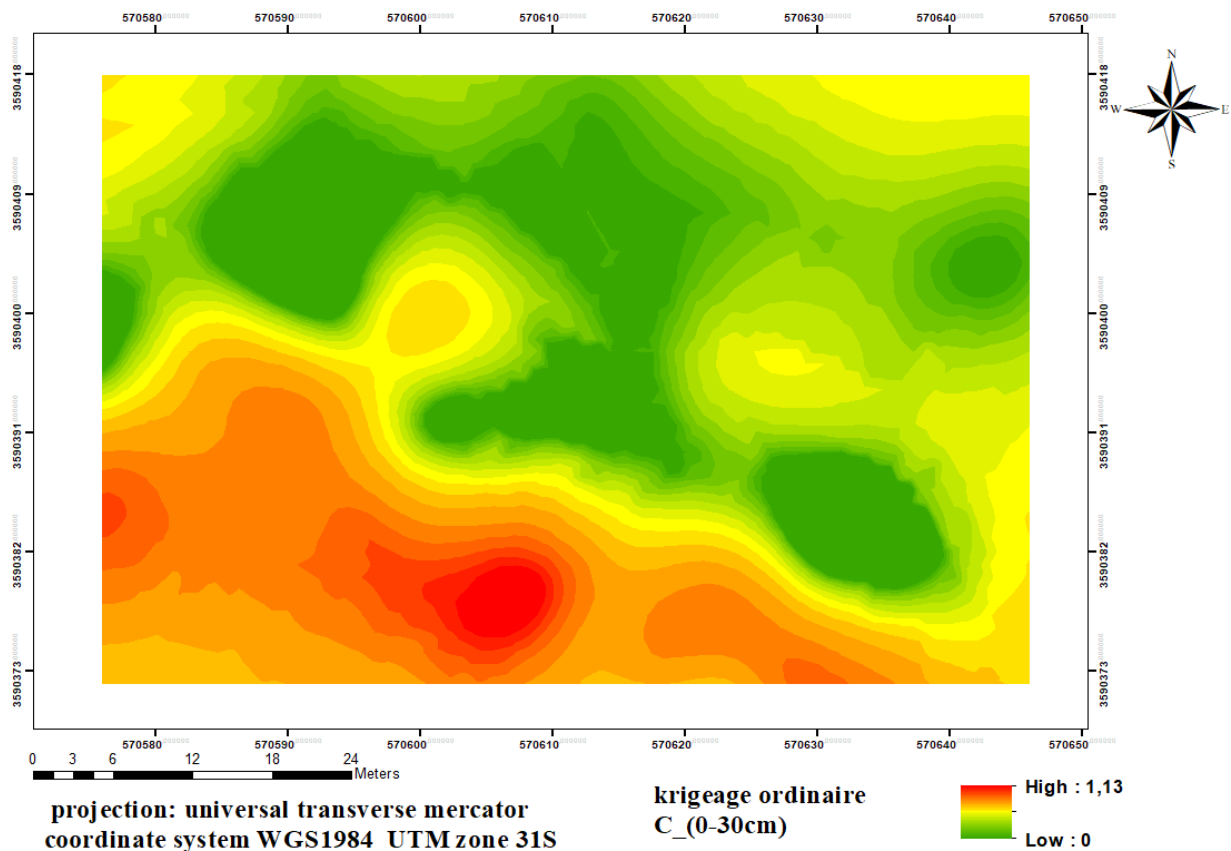
Tableau 02. Statistiques descriptives de C % après irrigation

Nombre d'échantillons	40
Moyenne	0,39
Écart-type	0,37
Minimum	0
Maximum	1,13
Coefficient de variation	95,86

D'après les résultats obtenus pour la zone de sol étudiée, les teneurs en carbone organique présentent une moyenne de 0,39, avec une valeur minimale de 0,00 et une valeur maximale de 1,13. L'écart-type s'élève à 0,37, traduisant, associé à une forte amplitude des valeurs, une variabilité élevée marquée du carbone organique dans les sols de 95,86%. Cette moyenne relativement faible indique que les sols de la zone sont dans l'ensemble, pauvres en matière organique.

2.4.- Réalisation des cartes thématique.

2.4.1.- Cartographie par krigeage.

**Figure 2 :** Carte de variabilité spatiale du carbone organique après l'irrigation.

La carte (Fig.09) montre le carbone organique après l'irrigation varie entre 0 à 1,13 et de moyenne de 0,39 qui signifie que le sol est très pauvre. Les valeurs les plus élevées se trouvent dans le sud de la palmeraie. Le coefficient de variation est de l'ordre de 95,86% dans la palmeraie, ce qui montre une variation spatiale très élevée.

2.5.-Test de comparaison (WILCOXON).

Afin d'évaluer l'effet de l'irrigation sur le contenu en carbone organique dans le sol, un test de Wilcoxon signé a été appliqué aux mesures réalisées avant et après l'irrigation.

Tableau 06.- Résultats du test de Wilcoxon (C).				
Wilcoxon Matched Pairs Test (Spreadsheet123) Marked tests are significant at p <0,05				
Comparaison	Valid-N	T	Z	p-value
C Avant & C Après	39	292,5	1,360612	0,173637

Les résultats indiquent qu'aucune différence significative n'a été observée pour le carbone organique (C : $p = 0,17$). Ces résultats suggèrent que l'irrigation, dans les conditions expérimentales de cette étude, n'a pas entraîné de modification mesurable du carbone du sol à court terme.

2.6.- Discussion

L'analyse des résultats avant et après irrigation met en évidence une évolution notable du carbone organique du sol (COS) dans la zone d'étude aride. La moyenne est passée de 0,28 % à 0,39 %, accompagnée d'une forte augmentation de la variabilité spatiale (coefficient de variation de 64,28 % à 95,86 %). Cette variation ne traduit pas une augmentation homogène du COS sur l'ensemble de la parcelle, mais plutôt une redistribution spatiale différenciée, influencée par plusieurs facteurs pédologiques et topographiques.

Les cartes d'interpolation montrent que les teneurs les plus élevées après irrigation se concentrent dans les zones basses, notamment au sud de la palmeraie. Ce déplacement du carbone vers l'aval peut être attribué à l'effet du ruissellement gravitaire, favorisé par la pente du terrain et la technique d'irrigation utilisée. Comme le rapportent Doetterl et al. (2012), le transport des particules fines, souvent riches en matière organique, vers les bas-fonds est un mécanisme fréquent en milieu incliné, contribuant à la redistribution latérale du COS dans le sol.

La zone sud, ombragée et riche en palmiers, présente des teneurs élevées en COS. Cet enrichissement s'explique par un apport accru en litière végétale et une réduction de la décomposition due à l'ombrage. Cette stabilisation du carbone est favorisée par des conditions microclimatiques protectrices (Six et al., 2002 ; Lal, 2004 ; Chivenge et al., 2007). En revanche, les zones proches du puits montrent des teneurs faibles en COS malgré l'irrigation directe. Cette situation est attribuée à une pente marquée, un ruissellement fort et une faible couverture végétale, qui favorisent l'érosion et le lessivage du carbone. Une irrigation mal maîtrisée peut ainsi provoquer des pertes de COS (Smith et al., 2023).

Les propriétés physico-chimiques du sol influencent également la répartition du carbone. Une texture sableuse favoriserait l'infiltration rapide et limiterait la rétention du COS (Brady & Weil, 2008). L'accumulation locale de sels, révélée par la conductivité électrique, nuit à l'activité biologique (Mavi & Marschner, 2013), tandis que le pH alcalin ralentit la décomposition (Baize, 2000 ; Soltner, 1989).

En résumé, l'irrigation contribue à une redistribution du carbone plutôt qu'à une accumulation uniforme. Les zones de convergence hydrique, en aval, bénéficient d'une plus grande stabilisation du COS. Cela montre l'importance d'intégrer les facteurs topographiques, biologiques et hydrologiques pour une gestion durable des sols arides.

3.- Etude de conductivité électrique.

Les résultats d'analyses du CE du sol avant et après l'irrigation dans la zone étudiée sont présentés synthétiquement dans le tableau 06.

Tableau 07.- Statistiques descriptives de CE (dS/m)

C.E. à 25°C (dS/m)	Avant	Après
Nombre d'échantillons	40	40
Moyenne	0,07	0,07
Écart-type	0,04	0,05
Minimum	0,02	0,02
Maximum	0,28	0,31
Coefficient de variation	57,14	71,42

Les données de tableau (06) comparant la situation avant et après l'irrigation montrent que la moyenne des valeurs mesurées reste stable à 0,07, Toutefois, une augmentation de l'écart-type (de 0,04 à 0,05) ainsi qu'une hausse notable du coefficient de variation (de 57,14 % à

71,42 %) indiquent une plus grande dispersion des résultats après l'irrigation. Bien que les valeurs minimale 0,02 ds/m restent relativement stables et maximale légèrement augmentée de 0,28 à 0,31ds/m.

3.1.- Réalisation des cartes thématique.

3.1.1.- Cartographie par krigeage.

La cartographie de la conductivité électrique (CE) du sol constitue une étape essentielle pour visualiser et comprendre la variabilité spatiale de cette propriété. Parmi les méthodes d'interpolation disponibles, le krigeage est l'outil géostatistique le plus utilisé.

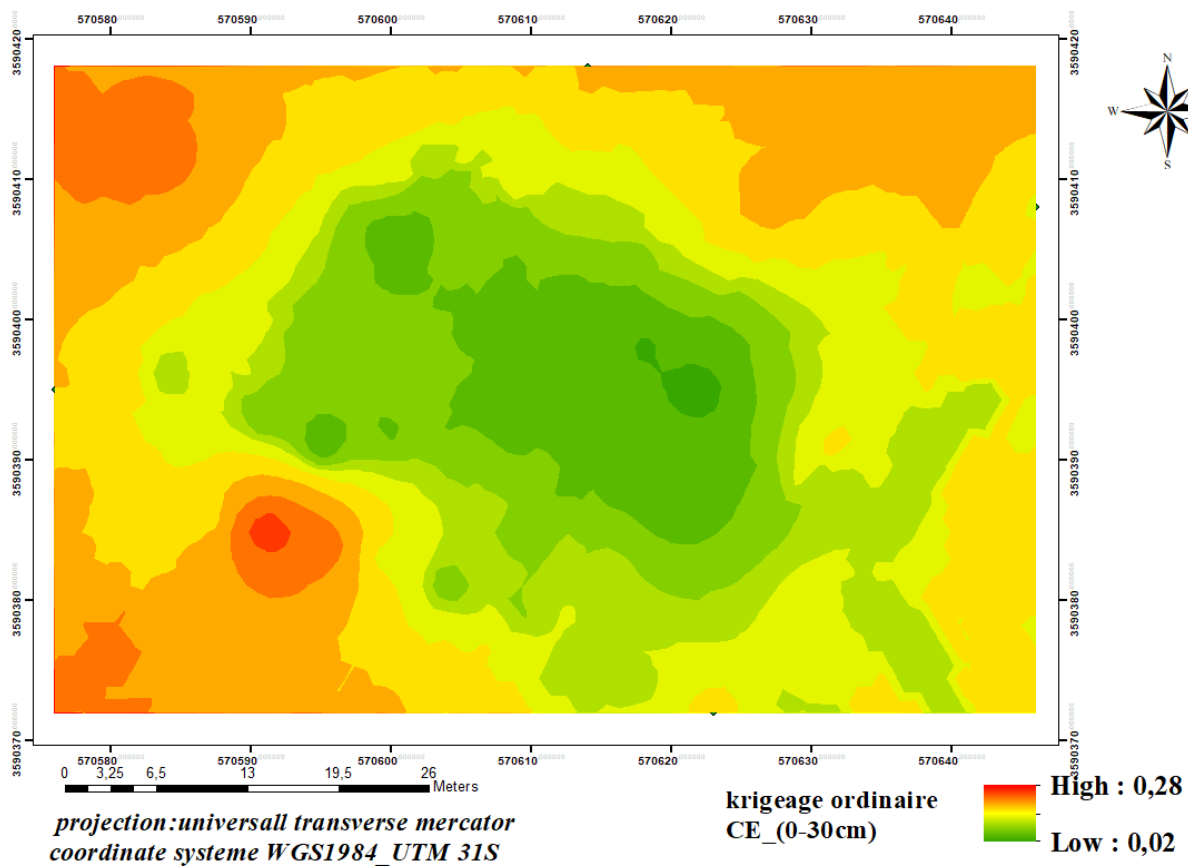


Figure 16 : Carte de variabilité spatiale de CE avant l'irrigation.

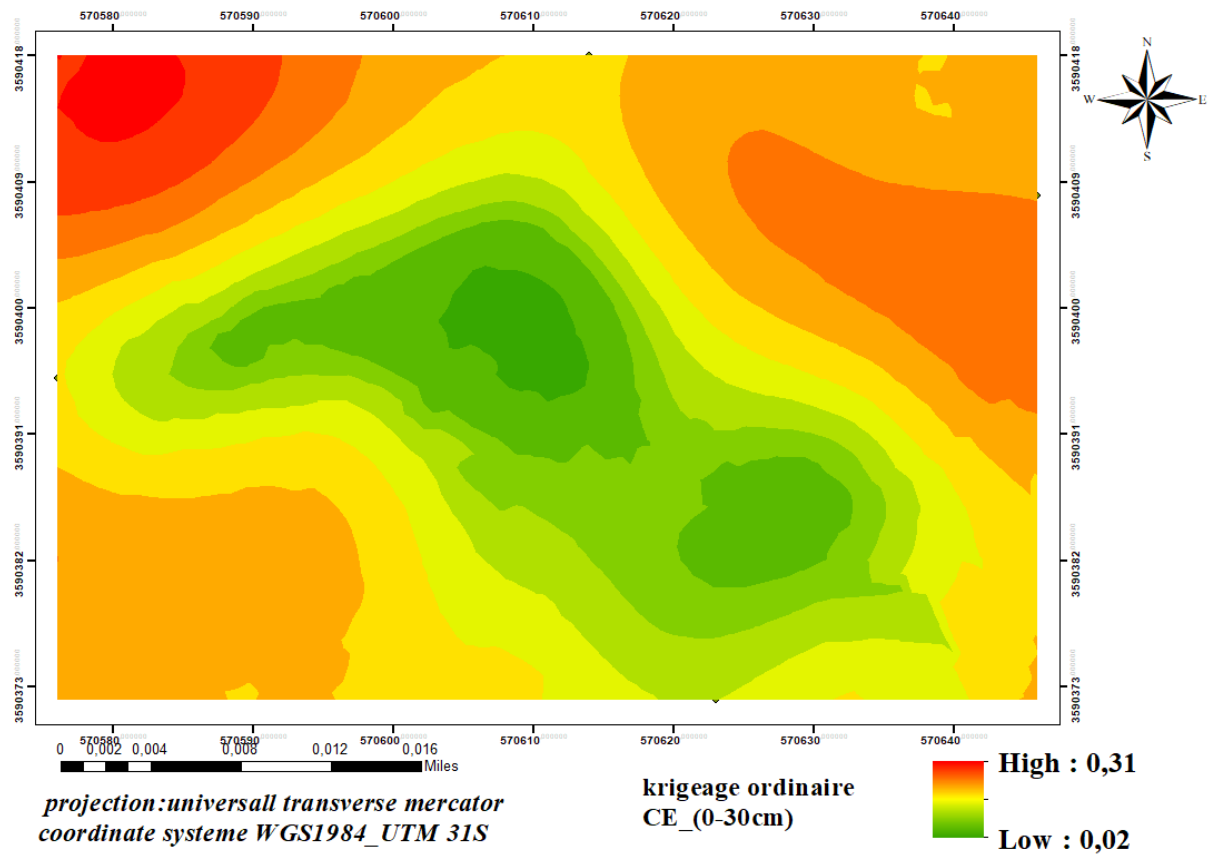


Figure 17 : Carte de variabilité spatiale de CE après l'irrigation

La carte (Fig. 16) représente la conductivité électrique du sol avant et après l'irrigation dans la zone d'étude. La carte montre une zone centrale largement verte, représentant des valeurs basses de CE 0,02 ds/m, d'autre part les valeurs élevées situées sur les côtés, ils sont situés dans le nord-ouest et un peu nord-est et dans le sud-ouest 0,28 ds/m avant l'irrigation et spécialement augment après l'irrigation 0,31 ds/m (GOOVAERTS, 1997).

3.2.- Test de comparaison (WILCOXON).

Afin d'évaluer l'effet de l'irrigation sur la conductivité électrique dans le sol, un test de Wilcoxon signé a été appliqué aux mesures réalisées avant et après l'irrigation.

Tableau 08.- Résultats du test de Wilcoxon (CE).

Wilcoxon Matched Pairs Test (Spreadsheet123) Marked tests are significant at $p < 0,05$				
Comparaison	Valid-N	T	Z	p-value
CE Avant & CE Après	35	300,5	0,237498	0,812271

Les résultats indiquent qu'aucune différence significative n'a été observée pour la conductivité électrique (CE : $p = 0,81$). Ces résultats suggèrent que l'irrigation, dans les conditions expérimentales de cette étude, n'a pas entraîné de modification mesurable du CE du sol à court terme.

3.3.- Discussion.

La conductivité électrique du sol est la mesure de la capacité du sol à conduire un courant électrique. Elle est directement liée à la concentration des ions solubles dans la solution du sol, comme les cations (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) et les anions (Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^-). Elle s'exprime en décisiemens par mètre (dS/m) et sert d'indicateur de la salinité globale du sol (Rhoades, 1996). Nos résultats ont montré que le sol de la palmeraie est non salé ou conductivité électrique présente des valeurs varie de 0,02 à 0,28 dS/m avant l'irrigation, 0,02 à 0,31 dS/m après l'irrigation.

La conductivité électrique (CE) est une mesure directe de la salinité, ce qui permet d'estimer indirectement la concentration en sels solubles d'un sol. Les échantillons ont été prélevés dans la couche 0–30 cm du sol, ce qui correspond à la zone la plus exposée aux processus de lixiviation, en particulier après l'irrigation ou lors de précipitations. Le lessivage entraîne la migration des sels solubles vers les horizons plus profonds (BRADY & WEIL, 2008).

La faible salinité observée peut également être attribuée à la texture sableuse du sol, caractérisée par une forte perméabilité et une faible capacité de rétention d'eau. Les sols sableux facilitent l'infiltration rapide de l'eau, ce qui favorise le lessivage des sels vers les couches plus profondes, limitant ainsi leur accumulation en surface (BRADY & WEIL, 2008).

Les valeurs les plus élevées de conductivité électrique du sol ont été relevées à proximité du puits d'irrigation en nord-ouest, ce qui suggère une accumulation locale de sels.

L'analyse statistique a révélé un coefficient de variation (CV) élevé, estimé à 57 % avant irrigation et à 71 % après irrigation, ce qui indique une forte variabilité spatiale de la conductivité électrique du sol.

L'analyse spatiale des données de conductivité électrique montre une variabilité marquée de la salinité à la fois avant et après irrigation, ce qui suggère que la distribution des sels dans le

sol n'est pas uniforme. Les valeurs élevées de CE près du puits sont probablement dues à des facteurs locaux tels que l'irrigation concentrée dans cette zone (Tanji & Kielen, 2002).

4.-Etude de pH du sol.

Les résultats des analyses de la conductivité électrique (pH) du sol avant et après l'irrigation dans la zone étudiée sont synthétisés dans le tableau 09.

Tableau 09. Statistiques descriptives de pH

pH	Avant	Après
Nombre d'échantillons	40	40
Moyenne	8,42	8,78
Écart-type	0,50	0,49
Minimum	8	8
Maximum	9	9
Coefficient de variation	5,93	5,58

Les résultats (Tabl.09) révèlent un caractère basique pour l'ensemble des points d'échantillonnage, avec des valeurs extrêmes comprises entre 8 et 9. Les moyennes de pH oscillent entre 8,42 et 8,78, témoignant d'une homogénéité notable des sols analysés. Cette homogénéité est corroborée par les coefficients de variation (CV), tous inférieurs à 15 %, ce qui traduit une faible variabilité du pH dans les échantillons étudiés.

4.1.- Réalisation des cartes thématique.

4.1.1.-Cartographie par krigeage.

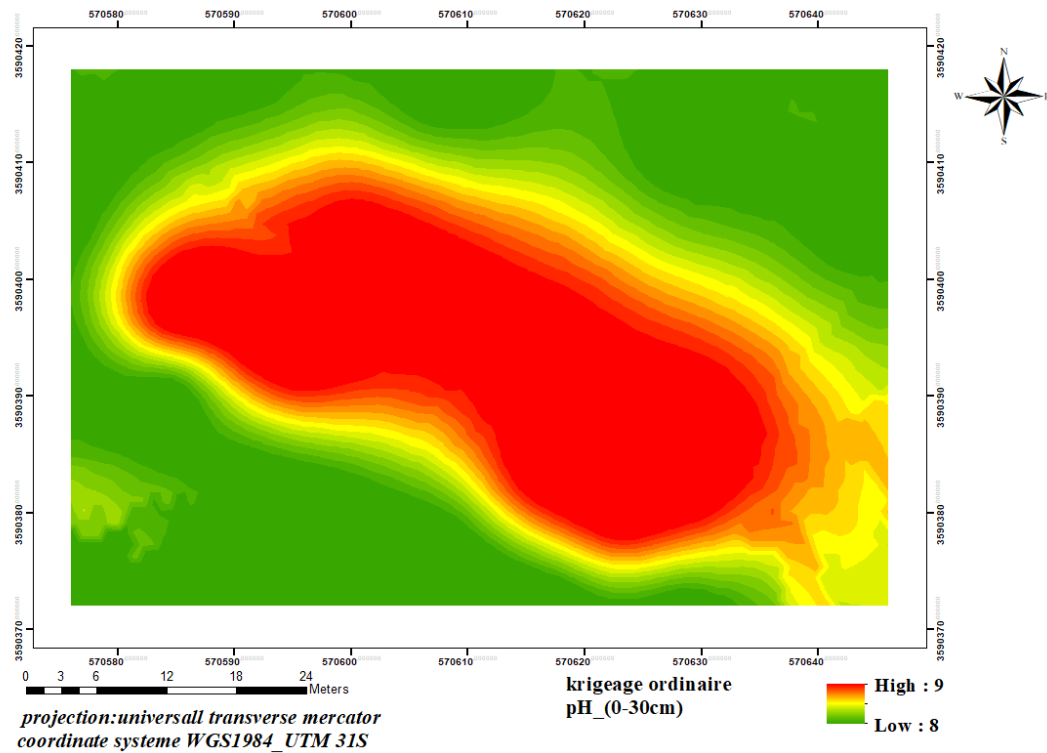


Figure 18 : Carte de variabilité spatiale du pH avant l'irrigation

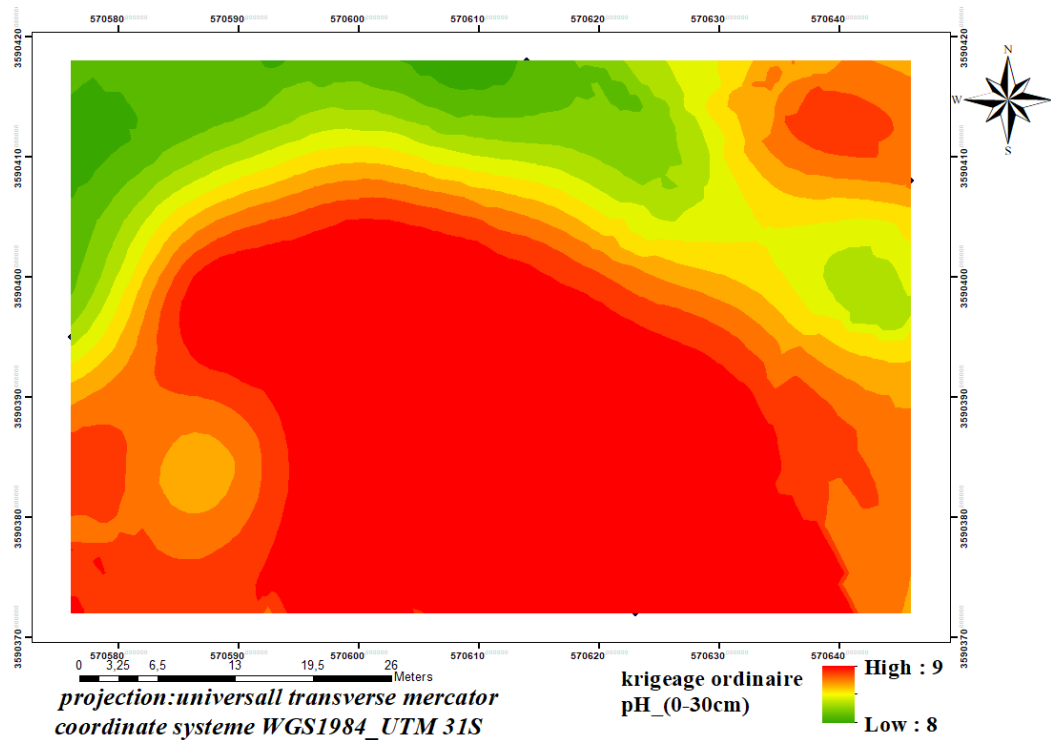


Figure 19 : Carte de variabilité spatiale du pH après l'irrigation

Les cartes (Fig. 18 et 19) illustrent la distribution spatiale du pH du sol avant et après l'irrigation. Avant l'irrigation, la zone centrale présente un pH élevé avoisinant 9 (en rouge), indiquant un caractère basique prononcé, tandis que les zones périphériques, au nord et au sud, affichent des valeurs légèrement inférieures, autour de 8 (en vert et jaune), correspondant également à un pH basique. Après l'irrigation, on observe une élévation généralisée du pH sur l'ensemble de la zone, avec une dominance de valeurs basiques marquées (teintes orange à rouge), en particulier dans le sud du périmètre étudié.

4.2.-Test de comparaison (WILCOXON).

Afin d'évaluer l'effet de l'irrigation sur le Ph dans le sol, un test de Wilcoxon signé a été appliqué aux mesures réalisées avant et après l'irrigation.

Tableau 10 : Résultats du test de Wilcoxon (pH).				
Wilcoxon Matched Pairs Test (Spreadsheet123) Marked tests are significant at p <0,05				
Comparaison	Valid-N	T	Z	p-value
pH Avant & pH Après	15	0	3,407771	0,000655

Les résultats ont montré une différence statistiquement significative pour le pH, indiquant que l'irrigation a entraîné une modification notable du taux de pH ($p = 0,0006$). Cette variation suggère un impact direct de l'apport hydrique sur la variation du pH dans le sol.

4.3.- Discussion.

Le pH constitue un paramètre fondamental dans la dynamique des sols. Il joue un rôle clé en agronomie, car son degré d'acidité ou d'alcalinité influence fortement l'assimilation des éléments nutritifs par les plantes. Il agit sur trois composantes essentielles de la fertilité du sol la biodisponibilité des nutriments, l'activité biologique et la stabilité structurale. Les variations du pH sont influencées par des facteurs tels que les fluctuations saisonnières, la capacité tampon du sol, l'état hydrique, la température du sol, ainsi que la présence ou non d'une culture en phase de croissance active (DINON et *al.*, 2008 ; BAIZE, 2000).

Les résultats d'analyses du pH du sol dans la zone d'étude, le pH du sol avoisine 9 dans avant et après l'irrigation, ce qui classe ces sols parmi les sols très alcalins (SOLTNER, 1989). Une telle valeur, nettement supérieure à 7,3, traduit la présence possible de carbonates libres, souvent responsables de chlorose ferrique, ou plus fréquemment de sodium fixé sur le complexe adsorbant (BOYER, 1978).

Ces niveaux de pH sont caractéristiques des sols des zones arides, où le pH varie généralement entre légèrement inférieur à 7 et environ 9 (DURAND, 1958 ; BUCKMAN & BRADY, 1965 ; BACI, 1982 ; HALITIM, 1988 ; BOUZID, 1993 ; DAOUD & HALITIM, 1994 ; DJILI et al., 2003 ; BENBRAHIM, 2001 ; BENBRAHIM et al., 2016).

La topographie explique l'élévation du pH en bas qu'influençant la circulation des sels alcalinisants le long du gradient (GUESSOUM, 2020).

Les cartes d'interpolation illustrant la distribution spatiale du pH avant et après l'irrigation montrent une dynamique notable. Avant l'irrigation, les valeurs les plus élevées de pH étaient localisées principalement au centre de la zone d'étude. Après l'irrigation, cette zone de pH élevé s'est étendue vers le sud, traduisant un élargissement de l'alcalinité dans cette direction. Les valeurs les plus faibles de pH ont, quant à elles, été observées de manière persistante dans le coin sud-ouest. Dans les deux situations, les coefficients de variation (CV) sont restés faibles, indiquant une faible variabilité spatiale du pH (5,93 % ,5,58%), conformément à la classification de NOLIN et al. (1997). Cette stabilité suggère que malgré l'impact hydrique le pH demeure un paramètre relativement homogène à l'échelle de la zone étudiée.

Conclusion

Cette étude, intitulée "L'effet de l'irrigation sur la distribution spatiale du carbone organique dans le sol de la région de El-Atteuf – Ghardaïa", vise à évaluer l'impact de l'irrigation traditionnelle sur la distribution spatiale du carbone organique et certaines propriétés chimiques du sol. La problématique est particulièrement pertinente dans un contexte saharien semi-aride, où les ressources en eau sont limitées et où les pratiques agricoles traditionnelles prédominent.

L'objectif principal de ce travail est d'analyser l'effet de l'irrigation à l'eau de puits sur le carbone organique, le pH et la conductivité électrique (CE) du sol, en s'appuyant sur une approche spatiale basée sur le SIG (ArcGIS). Pour cela, nous avons mené une campagne d'échantillonnage comprenant 80 échantillons prélevés sur 40 palmiers. Pour chaque palmier, deux échantillons ont été prélevés (avant et après irrigation) à une profondeur de 30 cm, selon une méthode aléatoire, dans un terrain à pente naturelle irrigué tous les trois jours.

Les analyses physico-chimiques ont porté sur les paramètres suivants : carbone organique, pH et conductivité électrique. L'eau d'irrigation a également été analysée au niveau de l'ADE et a révélé une salinité très élevée. Les résultats ont été traités et représentés spatialement à l'aide du logiciel ArcGIS afin d'interpréter la distribution des valeurs sur le terrain.

Les résultats avant l'irrigation montrent : Une moyenne de carbone organique de 0,28 % (min : 0,09 %, max : 0,76 %, CV : 64,28 %) pH : moyenne 8,42 (CV : 5,93 %) ; CE : moyenne 0,07 dS/m (CV : 57,14 %).

Les résultats après irrigation montrent : Le carbone organique augmente à 0,39 % en moyenne (min : 0 %, max : 1,13 %, CV : 95,86 %) ; Le pH monte légèrement à 8,78 ; CE reste à 0,07 dS/m mais avec un CV plus élevé (71,42 %).

L'analyse spatiale a révélé une accumulation du carbone organique dans les zones basses du terrain, ce qui indique un déplacement de la matière organique depuis les zones hautes sous l'effet de l'irrigation gravitaire. Ce phénomène, accentué par la pente du terrain, démontre l'importance de la topographie dans la répartition du carbone organique.

Ces résultats soulignent que l'irrigation joue un rôle double : elle enrichit le sol en matière organique dans certaines zones tout en créant une hétérogénéité spatiale marquée. Par ailleurs, l'utilisation d'une eau très salée contribue à l'alcalinisation du sol, ce qui peut, à long terme, nuire à sa fertilité.

Références bibliographiques

Références bibliographique

A.N.R.H., 2007- Rapport de l'Agence National Des Ressources Hydriques, Ghardaïa.

A.N.R.H., 2009. Note relative aux ressources en eau souterraines de la wilaya de Ghardaïa. Ed. Agen. Nati. Alg. Ress. Hydr. (A.N.R.H.), 19 p.

A.N.R.H., 2012. Note relative aux ressources en eau souterraines de la wilaya de Ghardaïa. Ed. Agen. Nati. Alg. Ress. Hydr. (A.N.R.H.), 19 p.

A.N.R.H., 2016. Le rapport de l'Agence nationale des ressources hydrauliques ''secteur de Ghardaïa'

ABOUNNEAU J., 1983 Préhistoire du M'Zab (Algérie-Wilaya de Laghouat). Thèse Doctorat de 3ème cycle en Art et Archéologie, Univ. Paris I, 268 p.

ADJILA, I .,2017 Caractérisation physico-chimique de la matière organique dans la région de Noumerate (Wilaya de Ghardaïa) (p. 41).

AMAT C., 1888 .Le M'Zab et les Mزابites. Ed. Challamel, Paris, 284p.

AYADI, H., et al. (2020). Assessment of irrigation water quality in arid regions of Algeria. Environmental Earth Sciences.

AYERS, R. S., & WESTCOT, D. W., 1985. Water Quality for Agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 29, Rev. 1.

BABAZ Y., 1992. Etude bioécologique des Orthoptères dans la région de Ghardaïa.Mémoire Ingénieur, Inst. agro. Univ. Sci. Tech., Blida, 91 p.

BACI, L., 1982. Contribution à l'étude de la salinisation des sols de Hodna (Wilaya de M'Sila). Mémoire d'Ingénieur, I.N.A Paris, 172p

BAILLARGEON S., 2005. Le krigeage : revue de la théorie et application à l'interpolation spatiale de données de précipitations. Thèse de Maîtrise, université Laval, Ste-Foy (Québec), Canada, 137p.

BAIZE, D., 1988. Guide des analyses courantes en pédologie (choix-expression-présentation- interprétation). I.N.R.A., Paris, 172 p.

BAGNOULS F., GAUSSEN H., 1953. Saison sèche xérothermique, Volume I. Carte des productions végétales, art. 8, Toulouse, 47p

BATIONO, A., WASWA, B., KIHARA, J., & KIMETU, J.,2007. Advances in integrated soil fertility management in sub-Saharan Africa: Challenges and opportunities. Nutrient Cycling in Agroecosystems.

BEN BRAHIM, F. (2001). Etude de l'effet saisonnier de la nappe phréatique sur la dynamique des sels solubles dans un sol cultivé et non cultivé dans la cuvette d'Ouargla. Mémoire d'ingénieur, Centre Universitaire d'Ouargla.

BEN SALAH F., 2014. Modélisation de la propagation des incertitudes des mesures sur l'aube d'une turbine hydraulique par Krigeage et simulations stochastiques. Thèse de doctorat, école de technologie supérieure, 155p.

BEN SEMAOUNE Y., 2008- Les parcours sahariens dans la nouvelle dynamique spatiale : contribution à la mise en place d'un schéma d'aménagement et de gestion de l'espace Th. Magistère, Univ. Ouargla. p 105.

BENBRAHIM, F., BENSLAMA, M., KEMASSI, A., DAREM, S., HAMEL, I., CHIKHI, F., & HALILAT, M. T. (2016). Evaluation de la durabilité de la céréaliculture sous pivot par l'étude de la salinisation du sol dans la région d'Ouargla. Ciência e Técnica Vitivinícola, 31(5), 107–123.

BENSLAMA A., 2021. Qualité des eaux d'irrigation et salinisation des sols dans une palmeraie dans la région de Ghardaïa – cas de Zelfana. Thèse de doctorat, université de ghardaïa,144p

BERNARD-MICHEL C., 2006. Indicateurs géostatistiques de la pollution des cours d'eau. 2006. Thèse de doctorat, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, 194p.

BIAD, R. (2022). Écologie du peuplement avien dans la Vallée du Mزاب (Ghardaïa, Sahara algérien) (pp. 7, 14).

BOUDHAR, A., *et al.* 2013. Étude de la qualité des eaux souterraines dans le Sahara algérien et ses implications pour l'agriculture. *Revue des Sciences de l'Eau*, 26(1), 1–13.

BOUHOUN, H., & ABISMAIL, I. 2022. Enquête sur les maladies de la vigne et pratiques de lutte dans la région de Ghardaïa (pp. 35–39).

BOUKRAA S., 2008 . Biodiversité des nématocères (Diptera) d'intérêt agricole et médico vétérinaire dans la région de Ghardaia. Thèse Ingénieur, Inst.nati.agro.,El Harrach, 119 p.

BOUZID, H., 1993. Contribution à l'étude de la dynamique de la salinité dans un sol sableux sous irrigation par pivot (Gassi Touil). Mémoire d'ingénieur d'Etat, I.N.F.S.A.S, Ouargla.

BOYER, J.,1978. Le calcium et le magnésium dans les sols des régions tropicales humides et subhumides. Edition O.R.S.T.O.M., Paris. 157 p.

BRADY, N. C., & WEIL, R. R., 2008. *The Nature and Properties of Soils* (14th ed.). Pearson.

BRONICK, C. J., & LAL, R., 2005. Soil structure and management: a review. *Geoderma*, 124(1–2), 3–22.

BUCKMAN, H. O., & BRADY, N. C., 1965. *The nature and properties of soils*. The Macmillan Company, New York, U.S.A.

CHEHMA A., 2006, Catalogues des plantes spontanées du Sahara septentrional algériens. Labo. Eco. Sys., Univ. Ouargla, 140 p.

CHEHMA A., DJEBAR M.R., HADJAIJI F. et ROUABEH L., 2005. Étude floristique spatio-temporelle des parcours sahariens du Sud- Est algérien. *Science planétaire / Sécheresse* .Vol. 16 (4), pp. 275-285

CHILES, J.-P., & DELFINER, P. 2012. *Geostatistics: Modeling Spatial Uncertainty* (2nd ed.). Wiley-Blackwell.

CHOBOUT A., 1898 - Voyage chez les Beni – M’Zab (Contribution à l’étude de la faune entomologique du Sahara Algérien). Ed. Avignon, Paris, 108 p.

DAOUD, Y., & HALITIM, A. 1994. Irrigation et salinisation au Sahara Algérien. *Sécheresse*, 5(3), 151–160.

DINON, E., & GERSTMANS. 2008. L’Influence du pH sur l’assimilation des éléments nutritifs du sol par les plantes et sur la variété des plantes. Université de Liège.

DJEDJIGA, H., et al. (2017). Hydrogeology and Water Quality of the Continental Intercalaire Aquifer in Southern Algeria. *Hydrology and Earth System Sciences*, 21(6), 2741–2754.

DJILI, K., DAOUD, Y., GAOUAR, A., & BELJOUDI, Z. 2003. La salinisation secondaire des sols au Sahara. Conséquences sur la durabilité de l’agriculture dans les nouveaux périmètres de mise en valeur. *Sécheresse*, 14(4), 241–246.

DOETTERL, S., ET AL. 2012. Erosion effects on soil organic carbon stocks and dynamics. *Earth-Science Reviews*, 115(1–2), 20–36.

DOETTERL, S., SIX, J., VAN WESEMAEL, B., & VAN OOST, K. (2012). Carbon cycling in eroding landscapes: Geomorphic controls on soil organic C pool composition and C stabilization. *Global Change Biology*, 18(7), 2218–2232.

DOUADI B., 1992. Contribution à l’étude bioécologique des peuplements Orthoptérologiques dans la région de Guerrara (Ghardaïa). *Développement*

ovarien chez *Acrotylus patruelis* (H.- S., 1838). Mémoire Ingénieur, Inst. nati. Agro. El Harrach, 75 p.

DROZ, P. 2018. Statistique descriptive. Université de Genève, Faculté d'économie et de management.

DURAND, J. H. 1958. Les sols irrigables. Etude pédologique. Edition Imbert, Alger.

ESRI., 2025. "Environmental Systems Research Institute ". ArcGIS desktop.

FAO., 2018. Carbone organique du sol : entretenir les zones arides.

FAO., 2020. Rapports sur les sols des zones arides.

GADOUM, L., 2023 . Stockage du carbone organique dans différents types d'utilisation de sol aride - cas de Ghardaïa (p. 4).

GARDI R., 1973 . Sahara. 3ème Ed. Kummerly et Frey, Paris, 151 p.

GOOVAERTS, P., 1997. Geostatistics for Natural Resources Evaluation. Oxford University Press, pp. 143–160.

GRATTON Y., 2002. Le Krigeage : la méthode optimale d'interpolation spatiale. Les articles de l'Institut d'Analyse Géographique, INRS-Eau-Terre-Environnement. Québec, Canada, 4p.

GUESSOUM, H., 2020. Relation qualité des eaux et propriétés des sols dans les palmeraies de la région de Ghardaïa (cas de Sebseb) (p. 74).

HALITIM, A., 1988. Sols des régions arides d'Algérie. Edition O.P.U., Alger, 384 p.

HAMEL, I., 2023. Caractérisation et cartographie des propriétés physico-chimiques des sols de la région de Ghardaïa (Cas de la palmeraie de Zelfana) (p. 7).

HERMA, A., & BICHI, A., 2022. Estimation et cartographie de la qualité des eaux souterraines destinées à l'alimentation en eau potable et à l'irrigation en milieu aride : Cas de Sebseb (Wilaya de Ghardaïa) (pp. 7–8).

ISO 14235:1998. Qualité du sol — Détermination du carbone organique par oxydation sèche (combustion sèche).

KHENE, B. 2007. *Caractérisation d'un agro système oasien – Vallée du M'Zab et Guerrara (wilaya de Ghardaïa).* Thèse de Magister, Institut National Agronomique El Harrach, Alger, 173 p.

KRESSE, W., & DANKO, D., 2012. *Springer Handbook of Geographic Information.* Springer, New York, USA, 1120 p.

LAL, R., 2004. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, 304(5677), 1623–1627.

LI, X. M., YANG, J. S., LIU, M. X., LIU, G. M., & YU, M., 2012. Spatiotemporal changes of soil salinity in arid areas of south Xingjian using electromagnetic induction. *Journal of Integrative Agriculture*, 11(8), 1365–1376.

LI, X., ZHANG, R., WANG, Y., & CHEN, L., 2021. Topographic and hydrological controls on soil organic carbon distribution in arid and semi-arid regions. *Geoderma*, 386, 114909.
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114909>

MINASNY, B., et al. (2017). Soil carbon 4 per mille. *Geoderma*, 292, 59–86.

MORAL, F. J., TERRÓN, J. M., & REBOLLO, F. J., 2010. Site-specific management zones based on the Rash model and geostatistical techniques. *Computers and Electronics in Agriculture*, 72(2), 223–237.

OSAMA, M., FUKUMARA, K., ISHIDA, T., & YOSHINO, K., 2005. Assessment of spatial variability of soil and canopy properties in a cassava field. *Journal of Japan Society of Hydrology and Water Resources*, 18(5), 501–509.

OULED SIDI AMOR, T., 2016. *Vulnérabilité à la pollution des eaux de la nappe superficielle de la vallée du M'zab*. Mémoire de Master, Université Kasdi Merbah – Ouargla, 71 p.

OZENDA, P., 1991. *Flore et végétation du Sahara (2e éd.)*. Éditions du CNRS, Paris, 662 p.

PESCOD, M. B., 1992. *Wastewater Treatment and Use in Agriculture*. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 47.
<https://www.fao.org/3/T0551E/T0551E00.htm>

REEVES, D. W. 1997. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. *Soil and Tillage Research*, 43(1–2), 131–167.

RICHARDS, L. A., 1954. *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils*. USDA Agriculture Handbook No. 60.

SIMLER R., 2012. Manuel pour DIAGRAMMES. Présentation du logiciel à partir de données importées d'un tableur, création de diagrammes spécifiques à l'hydrogéologie et validation des données analytiques. Université Avignon. Laboratoire d'Hydrogéochimie d'Avignon 21-6-2012. 40p.

SIX, J., CONANT, R. T., PAUL, E. A., & PAUSTIAN, K., 2002. Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils. *Plant and Soil*, 241(2), 155–176.

SMITH, J., DUPONT, C., & MARTIN, A., 2023. Impacts of irrigation practices on soil organic carbon loss through leaching: A review. *Soil and Tillage Research*, 230, 105134. <https://doi.org/10.1016/j.still.2022.105134>

SOLTNER, D.,1989. *Les bases de la production végétale. Tome I : Le sol* (17e éd.). C.S.T.A., Angers.

STEVENSON, F. J., & COLE, M. A., 1999. *Cycles of Soil: Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Sulfur, Micronutrients* (2nd ed.). John Wiley & Sons.

TANJI, K. K., & KIELEN, N. C.,2002. *Agricultural Drainage Water Management in Arid and Semi-Arid Areas*. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 61.

TUTIEMPO .,2025. *Climat Ghardaïa – Donnée climatique*. In : fr.tutiempo.net [en ligne]. 10/02/2025. Disponible à l'adresse : <https://fr.tutiempo.net/climat/ws-605660.html>

U.S. SALINITY LABORATORY STAFF 1954. *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils*. USDA Handbook No. 60.

U.S.D.A., 2001. *Soil classification kit guide*. Pub. United States Department of Agriculture, p. 38.

VIAL, Y., & VIAL, M., 1974. *Sahara, milieu vivant*. Éditions Hatier, Paris, 223 p.

WALKLEY, A., & BLACK, I. A., 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37(1), 29–38.

WILCOX, L. V., 1955. *Classification and Use of Irrigation Waters*. U.S. Department of Agriculture, Circular 969.

ZANIN, C. ,H.,2006. Cartographie thématique. *Hypergeo*, no article 377, 8 pages.

ZERGOUN, Y.,1991. *Contribution à l'étude bioécologique des peuplements orthoptérologiques dans la région de Ghardaïa.* Thèse d'ingénieur, Institut National Agronomique El Harrach, Alger, 73 p.

Annexes

Annexe 01.

Tableau 01. Classification du Sodium Adsorption Ratio (SAR) (Source : Ayers & Westcot, 1985)

S.A.R	Alcalinisation
$S.A.R \leq 4$	Pas d'alcalinisation
$4 \leq S.A.R \leq 8$	Faible alcalinisation
$8 \leq S.A.R \leq 12$	Alcalinisation moyenne
$12 \leq S.A.R \leq 18$	Forte alcalinisation
$S.A.R > 18$	Alcalinisation intense

Annexe 01.

Tableau 02. Classification de la salinité de l'eau (Source : Ayers & Westcot, 1985)

Paramètre	Valeur mesurée	Limite recommandée (FAO)	Interprétation
Na^+	500 mg/L	< 230 mg/L	Élevé : risque pour les sols
Cl^-	1097,62 mg/L	< 355 mg/L	Très élevé
SO_4^{2-}	426,46 mg/L	< 250 mg/L	Élevé

Annexe 03.

Tableau 03. Classification des eaux d'irrigation selon leurs conductivités électriques (DURAND, 1983)

Classes	C.E 25C° (µmhos/cm)	Salinité des eaux
C1	$C.E < 250$	Eau non saline
C2	$250 < C.E < 750$	Eau à salinité moyenne
C3	$750 < C.E < 2250$	Eau à forte salinité
C4	$2250 < C.E < 5000$	Eau à très forte salinité
C5	$5000 < C.E < 20\ 000$	Eau à salinité excessive

Annexe 04.

Tableau 04. Classification des eaux d'irrigation selon leurs pH

pH	nature
$6,8 < pH < 7$	Légèrement acide
$7 \leq pH < 7,1$	Neutre
$7,1 < pH < 7,3$	Légèrement alcalin
$< 7,3$	Alcalin

Annexe 05.

Tableau 05. Échelles d'interprétation de la Matière organiques (I.T.A, 1975)

M.O. (%)	Sol
≤ 1	Très pauvre
$1 < \text{M.O.} \leq 2$	Pauvre
$2 < \text{M.O.} \leq 4$	Moyenne
> 4	Riche

Annexe 06.

Tableau 06. Valeurs du pH en cas d'un horizon pédologique (BAIZE, 1988)

Valeurs de pH	Signification
$< 3,5$	Hyper-acide
3,5- 5	Très acide
5-6,5	Acide
6,5-7,5	Neutre
7,5-8,5	Basique
$> 8,5$	Très basique

Annexe 07.

Tableau 07. Échelle salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait dilué 1/5 (AUBERT, 1978)

C.E. (dS/m à 25°C)	Degré de salinité
$\leq 0,6$	Sol non salé
$0,6 < \text{C.E.} \leq 2$	Sol peu salé
$2 < \text{C.E.} \leq 2,4$	Sol salé
$2,4 < \text{C.E.} \leq 6$	Sol très salé
> 6	Sol extrêmement salé