

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 : DAHOU Rahma

OULED ELTAYEB Ibtessem

Thème

Impact de l'irrigation sur la distribution spatiale du carbone organique dans les sols de la région de Ghardaïa (cas de DAYA BEN DAHOUA)

Soutenu publiquement, le 16/06/2025,

Devant le jury composé de :

| | | | |
|-------------------------|-----|----------------|-------------------------|
| Dr. BENSLAMA Abderraouf | MCB | Univ. Ghardaïa | Président |
| Dr. GUESSOUM Hadjer | MCB | Univ. Ghardaïa | Examineur |
| Dr. HAMEL Imane | MCB | Univ. Ghardaïa | Directeur de mémoire |
| Dr. CHIKHI Faredj | MCB | Univ. Ghardaïa | Co-Directeur de mémoire |

Année universitaire : 2024 2025

Dédicace

Je dédie le fruit de mes modestes efforts à ceux qui m'ont offert la vie et l'espoir,
à ceux qui m'ont transmis la passion du savoir et de l'apprentissage,
à ceux qui m'ont appris à gravir les échelons de la vie avec sagesse et patience.
À la justice, la bonté et la loyauté de mes chers parents, ma tendre mère et mon père aimant,
que Dieu leur accorde une longue vie et les préserve pour moi.

À l'âme pure de mon grand-père, qui nous a quittés dans ce monde par son corps, mais dont
l'empreinte est éternelle dans ma vie. Je prie Dieu de lui accorder Sa miséricorde infinie, de
l'accueillir dans Son vaste paradis, et que ce travail soit une aumône continue pour lui et une
lumière dans sa tombe. Que Dieu ait ton âme, mon cher grand-père. À ceux dont la présence
dans ma vie est une bénédiction divine, à ceux qui m'ont soutenue dans mes recherches .

Mes frères et sœurs, et à ma chère cousine Asma Basmala et Ikhlal, pour son aide précieuse et
ses encouragements constants. Je te remercie du fond du cœur, et je prie Dieu de te
récompenser abondamment, et de te combler de succès dans ta vie.

À tous les membres de ma précieuse famille, jeunes et moins jeunes, sans exception.

À celui qui a été mon pilier et mon premier soutien, à mon cher fiancé Mohamed Ali,
merci d'avoir été à mes côtés à chaque étape, pour tes encouragements inlassables, et ta patience
qui m'a donné la force et la détermination. Je te dédie le fruit de ce travail en signe de gratitude
et de reconnaissance.

À mon amie précieuse Oulad Tayeb Ibtissem, qui a partagé ce parcours académique avec
sincérité et dévouement. Ensemble, nous avons avancé avec assurance vers un objectif commun,
en travaillant, en nous fatiguant, et en nous réjouissant de chaque réussite.

À mes chères amies Massouda, Manel, Ishraq et Hadeel, les compagnes de route et les sources de
joie dans mon parcours universitaire. Vous avez été là à chaque moment : dans la fatigue comme
dans la joie, dans l'effort comme dans la réussite. Je remercie chacune de vous pour les
souvenirs inoubliables et pour la fraternité sincère qui nous a unies. Je prie Dieu de vous
accorder la réussite, et que notre amitié continue de fleurir où que la vie nous mène.

À tous ceux qui m'ont enseigné ne serait-ce qu'une seule lettre, à tous mes professeurs à travers
les différentes étapes de mon parcours éducatif. Et enfin, à tous ceux qui m'ont aidée et ont
contribué à l'élaboration de ce travail, je prie Dieu de les récompenser dans cette vie et dans
l'au-delà.

Rafika



Dédicace

Je dédie cette lettre à : À tous ceux qui ont contribué à cette réussite, à commencer par mes éminents professeurs qui m'ont guidée, mes collègues qui m'ont soutenue et ma famille, source de force et d'amour.

* Je dédie cet ouvrage à tous ceux qui croient que la connaissance est lumière et que la connaissance est la voie du progrès.

* À tous ceux qui m'ont encouragée et motivée à réaliser ce rêve.

* À tous ceux qui m'ont encouragée et motivée à réaliser ce rêve. Un cadeau spécial :

* À mes parents, qui m'ont inculqué le goût de la connaissance et m'ont soutenue de toutes les manières possibles pour atteindre mes objectifs. Ils ont été ma source de force. Mes sœurs, Bushra et Manel, mon frère, Abdel Fattah, ma tante, Fathia, et son fils, Mohamed, m'ont accompagnée à chaque étape de mes études.

* À mon éminent professeur, Hamel Iman, qui a été pour moi un modèle et une source d'inspiration.

* À mon amie, Dahou Rahma, qui a toujours été à mes côtés.

À mes amies : Noussiba Bouguelmouna, Nacéra Messaoudi, Khadîdja Ouled Yahya et Ferdous Guaradi, que je remercie sincèrement.

* Cette réalisation est le fruit d'efforts constants et de grands sacrifices. Je la dédie à tous ceux qui croient en moi.

* Je me dédie cet ouvrage, en témoignage de ma confiance en moi...

ق ب د ج ه ح ز ط ي ك م



Remerciements

Louange à Dieu, Seigneur des Mondes, qui m'a accordé une bonne santé et m'a guidé sur le chemin de la connaissance.

Nous adressons nos sincères remerciements à nos parents pour leur soutien et leurs encouragements tout au long de nos études.

Nous remercions également le jury d'avoir accepté de juger ce projet.

*Je dois remercier particulièrement **Mr. BENSLAMA Abderraouf**, Maître de conférences « B » à l'université de Ghardaïa. De m'avoir fait l'honneur de présider mon jury de mémoire.*

*Nous adressons nos sincères remerciements à notre encadrant, **Dr. HAMEL IMANE**, pour ses conseils et son soutien tout au long du projet, ainsi que pour sa compréhension, son expertise et ses précieux commentaires.*

*Nous adressons nos sincères remerciements à notre encadrant adjoint, **Dr. CHIKHI FAREDJ**, qui nous a accompagnés tout au long du projet. Nous adressons également*

*Je tiens à exprimer mes sincères remerciements à l'examinatrice, **Mme. GUESSOUM Hadjer** Maître de conférences « B » à l'université de Ghardaïa., qui m'ont fait l'honneur en tant qu'examineur de ce mémoire.*

*Nos sincères remerciements au chef du département de biologie, le professeur **BENSAMOUN YOUSSEF**, ainsi qu'aux ingénieurs de laboratoire, **KHOLOUD** et **BASHIR**.*

Nous adressons également nos sincères remerciements à l'ensemble du corps enseignant et administratif de l'Université de Ghardaïa, ainsi qu'à nos camarades étudiants.

*Nous adressons également nos sincères remerciements au personnel de la Société algérienne des eaux : "**LABORATOIRE D'ANALYSES DES EAUX A GHARDAÏA**".*

*Et à celui de **LA MUNICIPALITE DE DAYA BEN DAHWA**.*

Nous exprimons également notre sincère gratitude à tous ceux qui ont contribué, directement ou indirectement, à la réalisation de ce travail.

Impact de l'irrigation sur la distribution spatiale du carbone organique dans les sols de la région de Ghardaïa (cas de DAYA BEN DAHOUA)

Le carbone organique joue un rôle important et fondamental dans les sols, en particulier ceux utilisés pour l'agriculture, car il contribue à la croissance et au développement des cultures. Nous avons mené une étude sur la distribution du carbone organique dans le sol des palmiers dattiers, en observant l'effet de l'irrigation sur le carbone organique. L'irrigation a été réalisée avec des eaux souterraines (puits), et les résultats ont montré que l'eau était saline et contenait divers éléments minéraux (Qualité médiocre à mauvaise). Nous avons prélevé des échantillons de sol de manière aléatoire à une profondeur de (0 à 30) cm du site de notre étude, la palmeraie Ibrahim Dahou, située en Algérie, province de Ghardaïa, commune de DAYA BEN DAHOUA, arrondissement de BOUBRIK. Nous avons mené une étude en laboratoire sur les échantillons de sol afin de déterminer la quantité de carbone organique. Les résultats ont montré que le sol est pauvre en carbone, avec une valeur inférieure à 1. Cela est dû à la nature sableuse du sol et aux caractéristiques de la zone désertique. Les résultats ont également montré que le sol n'est pas salin par nature, en raison de la conductivité, qui a atteint un pic avant irrigation (0,019 dm/s) et après irrigation (0,012 dm/s). Le pH était de 7,84 avant et de 8,41 après irrigation. Le sol était légèrement alcalin. Les résultats de la répartition spatiale des paramètres étudiées, montre une variation modérée à élevée du carbone organique, élevée à très élevée pour la conductivité électrique. Par contre, la variabilité spatiale du pH est faible. Ces résultats nous permettent de conclure que le sol a une texture sableuse et une faible teneur en carbone organique. L'irrigation joue un rôle efficace dans la distribution du carbone organique dans le sol, comme le démontre notre étude.

Mots-clés : Répartition spatiale, Carbone organique, conductivité électrique, pH, DAYA BEN DAHOUA, Ghardaïa. Sol. Palmerie

تأثير الري على التوزيع المكاني للكربون العضوي في تربة منطقة غرداية" (حالة ضاية بن ضحوة)

يلعب الكربون العضوي دوراً هاماً وأساسياً في التربة، خاصة تلك المستخدمة في الزراعة، حيث يساهم في نمو وتطور المحاصيل. أجرينا دراسة حول توزيع الكربون العضوي في تربة نخيل التمر، مع مراقبة تأثير الري على الكربون العضوي. باستخدام طريقة الري التقليدية من مياه الجوفية (الآبار)، وأظهرت النتائج أن المياه كانت مالحة وتحتوي على عناصر معدنية متنوعة (جودة متوسطة إلى سيئة). قمنا بأخذ عينات من التربة بشكل عشوائي عند عمق (0 إلى 30) سم في الموقع المدروس، بستان النخيل إبراهيم دحو، الموجود في الجزائر، ولاية غرداية، بلدية ضاية بن ضحوة، حي بوبريك. قمنا بفحص عينات التربة في المختبر لتحديد كمية الكربون العضوي، حيث أظهرت النتائج أن التربة فقيرة في الكربون، إذ بلغت القيمة أقل من 1%. ويرجع ذلك إلى طبيعة التربة الرملية وخصائص المنطقة الصحراوية. كما أظهرت النتائج أن التربة ليست مالحة بطبيعتها، حيث بلغ التوصيل الكهربائي قبل الري 0.019 ديسي سيمنز/ثانية، وبعد الري انخفض إلى 0.012 ديسي سيمنز/ثانية. أما بالنسبة للرقم الهيدروجيني، فقد بلغ 7.84 قبل الري وارتفع إلى 8.41 بعده، مما يدل على أن التربة قلوية تُظهر نتائج التوزيع المكاني للمعلومات المدروسة تبايناً معتدلاً إلى مرتفع في الكربون العضوي، ومرتفعاً إلى مرتفع جداً في التوصيل الكهربائي. في المقابل، كان التباين المكاني للرقم الهيدروجيني ضعيفاً. نتيج لنا هذه النتائج أن نستنتج أن التربة ذات قوام رملي ومحتوى منخفض من الكربون العضوي يلعب الري دوراً فعالاً في توزيع الكربون العضوي في التربة، كما تظهر دراستنا. هذه النتائج تسهم في فهم أفضل لخصائص التربة في المنطقة، خاصة في ضاية بن ضحوة بغرداية، وتعتبر أساساً لاتخاذ إجراءات تحسينية لتعزيز جودة التربة وزيادة إنتاجيته

الكلمات المفتاحية: التوزيع المكاني، الكربون العضوي، الناقلية الكهربائية، الرقم الهيدروجيني، ضاية بن ضحوة، غرداية

تربة. النخيل

Impact of irrigation on the spatial distribution of organic carbon in soils in the Ghardaïa region (DAYA BEN DAHOUA case study)

Organic carbon plays an important and fundamental role in soils, particularly those used for agriculture, as it contributes to crop growth and development. We conducted a study on the distribution of organic carbon in date palm soil, observing the effect of irrigation on organic carbon. Irrigation was carried out using groundwater (wells), and the results showed that the water was saline and contained various mineral elements (poor to bad quality). We took random soil samples at a depth of (0 to 30) cm from our study site, the Ibrahim Dahou palm grove, located in Algeria, province of Ghardaïa, commune of DAYA BEN DAHOUA, arrondissement of BOUBRIK. We carried out a laboratory study on soil samples to determine the amount of organic carbon. The results showed that the soil is low in carbon, with a value of less than 1. This is due to the sandy nature of the soil and the characteristics of the desert zone. The results also showed that the soil is not saline in nature, due to the conductivity, which peaked before irrigation (0.019 dm/s) and after irrigation (0.012 dm/s). The pH was 7.84 before and 8.41 after irrigation. The soil was slightly alkaline. The results of the spatial distribution of the parameters studied showed moderate to high variation in organic carbon, and high to very high variation in electrical conductivity. On the other hand, the spatial variability of pH was low. These results lead us to conclude that the soil has a sandy texture and low organic carbon content. Irrigation plays an effective role in the distribution of organic carbon in the soil, as demonstrated by our study.

Keywords: Spatial distribution, Organic carbon, Electrical conductivity, pH, DAYA BEN DAHOUA, Ghardaïa. Soil. palm trees.

Liste des tableaux

| N° | Titre | Page |
|------------|--|-----------|
| Tableau 01 | : Données météorologiques de la Wilaya de Ghardaïa (2013-2023) | 08 |
| Tableau 02 | Classes d'intensité de la variabilité (NOLIN et al., 1997). | 20 |
| Tableau 03 | Analyses physico-chimiques des eaux d'irrigation. | 23 |
| Tableau 04 | Teneur en carbone organique de sol étudié. | 27 |
| Tableau 05 | Les valeurs statistiques de la conductivité électrique de sol | 29 |
| Tableau 06 | Les valeurs statistiques du pH du sol | 31 |
| Tableau 07 | Résultats du test de Wilcoxon | 32 |

Liste des figures

| N° | Titre | Page |
|-----------|---|-----------|
| Figure 01 | Carte de la situation géographique de la région d'étude Dhaya Bendhahoua. . | 07 |
| Figure 02 | Carte des Sources hydrauliques de la région d'étude Dhaya Bendhahoua | 11 |
| Figure 03 | Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN de la région de Ghardaïa (2013 - 2023) | 13 |
| Figure 04 | Etage bioclimatique de Ghardaïa selon climagramme d'EMBERGER (2013 – 2023). | 14 |
| Figure 05 | L'irrigation traditionnelle | 17 |
| Figure 06 | Localisation du site d'étude | 18 |
| Figure 07 | Classification des eaux d'irrigation dans la région d'étude (Diagramme de RIVERSIDE) | 24 |
| Figure 08 | : Evaluation de la qualité des eaux d'irrigation dans la région d'étude (Diagramme de WILCOX) | 25 |
| Figure 09 | Facies chimique des eaux de l'irrigation selon le diagramme de piper. | 26 |
| Figure 10 | Carte de variabilité spatiale du carbone organique dans la zone étudiée | 28 |
| Figure 11 | Carte de variabilité spatiale de la salinité dans la zone étudiée, | 30 |
| Figure 12 | Carte de variabilité spatiale du pH du sol dans la zone étudiée, | 31 |

TABLE DES MATIERES

Dédicace

Remerciements

ملخص

Résumé

Abstract

Liste des tableaux

Liste des figures

| | |
|---|----|
| Introduction | 01 |
| <i>Chapitre I. Matériel et méthodes d'étude</i> | 05 |
| 1.Situation Géographique de la willaya de Ghardaïa | 06 |
| 2- Situation géographique et administrative de la commune de Dhaya Bendhahoua | 06 |
| 3-Superficie et densité de population | 07 |
| 4-Climat | 08 |
| 4.1-Température | 09 |
| 4.2-Précipitation | 09 |
| 4.3-Humidité relative | 09 |
| 4.4-Vent | 09 |
| 5-la Géologie de la région de Dhaya Bendhahoua | 09 |
| 5.1- Géologie régionale | 09 |
| 5.2-La géologie locale | 10 |
| 6-Source hydraulique | 10 |
| 6.1- Nappe phréatique | 10 |
| 6.2- Nappe albienne | 10 |
| 6.3-Barrages | 10 |
| 7-Agriculture | 11 |
| 8-Synthèse bioclimatique | 12 |
| 8.1- Diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN | 12 |
| 8.2-Climagramme d'EMBERGER | 13 |
| 9-Contexte pédologie | 14 |
| 10- Flore | 15 |
| <i>Chapitre II. Méthodologie de travail d'étude</i> | 16 |
| 1.Choix de site d'étude | 17 |
| 2.Présentation du site d'étude | 17 |
| 3.Echantillonnage | 18 |
| 4. Analyses au laboratoire | 19 |
| 4.1. Analyses du sol | 19 |
| 4.1.1 Analyses du sol | 19 |
| 4.1.2. Le carbone organique | 19 |
| 4.1.3 Mesure de la conductivité électrique | 19 |
| 4.1.4 Mesure du pH | 19 |
| 4.2. Analyses d'eau | 19 |
| 4.3. Analyses statistiques | 19 |
| 4.3.1 Les statistiques descriptives | 20 |
| 4.3.2 Coefficient de variation | 20 |
| 4.4. Modélisation géostatistique | 20 |
| 4.5. Krigeage | 21 |

| | |
|---|----|
| <i>Chapitre III : Résultats et Discussions</i> | 22 |
| 1. Analyses physico-chimiques des eaux d'irrigation | 23 |
| 2. Etude de la variabilité spatiale de carbone organique du sol | 27 |
| 2.1. Etude de carbone organique | 27 |
| 2.2. Réalisation des cartes thématique | 28 |
| 2.3. Cartographie par krigeage | 28 |
| 3. Etude de la variabilité spatiale de la salinité du sol | 29 |
| 3.1. Etude de la salinité du sol | 29 |
| 3.2. Cartographie par krigeage | 30 |
| 4. Etude de la variabilité spatiale de pH du sol | 30 |
| 4.1. Etude pH du sol | 30 |
| 4.2. Cartographie par krigeage | 31 |
| 5. Test de comparaison (WILCOXON) | 32 |
| 6. Discussion | 32 |
| Conclusion | 34 |
| Références bibliographiques | 36 |
| Annexe | 40 |

Introduction

Introduction

Les sols jouent un rôle fondamental dans le maintien de la vie sur Terre en assurant diverses fonctions écologiques essentielles. Ils sont notamment des réacteurs biologiques qui soutiennent le développement des êtres vivants, comme le souligne NOOMENE (2011).

Dans les zones arides, caractérisées par un climat sec et peu pluvieux, les sols présentent des caractéristiques quasi constantes : une évolution lente, une structure faiblement définie et souvent la présence de croûtes calcaires, gypseuses ou salines. Ces conditions limitent la formation de matière organique et rendent les sols vulnérables à l'érosion, notamment éolienne, comme l'indique AUBERT (1960).

En Algérie, environ 95 % du territoire national est classé en zones arides ou hyperarides, avec une pluviosité inférieure à 100 mm/an. Cette situation entraîne une salinisation accrue des sols, notamment dans les régions sahariennes telles que Ghardaïa, Ouargla, Touggourt et Biskra. Les sols salés y sont souvent associés à des nappes phréatiques salées, des sebkhas et des chotts, et sont classés en fonction de leur teneur en sels : sols sans accumulation de sels, sols calcaires, sols gypseux, sols calcaro-gypseux et sols salés (HALITIM, 1984). Les sols riches en calcaire sont couramment rencontrés dans les zones méditerranéennes et désertiques, en particulier en Algérie, où ils sont présents aussi bien dans les régions arides que semi-arides (HALITIM, 1988). La teneur en calcaire du sol contribue à une augmentation du pH ; en effet, dans un environnement carbonaté, le pH de la solution du sol peut localement atteindre des valeurs élevées, comprises entre 8 et 10 (JAILLARD, 1980).

Ces sols présentent un certain nombre de caractères constants et une évolution lente. La profondeur est souvent réduite, la matière organique est peu abondante et superficielle, la structure est faiblement définie en générale et les éléments solubles sont concentrés en surface ou partiellement lessivés et accumulés en profondeur (AUBERT, 1960).

La capacité des sols à stocker le carbone dépend des écosystèmes, de l'utilisation et de la couverture des terres (LULC) (BOUBEHZIZ ET AL., 2020). Le carbone organique du sol (COS), qui représente la quantité totale de carbone organique, joue un rôle essentiel dans le cycle du carbone et la réduction du réchauffement climatique. Sa répartition varie selon les caractéristiques du sol et de l'environnement. (GADOUM.2023)

Les sols des zones arides subissent un processus rapide de dégradation, qui se manifeste, d'un point de vue pédologique, par une diminution marquée de leur fertilité sur les plans physique, chimique et biologique (OUSTANI, 2006). Cette dégradation est principalement due à un déficit en matière organique, élément fondamental dont l'absence compromet les propriétés agronomiques des sols. En effet, une faible teneur en matière organique peut nuire gravement à la fertilité du sol. Il est reconnu qu'un sol pauvre en matière organique perd aisément une partie de sa fertilité physique, ainsi que sa fertilité chimique, et plus particulièrement sa fertilité biologique (BALESDENT, 1996 ; ROUSSEL et al. 2001).

La phoeniciculture par la place qu'elle occupe dans l'agriculture saharienne constitue la principale ressource des 2,2 millions d'habitants des régions sahariennes de l'Algérie. Les statistiques donnent le chiffre de 9 millions de palmiers (dont 45% de 'Deglet Nour') occupant une superficie de presque 85 000 ha et faisant vivre environ 140 000 exploitants. Les palmeraies se focalisent dans les régions sahariennes et occupent une superficie évaluée à 167.000 hectares pour une production de dattes, toutes variétés confondues, de près de 990.000 tonnes (MESSAR, 1993).

Dans le Sahara algérien, le palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) est le pilier des écosystèmes oasiens où il permet de limiter les dégâts d'ensablement, joue un rôle protecteur contre le rayonnement solaire intense pour les cultures sous-jacentes (arbres fruitiers, cultures maraîchères et céréales). Par sa présence dans ces zones désertiques, les diverses formes de vies animales et végétales, indispensables pour le maintien et la survie des populations, sont possibles. Le palmier dattier en Algérie est établi en plusieurs oasis réparties sur le Sud du pays où le climat est chaud et sec (zone saharienne). (FREDERIQUE ET AL ,2010).

L'irrigation est l'opération consistant à apporter artificiellement de l'eau à des végétaux cultivés pour en augmenter la production, et permettre leur développement normal en cas de déficit d'eau induit par un déficit pluviométrique, un drainage excessif ou une baisse de nappe. La maîtrise de l'irrigation est donc un facteur qui permet de maintenir une production régulière, en quantité et en qualité des produits. (SERKHAN. BOUDERGA.HAMOU.2019). L'eau d'irrigation, qu'elle provienne de puits ou d'eaux souterraines, n'est jamais pure. Elle contient des sels dissous qui, selon leur concentration, peuvent affecter le sol et les cultures (KADI, 1997). Par conséquent, la composition chimique de l'eau doit être étudiée en fonction de son impact sur le sol et les plantes (LEKOUARA, 1997).

La variabilité spatiale des sols demeure en grande partie méconnue : une proportion importante des sols à l'échelle mondiale n'a pas encore été cartographiée de manière détaillée. Par ailleurs, les agriculteurs ont souvent une connaissance limitée de la diversité pédologique au sein de leurs parcelles, qu'ils évaluent principalement à travers le comportement de l'horizon de surface cultivé (GIRARD, 2011).

L'objectif de ce travail est de faire ressortir l'impact des eaux d'irrigation sur la distribution spatiale de carbone organique du sol dans une palmeraie dans la région de DAYA (Ghardaïa).

Le présent travail tient à répondre aux objectifs suivants :

- Caractérisation physico-chimique des paramètres de sol et de l'eau souterraine de la région d'étude.
- La description de la répartition spatiale des paramètres du sol, par le biais de la cartographie.

Ce travail comprend quatre parties :

- L'introduction présente les principales définitions et l'objectif général de l'étude.
- La deuxième partie présente le matériel et les méthodes utilisés, ainsi qu'une présentation de la zone d'étude.
- La troisième partie présente les résultats et les discussions.

Enfin, la conclusion met en lumière les principaux résultats et l'étude la plus importante que nous avons menée.

***Chapitre I. Matériel et
méthodes d'étude***

Chapitre I. Matériel et méthodes d'étude

La Wilaya de Ghardaïa a été créée dans le cadre du découpage administratif du territoire, conformément à la loi n° 84-09 du 4 février 1984. Elle couvre une superficie totale de 84 660,12 km².

Suite à l'application de la loi n° 19-12 du 12 novembre 2019, qui modifie et complète la loi n° 84-09 du 4 février 1984 relative à l'organisation territoriale du pays, le nouveau découpage inclut désormais 58 wilayas et 1 541 communes. (HAMEL, 2023).

1. Situation Géographique de la wilaya de Ghardaïa :

La Wilaya de Ghardaïa est située au cœur de la partie nord du Sahara algérien, à environ 600 km au sud de la capitale, Alger. Ses coordonnées géographiques sont les suivantes :

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

La wilaya de Ghardaïa s'étend sur une superficie de 84 660 km² et est délimitée par :

- Le nord : Wilaya de Laghouat (200 km)
- Le nord-est : Wilaya de Djelfa (300 km)
- L'est : Wilaya d'Ouargla (200 km)
- Le sud : Wilaya de Tamanrasset (1 470 km)
- Le sud-ouest : Wilaya d'Adrar (400 km)
- L'ouest : Wilaya d'el-Bayadh (350 km)

La wilaya comporte actuellement 11 communes regroupées en 8 Dairas pour une population de 396.452 habitants, soit une densité de 4,68 habitants/ km² (HANICHI, 2019).

2. Situation géographique et administrative de la commune de Dhaya Ben dhahoua :

La commune de Dhaya Ben dhahoua, se situe à 11 Km au nord-ouest de wilaya de Ghardaïa elle est limite par :

- Nord : communes de Hassi Ramel et d'Ain Madi (province de Laghouat)
- Sud : Municipalités de Ghardaïa et Bounoura
- Est : Commune de Berriane et Ghardaïa
- Ouest : Municipalité de Metlili (FTCD, 2025)

3-Superficie et densité de population :

Elle couvre une superficie totale de 2 175 km² et sa population est d'environ 21 062 personnes selon le nouveau recensement de l'année 2020. (FTCD, 2025)

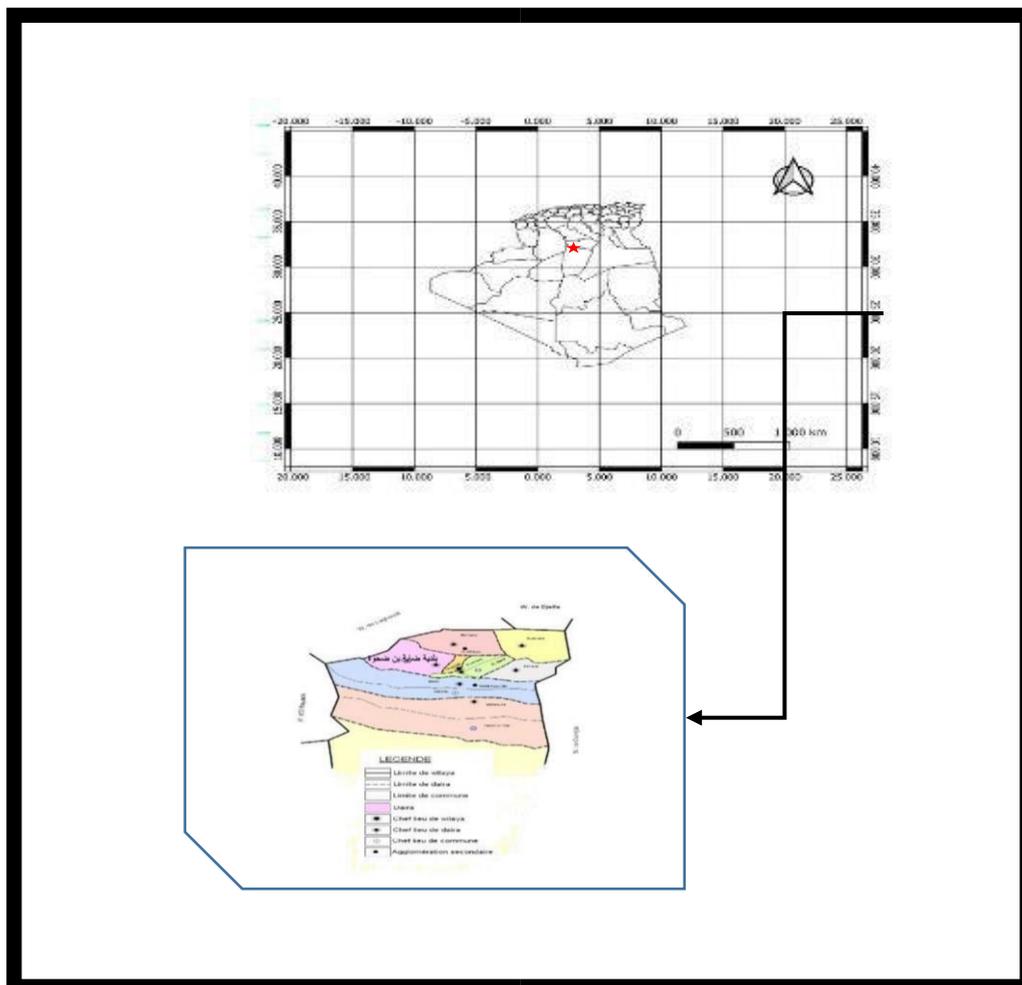


Figure 01 : Carte de la situation géographique de la région d'étude Dhaya Ben dhahoua (DAHOU et OULED TAYEB, 2025)

4-Climat :

Les données climatiques utilisées proviennent du site météorologique de climat. Pour mieux appréhender les variations climatiques de la région, nous avons pris en compte les moyennes mensuelles sur une période de 10 ans, allant de 2013 à 2023. Ces données climatiques jouent un rôle essentiel dans le milieu physique et ont des impacts significatifs sur les êtres vivants, qu'il s'agisse des animaux ou des plantes. (HAMEL.2015).

La commune de Dhaya Ben Dhahoua présente un climat typiquement saharien, marqué par deux saisons distinctes : une saison chaude et aride s'étendant d'avril à septembre, et une saison plus tempérée allant d'octobre à mars. Le climat se distingue également par un écart thermique important entre les températures estivales et hivernales. (A.N.R.H., 2012).

Tableau 01 : Données météorologiques de la Wilaya de Ghardaïa (2013-2023) (TUTTIEMPO, 2025)

| | Température (C°) | | | P(mm) | H(%) | V.V(m/s) |
|-----------|---------------------|-------|-------|--------|-------|----------|
| | Max | Min | Moy | | | |
| Janvier | 18.98 | 6.72 | 12.78 | 1.649 | 46.98 | 13.16 |
| Février | 20.86 | 8.61 | 14.74 | 3.835 | 40.62 | 18.38 |
| Mars | 25.16 | 12.21 | 18.87 | 4.04 | 34.73 | 17.56 |
| Avril | 30.79 | 16.71 | 24.1 | 3.963 | 29.97 | 17.89 |
| Mai | 36.03 | 21.86 | 29.32 | 4.039 | 26.45 | 17.49 |
| Juin | 41.93 | 27.33 | 35.2 | 0.713 | 21.49 | 16.481 |
| Juillet | 45.68 | 31.35 | 39.03 | 0.202 | 18.68 | 13.7 |
| Aout | 44.02 | 30.3 | 37.45 | 4.394 | 23.65 | 12.89 |
| Septembre | 39.6 | 26.31 | 33.01 | 5.332 | 32.32 | 12.85 |
| Octobre | 32.4 | 19.53 | 25.99 | 4.113 | 37.6 | 11.59 |
| Novembre | 24.55 | 13.13 | 18.45 | 4.876 | 44.8 | 13.04 |
| Décembre | 19.75 | 8.44 | 13.85 | 3.886 | 54.25 | 12.79 |
| Moyenne | 31.64 | 18.55 | 25.23 | 41.042 | 34.29 | 14.82 |

H. : Humidité relative

T. : Température

P. : Pluviométrie

V.V. : Vitesse de vent

✓ **Température :**

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 (TUTTIEMPO, 2025)

✓ **Précipitation :**

Les précipitations sont très rares et irrégulières (irrégularité mensuelle et annuelle), leur répartition est marquée par une sécheresse presque absolue du mois de Juin et mois de Juillet, et par un maximum de 5.332 mm au mois de Septembre. Les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 41.042 mm (TUTTIEMPO, 2025).

✓ **Humidité relative :**

L'humidité relative de l'air est très faible. Elle est de l'ordre de 18.68 % au mois Juillet, atteignant un maximum de 54.25 % en mois de Décembre et une moyenne annuelle de 34.29 % (TUTTIEMPO, 2025).

✓ **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 TUTTIEMPO (2025) pour la période de 2013 - 2023, les vents sont fréquents sur toute l'année avec une moyenne annuelle de 14.82 m/s.

5-la Géologie de la région de Dhaya Bendhahoua:

5.1- Géologie

La wilaya de Ghardaïa est située sur les bordures occidentales du bassin sédimentaire secondaire du Bas - Sahara. Les terrains affleurants sont en grande partie attribués au Crétacé supérieur. Composés principalement par des dépôts calcaires turoniens dolomitiques ; qui forment un plateau subhorizontal appelé couramment "la dorsale du M'Zab". (Hanichi, 2019).

La région de Ghardaïa présente trois principales formations géomorphologiques :

La Chabka du M'Zab : Un plateau rocheux datant du Crétacé, inclinant de 800 m au Nord à 400 m au Sud. Il est constitué de calcaires dolomitiques et marnes, formant de petites vallées irrégulières. Ce plateau couvre environ 8000 km², représentant 21 % de la région du M'Zab. Les vallées ont des pentes orientées vers l'Est.

La région des dayas : Au sud de l'Atlas saharien, elle est dominée par des dépressions circulaires appelées *dayas*, résultant de phénomènes karstiques. Ces dépressions ont un substratum géologique Mio-Pliocène et sont principalement situées dans la commune de Guerrara. (Hanichi, 2019).

La région des Ergs : À l'Est de la région, cette zone est caractérisée par des sols solides et caillouteux appelés *Regs*, formés par la déflation éolienne. Les communes de Zelfana, Bounoura et El Ateuf occupent cette région au substratum géologique Pliocène (HAMEL, 2015).

5.1 La géologie locale :

La région de Dhaya Bendhahoua est considérée comme faisant partie de la zone du réseau, qui se caractérise par son terrain accidenté, formé de montagnes rocheuses, de nombreux récifs et de quelques dunes de sable, et est entrecoupé de trois vallées principales : Wadi Al-Abyad - Wadi AlAdira - Wadi Arqdan. (FTCD, 2025)

6-Source hydraulique :

La région dispose d'une réserve d'eau souterraine et se subdivise en nappe :

- Nappe phréatique :

Elle est alimentée par les précipitations saisonnières et les crues d contenues dans des retenues traditionnelles. Son exploitation s'effectue biais de puits dont la profondeur varie entre 17 et 45 m.

- Nappe albienne :

Elle se situe à une profondeur qui varie entre 450 et 500 m.

Le nombre de puits artésiens qui y sont forés s'élève à 13, dont 9 sont con à l'irrigation agricole.

- Barrages :

Il existe plusieurs barrages sur la commune de Daya Ben Dahoua :

- Barrage de White Valley
- Barrage d'Al-Athira

- Barrage de Grazel

En outre, il existe des barrières d'eau dans la région, la région de Bubrik et la région d'Arqdan. (FTCD, 2025)

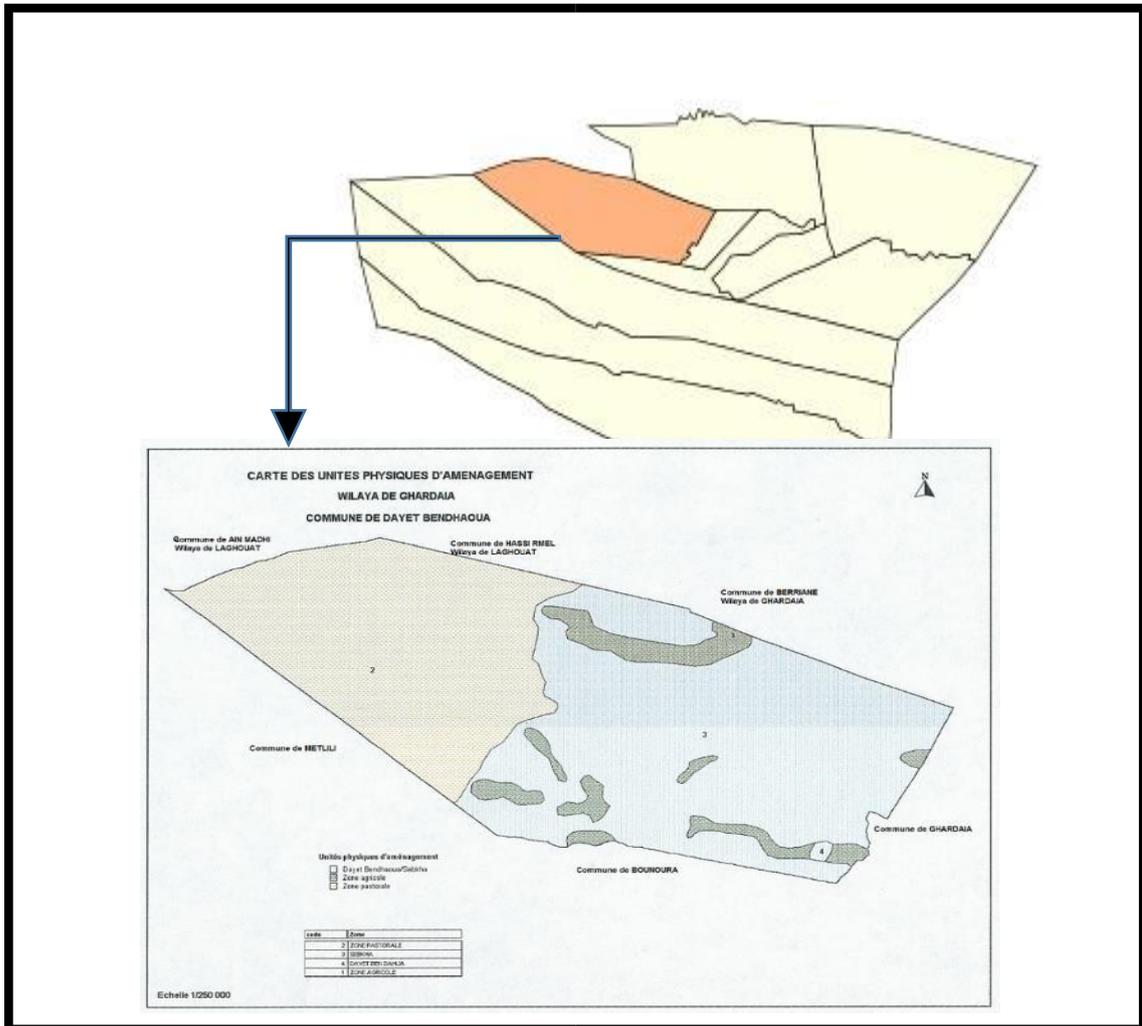


Figure 02 : Carte des Sources hydrauliques de la région d'étude Dhaya Bendhahoua (DAHOU et OULED TAYEB.2025)

7-Agriculture:

La commune de Daya Ben Dahoua est l'une des communes qui se distingue par le caractère agricole et l'élevage, notamment dans la production de dattes et de légumes de saison, où la contribution de la municipalité au niveau de l'État dans la production agricole est estimée à 30 % et dans la production animale à 20 %.

Répartition des espaces :

- Superficie agricole totale : 110.583 AH

• Superficie agricole exploitée : 1 689 AH • Aire pastorale : 109.143 AH. (FTCD, 2025)

Production de l'agriculteur :

-Avec une production totale : 18 650 quintaux.

-Palmiers : 645 hectares

-Légumes de saison : D'une superficie de 591 hectares, avec une production totale : 2209 quintaux. -

Vaches : 375 têtes, dont 285 têtes laitières

-Ovins : 26 000 têtes.

-Chèvres : 19950 têtes

-Production laitière : 1620450 l/an dont 897 400 l/an ont été collectés par Lactobacillus

Sandiles pour sa pasteurisation. (FTSCD, 2025)

8-Synthèse climatique :

8.1- Diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN :

Selon le tableau au-dessus (Tabl.01) qui se base sur l'enregistrement des données de précipitations et des données de températures mensuelles sur une période de 10 ans, on peut établir la courbe pluviométrique dont le but est de déterminer la période sèche. Le diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN (1953) permet de suivre les variations saisonnières de la réserve hydrique. Il est représenté dans (Fig.03)

- ❖ Les mois de l'année sont représentés sur l'axe des abscisses.
- ❖ L'axe ordonné pour les précipitations en mm et les températures moyennes en °C.
- ❖ Une échelle de $P=2T$.
- ❖ 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.

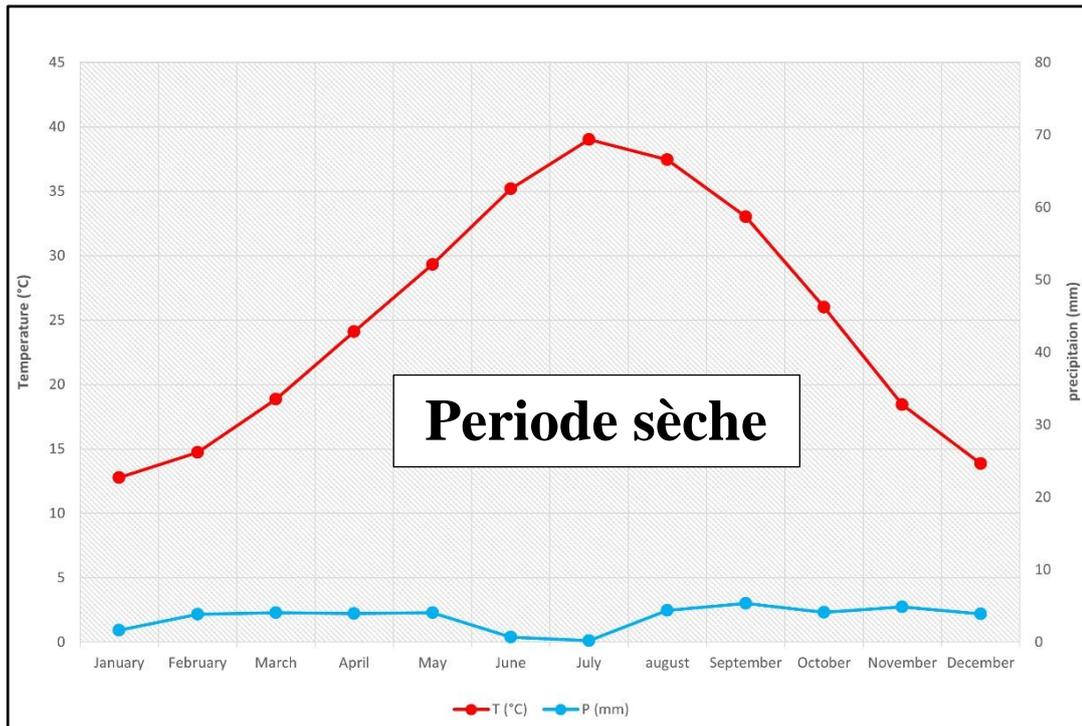


Figure 03 : Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN de la région de Ghardaïa (2013 - 2023)

8.2-Climagramme d'EMBERGER :

Il permet de connaître l'étage bioclimatique de la région d'étude. Il est représenté par : • La moyenne des minimas du mois le plus froid est portée dans l'axe des abscisses. • Le quotient pluviométrique (Q2) d'EMBERGER est représenté dans l'axe des ordonnées. On a utilisé la formule de STEWART adapté pour l'Algérie, qui se calcule comme suit :

$$Q2 = 3,43 \cdot P / (M - m)$$

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 3.61.

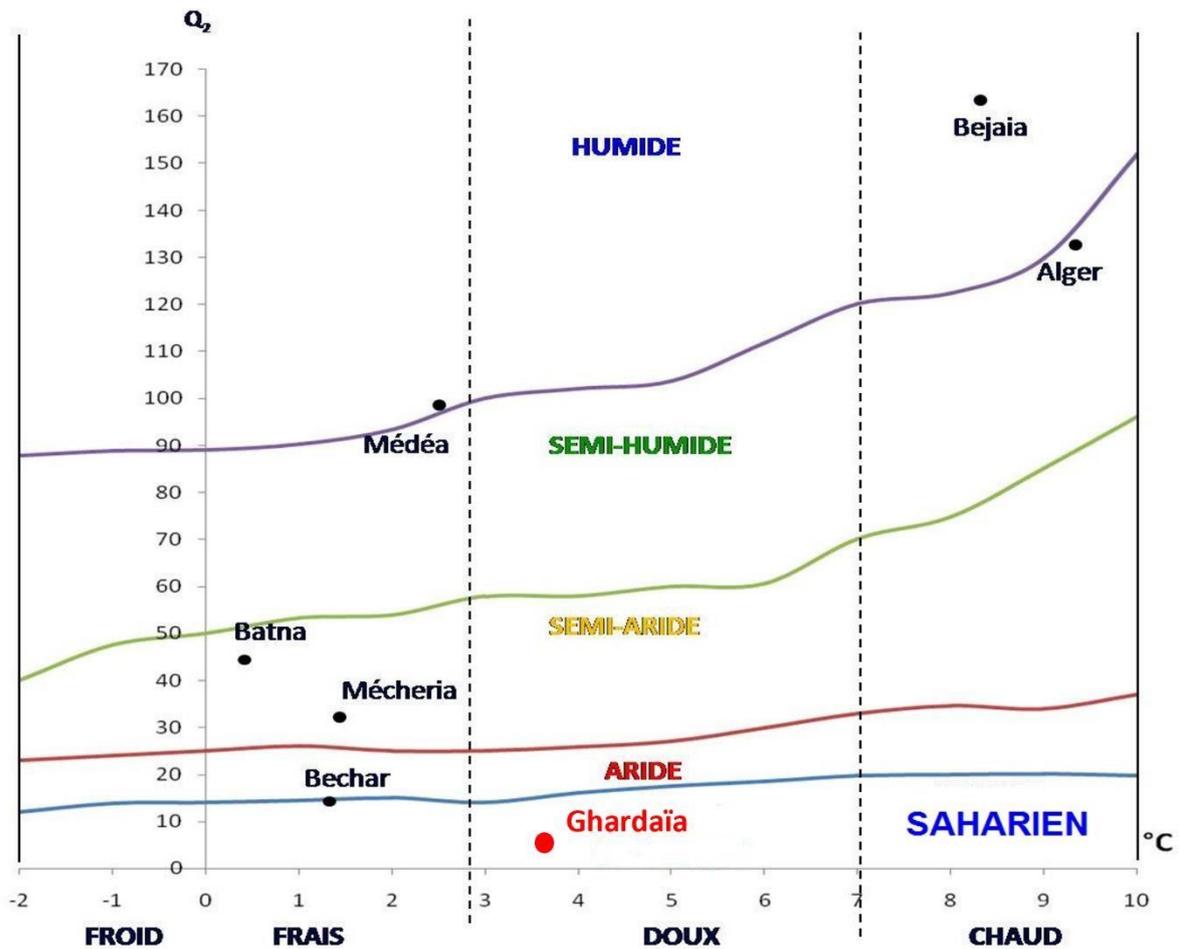


Figure 04 : Etage bioclimatique de Ghardaïa selon climagramme d'EMBERGER (2013 – 2023).

9-Contexte pédologie :

Dans la wilaya de Ghardaïa, on dénombre plusieurs dépressions salines (sebkhas). Certaines zones sont caractérisées par une forte présence du gypse de 20 à 40 cm de profondeur, qui cimente les particules des sols argileux ou sableux. Le gypse, est une roche sédimentaire formée de sulfate de calcium hydraté cristallisé. On l'appelle également pierre à plâtre, car chauffée entre 150 et 200 °C, le gypse perd de l'eau et se transforme en plâtre de construction (BACHI. et BELKACEMI).

,2015).

L'ensemble géomorphologique dans lequel s'inscrit le M'Zab est un plateau rocheux, dont l'altitude varie entre 300 et 800 m. Le paysage est caractérisé par une vaste étendue pierreuse où affleure une roche nue de couleur brune noirâtre. Ce plateau a été marqué par une forte érosion fluviale du début du quaternaire qui a découpé dans sa partie Sud des buttes à sommets plats et a façonné des vallées. L'ensemble se nomme la CHEBKA de M'Zab (ou filet) à cause de l'enchevêtrement de ses vallées. L'Oued M'Zab traverse ce filet de 38.000 km² du Nord-Ouest vers le Sud-est (BACHI. et BELKACEMI., 2015).

La vallée du M'Zab atteint à hauteur de Ghardaïa, une altitude de 500 m. C'est dans le creux de l'Oued M'Zab, sur des pitons rocheux, que s'est érigée la pentapole. Chacune de ces cinq cités est entourée par des collines ravinées par l'érosion pluviale (BACHI. H et BELKACEMI, 2015).

10- Flore:

Le Sahara possède une biodiversité floristique exceptionnelle, comprenant plus de 500 espèces (MAIRE, 1933 ; OZENDA, 1991), dont 162 espèces endémiques sont recensées uniquement dans le Sahara septentrional. Cette région est également riche d'une tradition séculaire de pharmacopée traditionnelle. Plusieurs espèces sont reconnues pour leurs propriétés thérapeutiques remarquables (QUEZEL, 1978).

Au Sahara, le palmier dattier constitue la culture prédominante ; l'oasis se définit essentiellement comme une palmeraie. Sous l'ombrage de ces palmiers, se développent des arbres fruitiers ainsi que diverses cultures maraîchères (OZENDA, 1983). On y observe également une diversité arborée dans les bandes végétalisées, où les bosquets sont principalement implantés en tant que brise-vent dans les zones de mise en valeur agricole. Parmi les espèces recensées figurent *Casuarina equisetifolia*, *Schinus terebinthifolius*, *Eucalyptus globulus*, *Tamarix gallica* (présente dans les lits d'oueds), ainsi que *Pinus halepensis* et *Cupressus sempervirens* (BEN SEMAOUNE, 2008). En dehors des palmeraies, certains groupements floristiques caractéristiques apparaissent dans cette région subdésertique. On y trouve notamment : *Aristida pungens*, *Retama retam*, *Calligonum comosum*, *Ephedra allata*, *Urginea noctiflora*, *Erodium glaucophyllum*, *Haloxylon scoparium*, *Astragalus gombo*, *Capparis spinosa*, *Zilla macroptera*, *Pistacia atlantica*, *Ziziphus lotus*, *Tamarix articulata* et *Populus euphratica* (OZENDA, 1983).

Chapitre II. Méthodologie de travail

Chapitre II. Méthodologie de travail

L'analyse de la couverture pédologique débute par la sélection d'une zone d'étude répondant aux exigences des principaux axes de recherche. Elle se poursuit par des travaux préliminaires visant à définir le plan d'échantillonnage, suivis par l'étude morphologique et analytique des sols, leur classification, et s'achève par l'élaboration d'une esquisse cartographique des sols. (HAMEL, 2023).

1. Choix de site d'étude :

Nous avons sélectionné le site BOUBRAIK (palmeraie DAHOU) situé à Daya Bendhahoua (Fig.05) pour le déroulement de notre travail expérimental. Ce choix est fait pour le raison suivante:

- Utilisation de l'irrigation traditionnelle par submersion, ce qui permet de déduire l'impact de l'irrigation.



Figure 05 : La palmeraie DAHOU (DAHOU et OULAD TAYEB.2025).

2.Présentation du site d'étude :

Le terrain expérimental est situé dans une palmeraie (DAHOU) (32 ,5633264 de latitude nord ; 3,6014999 de longitude est), Elle couvre une superficie totale de 2.8 ha. Elle a été créée en 1970 à la commune de Dhaya Bendhahoua à une distance d'environ 11 Km du chef-lieu de la wilaya de Ghardaïa. La commune Dhaya Bendhahoua s'étale sur une superficie de 2175 Km².

Cette ferme est spécialisée dans la culture des palmiers dattiers, car elle contient 60 palmiers, ainsi que l'agriculture, en particulier les légumes de toutes sortes.

Les ressources en eau sur place proviennent d'un puit traditionnel. Les palmiers sont irrigués de manière aléatoire, La fertilisation est à base d'engrais organiques et d'engrais chimiques.

Les ressources en eau dans la région de Daya Ben Dahoua est la nappe phréatique qui est alimentée par les précipitations saisonnières et les crues contenues dans des retenues traditionnelles. Son exploitation s'effectue par des puits dont la profondeur varie entre 17 et 45 m.



Figure 06 : Localisation du site d'étude. (DAHOU et OULAD TAYEB. 2025).

3. Echantillonnage :

L'échantillonnage a été effectué dans la période 03 à 05/02/2025. Nous avons adopté une méthode aléatoire, avec un nombre de 40 points sur une profondeur de 0-30 cm. Les prélèvements du sol ont été réalisés à l'aide d'une tarière. La zone échantillonnée a été irriguée pendant 50 ans.

4. Analyses au laboratoire :

4.1. Analyses de méthode déchantillonnage:

4.1.1 Analyses du sol :

Les échantillons de sol prélevés sont d'abord séchés à l'air libre. Puis tamisés à l'aide d'un tamis à mailles carrées de 2 mm. Les analyses effectuées portent sur, le carbone organique, la salinité et le pH.

4.1.2 Le carbone organique :

Le carbone organique est déterminé selon la méthode de Walkley et Black. Le résultat obtenu est ensuite multiplié par 1,72 afin d'estimer le pourcentage de matière organique. Cette méthode simple et rapide pour estimer la matière organique du sol par oxydation avec du dichromate de potassium et titrage de l'excès. Elle est largement utilisée mais nécessite un facteur de correction car elle n'oxyde pas toute la matière organique (Walkley. Black. 1934).

4.1.3 Mesure de la conductivité électrique :

La C.E (25°C) du sol a été mesurée par un conductimètre, l'extrait du sol d'un rapport : 1/5 de sol /eau.

4.1.4 Mesure du pH :

La mesure est effectuée à l'aide d'un pH mètre avec un rapport sol/eau (1/5).

4.2. Analyses d'eau :

Les eaux des puits d'irrigation. Sont prélevés et analysés au laboratoire. Les analyses d'eaux ont porté sur la conductivité électrique, le pH et le bilan ionique.

- Conductivité électrique (C.E.) à 15°C : Mesuré au conductimètre.
- pH : Mesuré au pH mètre à électrode en verre.
- Dosage des cations Ca^{++} et Mg^{++} : Par spectrophotométrie à absorption atomique.
- Dosage des cations Na^+ et K^+ : Par spectrophotométrie à flamme.
- Dosage des chlorures (Cl^-) : Par la méthode argentométrique de MOHR, qui consiste à précipiter les ions Cl^- sous forme de AgCl en présence de AgNO_3 .
- Dosage des sulfates (SO_4^{--}) : Par la méthode gravimétrique au BaCl_2 , qui consiste à précipiter les ions SO_4^{--} sous forme de sulfate de baryum en présence de BaCl_2 à 10 %.
- Dosage des bicarbonates (HCO_3^-) : Par titrimétrie à H_2SO_4 . Qui consiste à titrer les bicarbonates en présence de méthylorange par l'acide sulfurique.

Les analyses sont réalisées au niveau de laboratoires de l'Algérienne des eaux de Ghardaïa (ADE)

4.3 Analyses statistiques :

4.3.1 Les statistiques descriptives :

Les statistiques descriptives sont un ensemble de méthodes utilisées pour résumer et décrire les principales caractéristiques d'un ensemble de données. Elles permettent de donner un aperçu clair et concis des données sans chercher à généraliser à une population plus large. Mesures de tendance centrale : Moyenne, médiane, mode. Mesures de dispersion : Variance, écart-type, étendue, quartiles. Représentations graphiques : Histogrammes, diagrammes en boîte, diagrammes circulaires. (TRIOLA, 2018)

Dans notre étude, les statistiques descriptives retenues incluent la moyenne, l'écart-type, ainsi que les valeurs minimale et maximale.

4.3.2 Coefficient de variation :

$$Cv (\%) = 100 \cdot \frac{\sigma}{m}$$

Le coefficient de variation représente le rapport de l'écart type à la moyenne, et il est une statistique utile pour comparer le degré de variation par rapport à une série de données à l'autre, même si les moyennes sont considérablement différentes l'une de l'autre (HAMEL, 2023).

Cinq (5) classes, basées sur la valeur du CV, sont proposées par (NOLIN et al., 1997) pour qualifier l'intensité de la variabilité des sols (Tabl.02).

Tableau 02 : Classes d'intensité de la variabilité (NOLIN et al., 1997).

| Intensité de la variabilité | Coefficient de variabilité (%) |
|-----------------------------|--------------------------------|
| Faible | <15 |
| Modérée | 15-35 |
| Élevée | 35-50 |
| Très élevée | 50-100 |
| Extrêmement élevée | >100 |

4.3.3 Modélisation géostatistique :

La modélisation géostatistique est une méthode statistique essentielle pour analyser et prédire des phénomènes spatiaux. Elle repose sur des concepts fondamentaux tels que la variable régionalisée, qui dépend de la position spatiale (par exemple, la concentration d'un minéral ou le niveau de pollution), l'hypothèse de stationnarité, qui suppose que les propriétés statistiques de la variable sont invariantes dans l'espace, et le variogramme, un outil central qui décrit la variabilité spatiale en montrant comment la variance entre les points change avec la distance.

Les étapes clés de cette modélisation incluent l'exploration des données pour une analyse descriptive et visuelle, le calcul du variogramme pour estimer la structure de dépendance spatiale, la modélisation du variogramme en ajustant un modèle mathématique (comme sphérique ou exponentiel) au variogramme empirique, et enfin le krigeage, une méthode d'interpolation spatiale qui utilise le variogramme pour prédire des valeurs à des emplacements non échantillonnés.

Cette approche trouve des applications dans divers domaines tels que la géologie pour l'estimation des ressources minérales, l'hydrologie pour la modélisation des aquifères et des écoulements souterrains, l'agriculture pour la cartographie des propriétés du sol afin d'optimiser les cultures, et l'environnement pour la surveillance de la pollution de l'air ou de l'eau. Parmi ses avantages, on note la prise en compte de la structure spatiale des données et une estimation précise avec quantification des incertitudes. Cependant, elle présente aussi des limites, comme la difficulté à vérifier l'hypothèse de stationnarité et la complexité des modèles pour des données très hétérogènes (CHILÈS & DELFINER. 2012).

4.4. Krigeage

Le krigeage est une technique d'interpolation spatiale utilisée en géostatistique pour estimer la valeur d'une variable en un point donné, en se basant sur les valeurs observées de cette variable en d'autres points de l'espace. Il s'agit d'une méthode d'estimation optimale au sens des moindres carrés, qui prend en compte la structure de covariance spatiale de la variable étudiée.

□ Applications :

Le krigeage est utilisé dans de nombreux domaines, tels que : Sciences de la Terre : Cartographie des ressources naturelles, estimation des concentrations de polluants, modélisation des aquifères. Agronomie : Estimation des rendements agricoles, cartographie de la fertilité des sols.

Environnement : Surveillance de la qualité de l'air et de l'eau, modélisation de la dispersion des polluants. Météorologie : Prédiction des températures et des précipitations (CHILÈS & DELFINER. 2012).

Chapitre III. Résultats et discussions

1. Analyses physico-chimiques des eaux d'irrigation :

En vue de déterminer la qualité physicochimique des eaux d'irrigation, des analyses sur échantillons ont été effectuées au laboratoire. Les analyses physico-chimiques réalisées sont : le pH, la conductivité électrique, le TDS, le sodium (Na⁺⁺), Potassium (K⁺), calcium (Ca⁺⁺), magnésium (Mg⁺⁺), chlorures (Cl⁻), Carbonate (CO₃⁻²), bicarbonates : (HCO₃⁻) et les sulfates SO₄⁻². Et Autres paramètres, SAR, Turbidité, claire visuellement. NO₃⁻, NH₄⁺. Température.

Les résultats d'analyses d'eau d'irrigation de la palmeraie de DAYA BEN DAHOUA sont représentés dans le tableau (04).

Tableau 03 : Analyses physico-chimiques des eaux d'irrigation.

| | | |
|--|---|---------|
| pH | | 7,2 |
| Conductivité électrique : CE en | uS/cm | 3750 |
| TDS (mg/l) | | Ofll |
| SAR | | 13.05 |
| Salinité (mg/l) | | 2,2 |
| Température (°C) | | 15,6 ° |
| Turbidité | | 0,426 |
| Cations solubles en(mg/l) | Sodium:Na⁺⁺ | 294,44 |
| | Potassium:K⁺ | 10,9 |
| | Calcium: Ca⁺² | 307,814 |
| | Magnésium: Mg⁺² | 201,204 |
| | NH₄⁺ | 0,020 |
| Anions solubles en(mg/l) | Chlorure:Cl⁻ | 690,62 |
| | Bicarbonate: HCO₃⁻ | 194.53 |
| | Sulfate:SO₄⁻² | 800.68 |
| | NO₃⁻ | 0,011 |

L'eau analysée présente un pH de 7,2, ce qui indique une eau neutre à légèrement basique. Cependant, sa salinité est très élevée (2,2 mg/l), la rendant généralement impropre à l'irrigation. De plus, sa conductivité électrique atteint 3750 µS/cm, révélant une forte minéralisation typique

d'une eau salée. Enfin, le SAR de 13,05 indique une teneur élevée en sodium, ce qui représente un risque d'alcalinisation des sols, en particulier ceux à texture fine et à forte capacité d'échange cationique.

Diagramme de RIVERSIDE (1954):

Le diagramme de Riverside, également connu sous le nom de diagramme de Richards (1954), est un outil de classification des eaux d'irrigation développé par le laboratoire américain de salinité (US Salinity Laboratory). Il permet d'évaluer la qualité de l'eau en fonction de deux paramètres principaux : Conductivité électrique (CE) : mesure de la salinité de l'eau, exprimée en microsiemens par centimètre (µS/cm).

Rapport d'adsorption du sodium (SAR) : indicateur du risque de sodisation des sols, calculé à partir des concentrations en sodium (Na⁺), calcium (Ca²⁺) et magnésium (Mg²⁺) dans l'eau (TAIBI, H. KASTALI, F .2018).

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

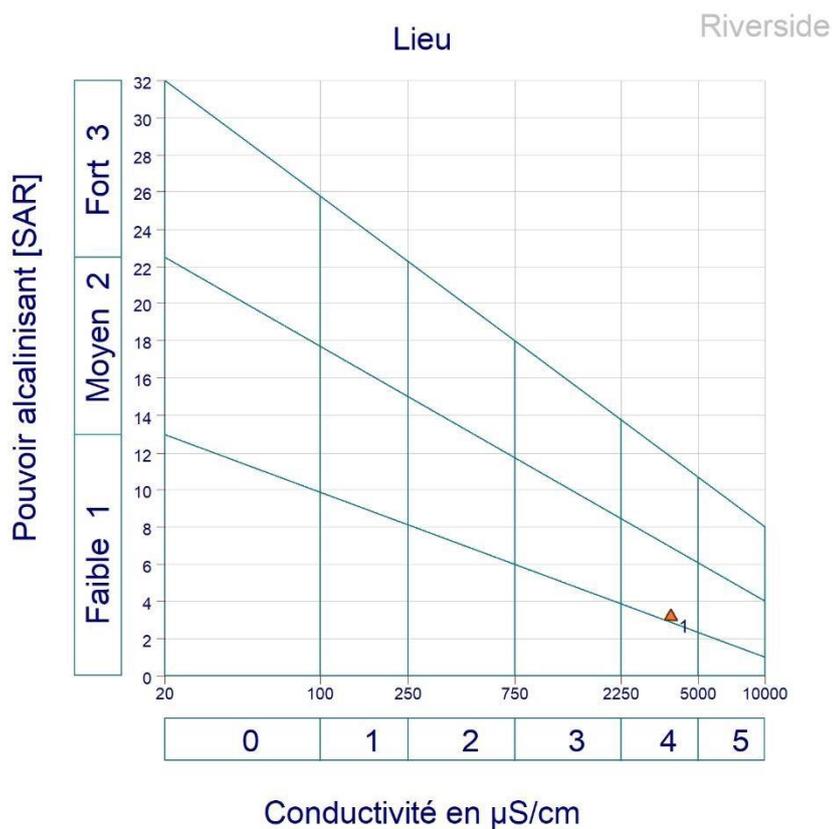


Figure 07 : Classification des eaux d'irrigation dans la région d'étude (Diagramme de RIVERSIDE)

D'après la figure 07, qui représente le diagramme de classification des eaux d'irrigation d'après RIVERSIDE, réalisé par le logiciel DIAGRAMME (6.5), on a pu dégager la présence de la classe C4 : eaux à très forte salinité, S1 : eaux moyennement sodiques (Qualité médiocre à mauvaise). Alors ce sont des eaux inutilisables normalement pour l'irrigation et le danger d'alcalinisation du sol est appréciable dans les sols à texture fine et à forte capacité d'échange.

Le diagramme de Wilcox :

Le diagramme de Wilcox est un outil utilisé pour évaluer la qualité des eaux d'irrigation, proposé par Wilcox en 1955. Il permet de déterminer si une eau est adaptée à l'irrigation en fonction de deux paramètres principaux : La conductivité électrique (CE) : indique la salinité totale de l'eau. Le pourcentage de sodium (Na^+) : exprime la teneur relative en sodium par rapport aux autres cations (calcium et magnésium). Sur le diagramme, la CE est placée en abscisse (axe horizontal) et le pourcentage de sodium en ordonnée (axe vertical). Les eaux sont classées en différentes zones, allant de "excellente" à "très mauvaise" pour l'irrigation (WILCOX.1955).

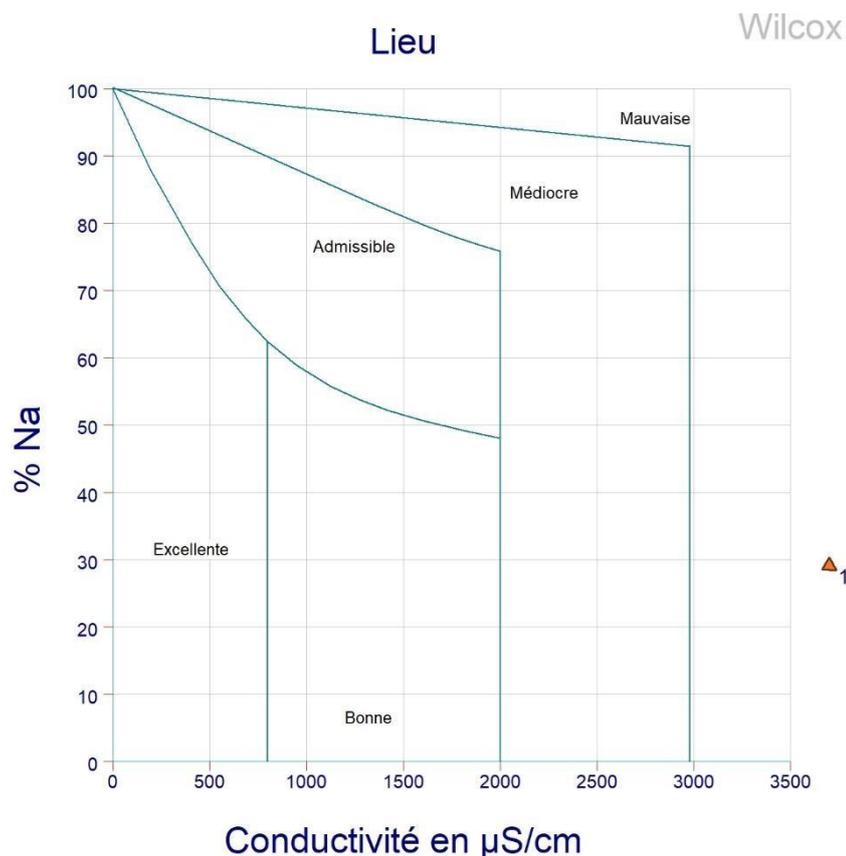


Figure08 : Evaluation de la qualité des eaux d'irrigation dans la région d'étude (Diagramme de WILCOX)

A partir du diagramme de WICOX (Fig08), une classe d'eau est distinguée :

- La classe « Mauvaise » pour l'eau d'irrigation de la palmeraie.

Diagramme de Piper :

Cette méthode est basée sur la représentation des résultats des analyses chimiques sur le diagramme de Piper qui permet de classer et comparer les eaux entre elles. Le diagramme nous permet de représenter des anions et des cations sur deux triangles spécifiques dont les côtés témoignent des teneurs relatives en chacun des ions majeurs par rapport au total de ces ions (cations pour le triangle de gauche, anions pour le triangle de droite). La position relative d'un résultat analytique sur chacun de ces deux triangles permet de préciser en premier lieu la dominance anionique et cationique. A ces deux triangles, est associé un losange sur lequel est reportée l'intersection des deux lignes issues des points identifiés sur chaque triangle. Ce point intersection représente l'analyse globale de l'échantillon, sa position relative permet de préciser le faciès de l'eau minérale concernée (AMOUR.2010).

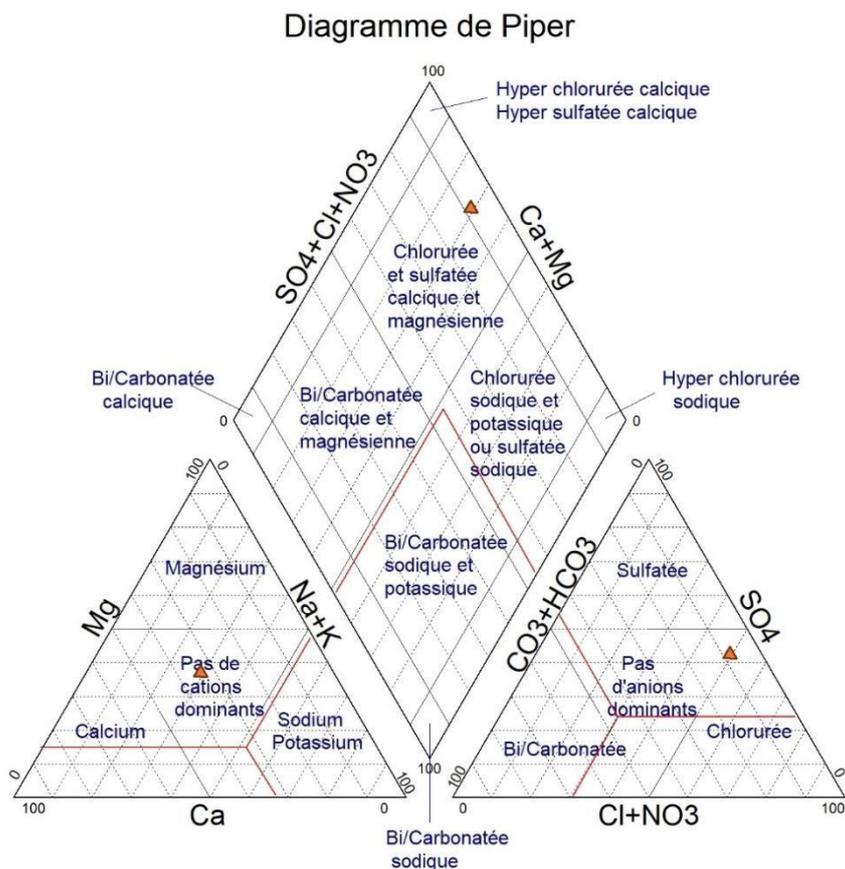


Figure 09: Faciès chimique des eaux de l'irrigation selon le diagramme de piper.

Les données de nos échantillons sont projetées dans le diagramme de Piper (Fig.09). Le faciès des anions est sulfatée, par contre les échantillons analysés ne présentent pas de cation dominant.

2. Etude de la variabilité spatiale de carbone organique du sol :

2.1. Etude de carbone organique :

Dans les régions arides, la matière organique existe mais elle est très faible, voire inexistante. Les conditions climatiques (hautes températures, faible humidité...) défavorisent l'accumulation de la matière organique, et le peu qui s'accumule est rapidement décomposé sous l'action unique des paramètres physiques et chimiques. (HAMEL.2023).

L'étude de carbone organique du sol par la méthode de (WALKLEY et BLACK) est effectuée sur une profondeur de 0-30 cm variée en 40 points.

Tableau04 : Résultats d'analyses de carbone organique dans le sol étudié.

| Paramètre | CO (%) Avant | CO (%) Après |
|--------------------------|---------------------|---------------------|
| Echantillons (40) | | |
| Moyenne | 1.10 | 0.80 |
| Maximum | 1.75 | 1.46 |
| Minimum | 0.09 | 0.04 |
| Écart-type | 0.33 | 0.33 |
| Coefficient de variation | 30.57% | 41.48% |

Les résultats d'analyses statistiques descriptives de carbone organique du sol dans les deux étapes (Avant. Après) :

-le pourcentage du CO varie avant irrigation de 1.75 à 0.09 (pauvre a Très pauvre) avec une moyenne de 1.10 ± 0.33 .

-le pourcentage du CO varie après irrigation de 1.46 à 0.04 (pauvre a très pauvre) avec une moyenne de 0.80 ± 0.33 .

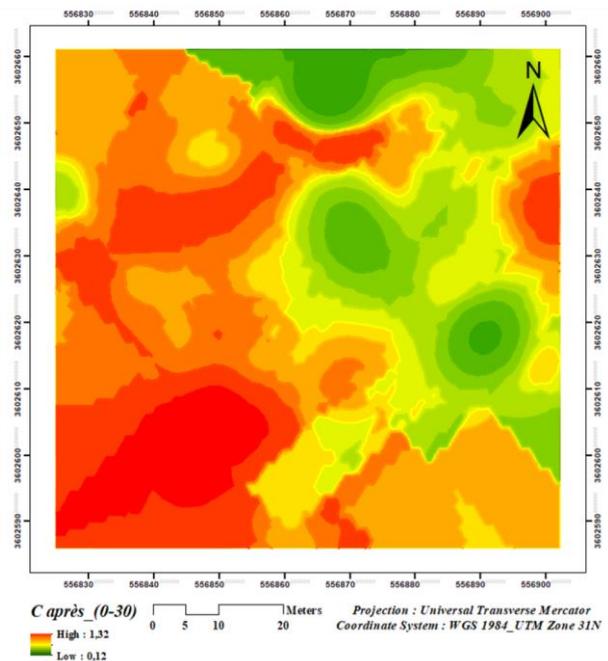
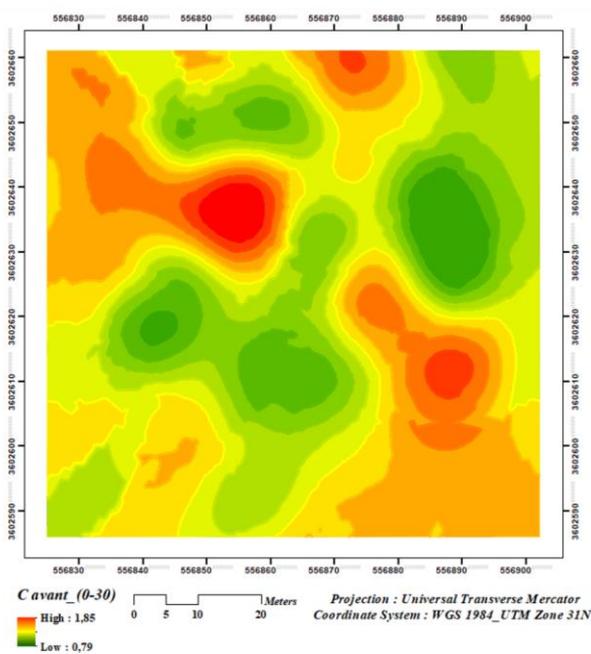
2.2. Réalisation des cartes thématique :

Les cartes thématiques sont réalisées grâce à la technique du krigeage, une méthode géostatistique

dédiée à la modélisation spatiale. Cette approche permet de créer une visualisation cohérente d'un phénomène en partant de données ponctuelles dispersées dans l'espace (Hennequi, 2010). Elle s'appuie sur des procédés d'interpolation linéaire et utilise l'examen de la corrélation spatiale par le biais du variogramme (Burgess et Webster, 1980, comme cité par Laurent et Rossi, 1994). L'objectif principal de la carte thématique est de montrer la répartition spatiale d'un phénomène ou d'une variable précise, par exemple la densité de population, la couverture végétale, ou l'intensité de l'activité industrielle. (BOSSON ET EVRARD, 2005).

2.3. Cartographie par krigeage:

La carte montre que le carbone organique est réparti de manière homogène avec des taux très faibles. On observe qu'après l'irrigation, il se concentre dans la partie l'ouest de la palmeraie.



Le coefficient de variation du carbone dans la zone étudiée avant et après l'irrigation est de 30.57% et 41.48% (modéré à élevé).

3. Etude de la variabilité spatiale de la salinité du sol :

L'étude de la salinité du sol par l'analyse de la conductivité électrique (rapport 1/5) est effectuée sur une profondeur de 0 à 30 cm dans toute la palmeraie étudiée avec un nombre total de 80 prélèvements.

3.1. Etude de la salinité du sol :

Figure 10 : Carte de variabilité spatiale du carbone organique dans la zone étudiée.

La conductivité électrique définit la quantité totale en sels solubles correspondant à la salinité globale du sol. Elle dépend de la teneur et de la nature des sels solubles présents dans ce sol (SERKHAN. BOUDERGA.HAMOU.2019).

Tableau 05 : Résultats d'analyses de la salinité dans le sol étudié.

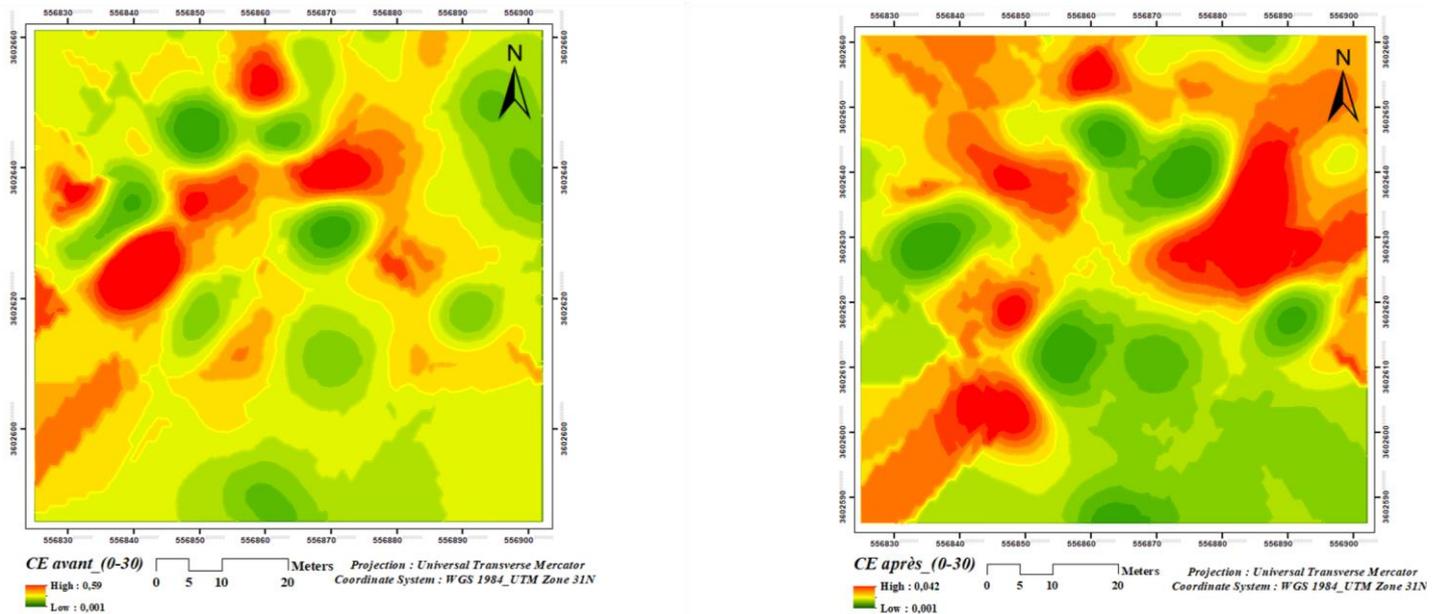
| Paramètre | CE (dS/cm) Avant | CE (dS/cm) Après |
|--------------------------|------------------|------------------|
| Echantillons (40) | | |
| Moyenne | 0.019 | 0.012 |
| Maximum | 0.079 | 0.028 |
| Minimum | 0.0025 | 0.002 |
| Écart-type | 0.015 | 0.007 |
| Coefficient de variation | 77.59% | 59.94% |

Les résultats d'analyses statistiques descriptives de la CE du sol dans les deux étapes (Avant. Après):

- le CE du sol avant irrigation varie de 0.0025 dS/m à 0.079dS/m (non salin) avec une moyenne de 0.019 dS/m \pm 0.015.

- le CE du sol après irrigation varie de 0.028 dS/m à 0.002 dS/m (non salin) avec une moyenne de 0.012 dS/m \pm 0.007.

3. 2. Cartographie par krigeage :



La carte (figure 11) montre une distribution spatiale plus hétérogène de la salinité du sol dans la palmeraie. Les valeurs les plus élevées ont été enregistrées au centre de la palmeraie.

Figure 11 : Carte de variabilité spatiale de la salinité dans la zone étudiée,

Cependant, on observe après l'irrigation une diminution de la salinité avec une large distribution. Le coefficient de variation (avant et après l'irrigation) est de 77.59% et 59.94%. (élevé à très élevé).

4. Etude de la variabilité spatiale de pH du sol :

4.1. Etude pH du sol :

Le pH exprime le niveau d'acidité ou de basicité de l'eau en interaction avec le sol (pH de l'eau). En influençant de nombreux processus chimiques et biologiques, il joue un rôle déterminant dans la disponibilité des éléments nutritifs du sol. Ainsi, le pH représente un indicateur pertinent, surtout lorsqu'il est associé à d'autres paramètres, pour évaluer la fertilité chimique des sols (GADOUM, 2023).

Les résultats d'analyses du pH du sol dans les parcelles étudiées sont présentés synthétiquement dans le tableau 07 :

Tableau 06 : Résultats d'analyses du pH dans le sol étudié.

| Paramètre Echantillons (40) | pH Avant | pH Après |
|--|-----------------|-----------------|
| Moyenne | 7.84 | 8.41 |
| Maximum | 8.45 | 8.9 |
| Minimum | 6.75 | 7.7 |
| Écart-type | 0.43 | 0.27 |
| Coefficient de variation | 5.54% | 3.21% |

Les résultats d'analyses statistiques descriptives du pH du sol dans les deux étapes (Avant. Après) :

- le pH eau du sol avant irrigation varie de 6.75 (neutre) à 8,45 (très alcalin) avec une moyenne de 7.84 ± 0.43 .

- le pH eau du sol après irrigation varie de 7.7 (alcalin) à 8,9 (très alcalin) avec une moyenne de 8.41 ± 0.27 .

4. 2. Cartographie par krigeage:

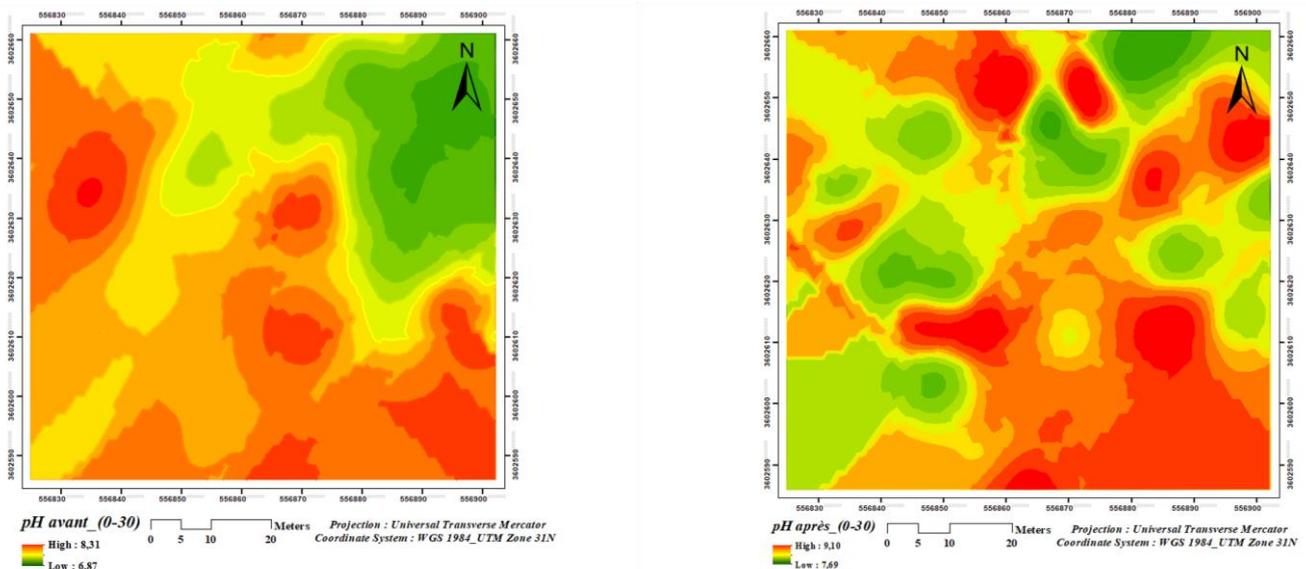


Figure 12 : Carte de variabilité spatiale du pH du sol dans la zone étudiée,

La carte PH avant, pH après (figure 12) montre une variation spatiale homogène du pH dans la zone étudiée, où l'on observe une augmentation des valeurs après l'irrigation. Les résultats indiquent que le sol est alcalin avant et après l'irrigation, en particulier dans les parties nord-est et sud-est. Le coefficient de variation est d'environ 5.54% et 3.21% dans la palmeraie (faible variation spatiale).

5. Test de comparaison (WILCOXON)

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

Tableau 07 : Résultats du test de Wilcoxon

| Wilcoxon Matched Pairs Test (Spreadsheet37) Marked tests are significant at p <0.05 | | | | |
|---|---------|-----|----------|-----------------|
| Comparaison | Valid-N | T | Z | p-value |
| C Avant & C Après | 34 | 22 | 4,71009 | 0.000002 |
| CE Avant & CE Après | 39 | 241 | 2,079295 | 0,037591 |
| pH Avant & pH Après | 39 | 18 | 5,191259 | 0 |

Les résultats ont montré une différence statistiquement significative entre les valeurs mesurées avant et après l'irrigation pour chacun des trois paramètres étudiés (C, CE et PH), ce qui suggère que l'irrigation a eu un effet mesurable sur ces variables.

6. Discussion :

La matière organique exerce un rôle très important sur le sol, elle améliore ses propriétés physiques (stabilité structurale, capacité de rétention en eau,...) et chimiques par la libération progressif des éléments nutritifs et l'augmentation de leur pouvoir absorbant en éléments minéraux apportés par les engrais. (SERKHAN. BOUDERGA.HAMOU.2019).

Les sols désertiques, typiques des régions arides et semi-arides, présentent un ensemble de caractéristiques physico-chimiques qui influencent fortement leur comportement, notamment en ce qui concerne la matière organique et l'effet de l'irrigation. Leur teneur en matière organique est généralement très faible, en raison de la rareté de la végétation et de l'activité biologique (SOCO.2014)

Dans le sol étudié, nous avons observé des teneurs faibles à très faibles en carbone organique, mais cette teneur diminue dans le sol après irrigation. Cela peut s'expliquer par une décomposition de la matière organique, ce qui affecte négativement la teneur en carbone dans le

sol. Dans notre étude, nous avons constaté que le carbone organique du sol varie sous l'effet des eaux d'irrigation tout au long de l'expérimentation. La texture sableuse leur confère un bon drainage, entraînant une infiltration rapide de l'eau mais aussi une perte des éléments dissous ce qui confirme l'effet important de ces eaux (SOCO.2014).

Dans les régions sahariennes d'Algérie, la majorité des eaux d'irrigation proviennent des nappes souterraines, notamment des nappes phréatiques, dont les eaux sont généralement très salées (Masmoudi, 2012). Malgré cette forte salinité de l'eau d'irrigation, les résultats montrent que les sols restent non salins. En effet, la conductivité électrique (CE) du sol avant irrigation varie entre 0,0025 dS/m et 0,079 dS/m, tandis qu'après irrigation, elle fluctue entre 0,002 dS/m et 0,028 dS/m. Ces valeurs confirment un niveau de salinité très faible.

Cette faible accumulation de sels peut s'expliquer par la structure du sol. Une texture sableuse favorise un drainage efficace et le lessivage des sels en dehors de la zone racinaire, limitant ainsi leur accumulation en surface (Hillel, 2000). De plus, certains types de sols, notamment les sols sableux ou riches en matière organique, possèdent une faible capacité de rétention des sels et permettent une plus grande mobilité des ions, ce qui contribue à prévenir la salinisation (Brady & Weil, 2010). Le drainage – qu'il soit naturel ou artificiel joue également un rôle crucial. Il permet d'évacuer les eaux salées en excès et de maintenir le niveau de la nappe phréatique à une profondeur stable, réduisant ainsi les risques de remontée capillaire et d'accumulation de sels à la surface (VAN HOORN, 1995).

Le pH de ces sols est souvent alcalin, variant entre 7,5 et 8,5, en lien avec la présence de carbonates de calcium et de magnésium, ce qui réduit la disponibilité de certains nutriments et freine l'activité microbienne. Nous remarquons que le pH du sol après irrigation présente des valeurs supérieures par rapport au pH du sol avant irrigation. Ces résultats pourraient notamment être expliqués par ces fluctuations après irrigation mettent en évidence une dynamique continue des sels alcalinisant HCO_3 et l'accumulation des sels après irrigation, le lessivage des fractions solubles et par une activité microbienne temporairement stimulée par l'humidité, ce qui accélère la décomposition. (SOCO.2014).

En conclusion, dans les sols désertiques, l'irrigation a un impact direct et rapide sur la teneur en carbone organique, qui diminue par décomposition et lessivage, alors que la salinité baisse et que le pH reste pratiquement inchangé. Cela souligne la fragilité de ces sols face aux changements hydriques, et l'importance d'une gestion adaptée pour maintenir leur fertilité potentielle.

Conclusion

L'irrigation consiste à apporter de l'eau de manière artificielle aux plantes et joue un rôle essentiel dans le développement de l'agriculture, en rendant possible la culture dans les régions arides ou semi-arides. Cependant, une mauvaise gestion de l'irrigation peut avoir des effets négatifs importants sur les sols. Elle peut notamment accentuer la variabilité spatiale de certaines propriétés du sol, telles que l'humidité, la teneur en matière organique ou encore la conductivité électrique, ce qui complique la gestion agronomique des parcelles. Cette étude est menée sur le sol d'une plantation de palmiers dattiers dans la région de Daya Ben Dahoua (Boubrik). L'objectif est de déterminer l'effet de l'irrigation (avant et après) sur la distribution du carbone organique dans les sols de la palmeraie.

Nos expériences visaient à étudier l'effet de l'eau d'irrigation sur la teneur en carbone organique du sol. Pour ce faire, nous avons réalisé une série d'analyses physiques et chimiques sur des échantillons de sol prélevés dans une palmeraie avant et après irrigation. Le suivi des parcelles au cours de notre étude nous a permis de mieux comprendre l'effet de l'eau d'irrigation sur les propriétés physiques et chimiques du sol.

Un champ a été irrigué avec l'eau d'un puits contenant des eaux souterraines. Les résultats de laboratoire ont montré que l'eau était saline et contenait divers éléments minéraux, dont les principaux étaient les sulfates. Ces résultats illustrent l'effet de l'eau d'irrigation sur la distribution des propriétés physique-chimiques des sols.

Les résultats des analyses physiques et chimiques du sol étudié ont montré un pH allant de neutre à légèrement alcalin, une faible teneur en carbone organique, une faible conductivité électrique. Des relations significatives ont été observées entre l'irrigation et certaines propriétés physiques et chimiques du sol.

Les cartes générées par krigeage indiquent des concentrations élevées de carbone organique, aussi bien avant qu'après l'irrigation, principalement dans la partie ouest de la zone d'étude. En ce qui concerne la conductivité électrique, les valeurs les plus importantes ont été enregistrées au centre de la palmeraie. Quant au pH, ses niveaux les plus élevés se concentrent particulièrement dans les zones nord-est et sud-est. Ces cartes permettent également d'estimer les valeurs de ces paramètres dans les zones non échantillonnées, offrant ainsi une représentation spatiale continue des propriétés du sol.

Ces travaux peuvent être complétés par une étude à plus long terme dans les mêmes conditions. L'extension de l'expérience pourrait permettre de suivre l'évolution des paramètres physiques et chimiques du sol sous l'influence de l'eau d'irrigation.

***Références
bibliographiques***

Références bibliographiques

- 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.),
- A.N.R.H., (2016).** Le rapport de l'Agence nationale des ressources hydrauliques 'secteur de Ghardaïa'.
- ASLOUM H., (1990).** Elaboration d'un système de production maraîchère (Tomate, *Lycopersicon esculentum* L.) en culture hors sol pour les régions sahariennes. Utilisation de substrats sableux et d'eaux saumâtres. Thèse de doctorat, développement et amélioration des végétaux, Université de Nice Sophia- Antipolis,
- BELKACEMI S, B. (2015).** L'utilisation des pesticides dans la culture en plein champ dans région de Guerrara (Ghardaïa). Ghardaïa.
- BOUZIANE N., (2012).** - Toxicité comparée des extraits d'*Euphorbia guyoniana* Boiss. & Reut. (Euphorbiaceae) et de *Peganum harmala* L. (Zygophyllaceae) récoltés au Sahara Septentrional Est algérien sur les larves et les adultes de *Schistocerca gregaria* (Forskål, 1775. Mémoire de Magister en Sciences Agronomiques- Protection des Végétaux, Université Kasdi Merbah Oaurla,
- BRADY, N.C., & WEIL, R.R. (2010).** Elements of the Nature and Properties of Soils. 3rd ed. Pearson Education
- CHENINIM (2013).** Impact de l'intensification agricole(céréaliculture sous pivot) sur la variation de la salinité du sol dans la région deGHARDAIA(cas de HASSI EL F'HEL) GHARDAIA
- EATON, J M., MCGOFF, N M., BYRNE, K A., LEAHY, P., KIELY, G. (2008).** Land cover change and soil organic C stocks in the Republic of Ireland 1851– 2000. Climatic Change 91
- FAO. (2007)** Global assessment of land degradation and improvement GLADA report 5.
- FARRAH, H., PICKERING, W.F. (1979).** pH effects in the adsorption of heavy metal ions by clays.
- FTCD., (2017).** Fiche Technique sur la Commune de Daya Ben Dahoua. (2017) Ghardaia.
- FREDERIQUE ABERLENC, BERTOSS.** Biotechnologies du palmier dattier, INSTITUT DE RECHERCHE POUR LE DÉVELOPPEMENT collection Colloques et séminaires, Paris, 2010,du palmier dattier, INSTITUT DE RECHERCHE .

- HALITIM A., (1985).** Contribution à l'étude des sols des zones arides (hautes plaines steppiques de l'Algérie): morphologie, distribution et rôle des sels dans la genèse et le comportement des sols (Doctoral dissertation, Ecole Nationale Supérieure Agronomique).
- HALITIM A., (1988).** Les sols des régions arides d'Algérie. Ed. O. P. U, Alger. 384p.
- HAMEL.I (2015).** Impact de la céréaliculture sous pivot sur la variation spatiale de la matière organique dans la région de Ghardaïa (cas de Hassi El F'Hel). Ghardaïa.
- HAMEL.I (2023).** Caractérisation et cartographie des propriétés physicochimiques des sols de la région de Ghardaïa (Cas de la palmeraie de ZELFANA) Algérie. Ghardaïa.
- HAMEL. A. Hanichi, H. (2019-2020).** Etude Hydrogéologique de l'ensemble aquifère ancien de la région de METLILI (Wilaya de Ghardaïa). Ghardaia.
- HILLEL, D. (2000).** Salinity Management for Sustainable Irrigation: Integrating Science, Environment, and Economics. World Bank Publications.
- HAMOU Fatiha, S.B. (2018-2019).** Impact des eaux d'irrigation sur le taux decarbonateorganique dans le sol Cas de la région de Ksar ChellalaWilaya de Tiaret. Tiaret.
- CHILÈS, J.-P., & DELFINER, P. (2012).** *Geostatistics: Modeling spatial uncertainty* (2nd ed.). John Wiley & Sons.
- GADOUM.R (2023).** Stockage du carbone organique dans différentes types d'utilisation de solaride-cas de Ghardaïa. Ghardaïa.
- GIRALDO, C., ESCOBAR, F., CHARÁ, JD., CALLE ,Z .(2011)** .The adoption of silvopastoral systems promotes the recovery of ecological processes regulated by dung beetles in the ColombianAndes: ecological processes regulated by dung beetles.
- GUESSOUM. H (2019).** Relation qualité des eaux et propriétés des sols dans les palmeraies La région de Ghardaïa (cas de Sebseb). . ANNABA .
- GRIMAUD, A., & ROUGE, L. (2009).** Sequestration du Carbone et politique climatique optimal. Economie prevision, 190191(4),
- JAILLARD B., (1980).** Fonctionnement hydrique d'un sol Carbonaté. Incidence sur la chlorose ferrique. Thèse de 3' cycle, U.S.T.L., Montpellier.
- KADI A., (1997).** La gestion de l'eau en Algérie Hydrological Sciences-Journal-des Sciences

- KRAIMAT .M (2020).** Réponses adaptatives de quelques populations d'arachide locales (*Arachis hypogaea* L.) à la déficience en phosphore: Approches agro-morphologique, physiologique et biochimique. . OUARGLA .
- LE HOUEROU, H. N. (1989).** Classification écoclimatique des zones arides (sl) de l'Afrique du Nord. *Ecologia mediterranea*, 15(3),
- MASMOUDI A., (2012).** Problèmes de la salinité liés à l'irrigation dans la région Saharienne Cas des Oasis des Ziban. Thèse de doctorat, université Mohamed Khider – Biskra.
- MAIRE R., (1933).** Études sur la flore et la végétation du Sahara central. Mémoire de la société d'histoire naturelle de l'Afrique du nord. Mission du Hoggar II, Alger,
- MESSAR , E.M. LE SECTEUR PHOENICICOLE ALGERIEN :** Situation et perspectives à l' horizon 2010. In :Ferry M. (ed.), Greiner D. (ed.). *Le palmier dattier dans l'agriculture d'oasis des pays méditerranéens* .Zaragoza : CIHEAM, 1993.
- OZENDA P., (1991).** Flore et végétation du Sahara. Ed. CNRS, 3ème édition augmentée, Paris
- QUEZEL S. et SANTA S. (1963).** Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. CNRS, Paris.
- QUÉZEL P., (1978).**Peuplement végétal des hautes montagnes de l'Afrique du nord. Encyclopédie biogéographique et écologique. Ed. Paul Lechevalier, Paris.
- TIR C., (2007).** Genèse des sols à accumulation gypso-calcaire et salines dans la région de Ain Ben Noui- Biskra, approche minéralogique et morpho scopique. Thèse de magister, institut national agronomique EL Harrach
- UNESCO, (1960).**- Les plantes médicinales des régions arides. Recherche sur les zones arides, vol. 13, Paris, 99 p.université du QUEBEC à montréal Service des bibliothèques.
- VAN HOORNJ.W., (1995).** Développement de la salinité du sol dans la zone racinaire. Académie d'agriculture de France 81,2,61 -72.
- WILCOX. L.V. (1955).** Classification and Use of Irrigation Waters. united states departement of agriculture circular NO.969.Washington; D.C.
- <https://en.tutiempo.net/climate>.

Annexes

Annexes

Annexes 01 : 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 |

Annexes 02 : Échelle d'interprétation de la 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 |
| $2,4 < \text{C.E.} \leq 6$ | Sol extrêmement salé |

Annexes 03: Echelles 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 |

Annexes 04: Classification des eaux selon la conductivité électrique à 21°C et le danger d'alcalinisation (RICHARDS, 1954).

Salinité de l'eau:

| | |
|-------------------------|---|
| CE < 0,25 dS/m . | eaux non salines, utilisables pour l'irrigation de la plupart des cultures. |
| 0,25 < CE dS/m . | eaux à salinité moyenne, utilisables avec un léger lessivage. |
| 0,75 < CE < 2,25 dS/m . | eaux à forte salinité, inutilisables pour les sols à drainage restreint. |
| 2,25 < CE < 5 dS/m . | eaux à très forte salinité, inutilisables normalement pour l'irrigation. |

Danger d'alcalinisation du sol:

| | |
|----------------|--|
| SAR de 0 à 10 | Eaux faiblement sodiques, utilisables pour l'irrigation de presque tous les sols avec peu de danger d'alcalinisation. |
| SAR de 10 à 18 | Eaux moyennement sodiques, le danger d'alcalinisation du sol est appréciable dans les sols à texture fine et à forte capacité d'échange. |
| SAR de 18 à 26 | Eaux fortement sodiques, pouvant provoquer l'apparition d'une sodicité dangereuse dans la plupart des sols. |
| SAR > 30 | Eaux très fortement sodiques, le danger d'alcalinisation est très fort. |