



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة الشهيد حمه لخضر الوادي

Université Echahid Hamma Lakhdar EL-OUED

كلية علوم الطبيعة والحياة

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

قسم العلوم الفلاحية

Département d'agronomie



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de Master Académique

Filière : Sciences Agronomie

Spécialité : Production végétale

THEME

**Etude comparative de l'impact de la fertilisation
Chimique et organique sur les teneurs en métaux lourds
(dans les sols de l'Oued)**

Présenté par CHOUIA Meriem & DJEDIR Ines

Devant le jury composé de

Président	Mahda Ismail	M.C.A	Université Echahid Hamma Lakhdar D'EL-Oued
Examineur	Khaled laiche	M.C.A	Université Echahid Hamma Lakhdar D'EL-Oued
Promoteur	Khadraoui Meriem	M.A.A	Ecole Supérieur D'Agronomie El-Oued
Copromoteur	Dr Mouane Aicha	M.C.A.	Université Echahid Hamma Lakhdar D'EL-Oued

- Année universitaire 2025/2026-

الإهداء

بسم الله الرحمن الرحيم

الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات، والذي وفقني وأعانني ومنحني القوة والصبر والعزيمة لإتمام هذا العمل، فله الحمد والشكر كما ينبغي لجلال وجهه وعظيم سلطانه... أهدي ثمرة جهدي ونجاحي هذا

إلى أمي الحبيبة

إلى من كانت دعواتها نورًا يضيء طريقي، وإلى من غرست في نفسي الأمل والثقة وحب النجاح، إلى القلب الذي منحني الحب دون مقابل، وإلى العين التي سهرت من أجل راحتني وسعادتي.

أمي الغالية، مهما كتبت من كلمات فلن أستطيع أن أوفيك حقك، فأنت سر قوتي وأجمل نعمة أنعم الله بها عليّ. أسأل الله أن يحفظك ويدمك سندًا وتاجًا فوق رأسي

إلى أبي العزيز

إلى من علمني أن النجاح ثمرة الصبر والعمل، وإلى من كان سندي وعوني في كل مراحل حياتي، وبذل كل ما يستطيع لأصل إلى هذه اللحظة

أبي الغالي، لك مني كل الحب والاحترام والتقدير، وأسأل الله أن يجزيك عني خير الجزاء.

إلى أخي الكبير

إلى من كان أخًا وسندًا وصديقًا، وإلى من لم يبخل عليّ يومًا بالدعم والتشجيع والكلمة الطيبة.

شكرًا لك على وقوفك إلى جانبي وثقتك الدائمة بي، فلك مني خالص المحبة والعرفان إلى إخوتي وعائلتي الكريمة

الذين أحاطوني بالمحبة والدعم، وكانوا مصدرًا للقوة والعزيمة في مختلف محطات حياتي، حفظكم الله وأدامكم نعمة في حياتي

إلى صديقتي المقربة وشريكتي في هذا العمل، مريم

إلى من شاركتني رحلة البحث والاجتهاد، وتقاسمت معي لحظات التعب والقلق قبل الفرح والنجاح، وإلى من كانت خير رفيقة خلال هذا المشوار العلمي

شكرًا لك على تعاونك وإخلاصك وروحك الطيبة، وأسأل الله أن يوفقك. ويجعل النجاح حليفك في كل خطوة من خطوات حياتك

إلى أستاذتي المشرفة

التي رافقتني بتوجيهاتها ونصائحها العلمية القيمة، وساهمت بخبرتها وعلمها في

إنجاز هذا العمل، فكان لإشرافها أثر بالغ في إتمامه
أتقدم إليها بخالص الشكر والاحترام والتقدير
إلى صديقتي العزيزات
رفيقات الدرب وأجمل الذكريات، شكراً لكل لحظة دعم ومساندة وتشجيع، ولكل كلمة
كانت سبباً في رفع معنوياتي ومواصلة طريقي
إلى كل من ساهم من قريب أو بعيد في مساعدتي خلال مسيرتي الدراسية،
إلى كل من قدم لي يد العون أو كلمة طيبة أو نصيحة صادقة، لكم مني أسمى عبارات
الشكر والامتنان
وأخيراً إلى نفسي
إلى نفسي التي صبرت واجتهدت وتحذت الصعاب ولم تستسلم رغم التحديات، إلى
نفسي التي آمنت بحلمها وسعت لتحقيقه بكل عزيمة وإصرار
أهدي هذا الإنجاز تقديراً لكل ما بذلته من جهد حتى وصلت إلى هذه اللحظة
إلى كل هؤلاء أهدي هذا العمل المتواضع، راجيةً من الله أن يجعله علماً نافعاً، وخطوةً
مباركةً نحو مستقبلٍ مليءٍ بالنجاح والعطاء والتوفيق

ايناس

الإهداء

الْحَمْدُ لِلَّهِ الَّذِي بِنِعْمَتِهِ تَتِمُّ الصَّالِحَاتُ
أَتَاهَا اللهُ مِنْ وَاسِعِ فَضْلِهِ "مَنْ قَالَ: ***"أنا لها" نالها و"أنا لها رَغَمِ الصَّعَابِ
ها أنا اليوم أصل إلى نهاية رحلتي الجامعية بعد سنوات من الجد والاجتهاد والتحديات، وبفضل الله أولاً
وآخرًا حققت هدفي، فالحمد لله على نعمة التوفيق عند البداية وعند الختام والحمد لله على نعمة التوفيق
التي لا تضاهيها نعمة.
بدايةً، إلى قطاع غزة المرباط المحتسب، سلام عليكم بما صبرتم فنعم عقبى الدار، نسأل الله أن يكتب لكم
النصر والفرج القريب.
إلى الذي زَيْنَ اسمي بأجمل الألقاب، ودعمني بلا حدود، وأعطاني بلا مقابل، إلى من سعى لراحتي
ونجاحي، إلى وسندي وملأني وقوتي بعد الله، إلى فخري واعتزازي والذي العزيز
إلى من جعل الله الجنة تحت أقدامها، إلى من احتضنني قلبها قبل يديها، وسهّلت لي الشدائد بدعائها، إلى
القلب الحنون والشمعة التي أنارت لي دروب الحياة، وسر قوتي ونجاحي، إلى من كانت تشاركني
أفراحي وأحزاني،
إلى داعمتي الأولى أعظم امرأة في الوجود أُمِّي الغالية
إلى ضلعي الثابت وأمان أيامي، إلى من شددت عضدي بهم فكانوا خير سند وخير رفقة، إلى ينانيع
المحبة والعطاء، وقرة عيني وبهجة أيامي أخواتي وأخوتي .
إلى روحي جدتي وابن أخي الغاليين رحمهما الله رحمة واسعة، اللذين غابا عن عيني ولم يغيبا عن قلبي
ودعائي، أهدي هذا الإنجاز لروحيهما الطاهرتين، وأسأل الله أن يجعل هذا العمل صدقة جارية في ميزان
حسناتهما.
إلى صديقتي المقربة وزميلتي في هذا العمل ايناس ، إلى من شاركتني أيام الدراسة بحلوها ومرّها،
وتقاسمت معي لحظات التعب والنجاح، فكانت خير رفيقة وخير سند.
إلى كل من كان عونًا وسندًا في هذه المسيرة، وإلى رفيقات الدرب وأصحاب الشدائد والأزمات، إلى
صديقاتي العزيزات اللواتي شاركنني لحظات النجاح والتعب .
إلى من تقاسمنا معهم مقاعد الدراسة، فكانوا خير جليس وخير رفاق، إلى زملائي الأعزاء
إلى أستاذتي المشرفة تقديراً لجهودها القيمة وتوجيهاتها السديدة، وامتناناً لما قدمته من دعم
ونصح طيلة إنجاز هذا العمل
كما أهدي فرحة تخرجي لكل من أمسك بيدي وساعدني على النهوض كلما تعثرت، ولكل من آمن
بقدرتي على النجاح. وأهديها أيضاً لمن أرادوا بي كسرًا، فكان فضل الله أكبر، وخيب الله ظنونهم،
وزادني قوةً وعزيمةً وجبراً.
وفي الختام، أحمّد الله على تمام هذه النعمة، وأسأله أن يجعل هذا النجاح بدايةً لأيام أجمل
ومستقبل أفضل، وأن يوفقنا لما يحب ويرضى

مريم

الملخص

هذه الدراسة المقارنة لتأثير التسميد الكيميائي والعضوي على المعايير الفيزيائية-الكيميائية للتربة وتراكم المعادن الثقيلة في منطقة الوادي، الجزائر.

هذا العمل يقارن التسميد الكيميائي والعضوي على جودة التربة، بتحليل الأس الهيدروجيني، التوصيل الكهربائي، المادة العضوية، القوام والعناصر المعدنية للكشف عن جودة التربة الزراعية.

النتائج المحصل عليها تظهر أن تربة الوادي تتميز بخصائص للتربة القاحلة في الجنوب الكبير: تفاعل متعادل إلى قليل القلوي (pH 7-8)، ملوحة منخفضة إلى متوسطة (CE 2-4 dS/m) وقوام رملي غالب. هذه الخصائص تحد طبيعياً من احتباس الماء والعناصر الغذائية، مما يضر بالخصوبة.

نلاحظ أن التسميد الكيميائي المكثف، خاصة مع الأسمدة الفوسفاتية، يؤدي إلى تراكم تدريجي للمعادن الثقيلة (الكاديوم، البلازم) في الطبقة السطحية. هذا التراكم يصبح خطراً حقيقياً على صحة النباتات وسلامة الإنتاج الزراعي.

التسميد العضوي يحسن الخصوبة بزيادة المادة العضوية، تحسين بنية التربة وتعزيز احتباس الماء، لكنه يتطلب مراقبة صارمة لنوعية المواد المضافة لتجنب الملوثات.

الخصوبة المستدامة لتربة الوادي تتطلب إدارة عقلانية ومدمجة تجمع التسميد العضوي بمراقبة جيدة لتحسين مرونة التربة الرملية وتقليل المعادن الثقيلة، مع موازنة الإنتاجية الفورية والسلامة البيئية طويلة الأمد.

الكلمات المفتاحية: التسميد الكيميائي، التسميد العضوي، المعادن الثقيلة، التربة، المحاصيل الزراعية، الخصائص الفيزيائية والكيميائية، الوادي

Résumé

Cette étude comparative évalue l'impact de la fertilisation chimique et organique sur les paramètres physico-chimiques du sol et l'accumulation de métaux lourds dans la région d'El

Oued, Algérie. Ce travail compare la fertilisation chimique et organique sur la qualité des sols, en analysant pH, CE, matière organique, texture et éléments minéraux pour diagnostiquer la qualité des sols agricoles.

Résultats obtenus montrent que les sols d'El Oued présentent des caractéristiques typiques des sols arides du Grand Sud : réaction neutre à légèrement alcaline (pH 7-8), salinité faible à moyenne (CE 2-4 dS/m) et texture majoritairement sableuse. Ces propriétés limitent naturellement la rétention d'eau et d'éléments nutritifs, compromettant la fertilité.

Nous constatons que, La fertilisation chimique intensive, surtout avec des engrais phosphatés, entraîne une accumulation progressive de métaux lourds (cadmium, plomb) dans la couche superficielle. Ce cumul devient un risque réel pour la santé des plantes et la sécurité des productions agricoles.

La fertilisation organique améliore la fertilité en augmentant la matière organique, optimisant la structure du sol et renforçant la rétention d'eau, mais exige une surveillance rigoureuse de la qualité des amendements pour éviter les contaminants.

La fertilité durable des sols d'El Oued exige une gestion rationnelle et intégrée combinant fertilisation organique bien surveillée pour améliorer la résilience des sols sableux et limiter les métaux lourds, tout en équilibrant productivité immédiate et sécurité environnementale long terme.

Mots-clés : fertilisation chimique, fertilisation organique, métaux lourds, sol, cultures, propriétés physicochimiques, région d'El Oued.

Abstract

This comparative study evaluates the impact of chemical and organic fertilization on soil physico-chemical parameters and heavy metal accumulation in the El Oued region, Algeria.

This work compares chemical and organic fertilization on soil quality, analyzing pH, electrical conductivity, organic matter, texture, and mineral elements to assess agricultural soil quality. The results show that El Oued soils present typical characteristics of arid soils in the Grand South: neutral to slightly alkaline reaction (pH 7-8), low to medium salinity (CE 2-4 dS/m), and predominantly sandy texture. These properties naturally limit water and nutrient retention, compromising fertility.

We observe that intensive chemical fertilization, especially with phosphate fertilizers, leads to progressive accumulation of heavy metals (cadmium, lead) in the surface layer. This accumulation becomes a real risk for plant health and agricultural production safety.

Organic fertilization improves fertility by increasing organic matter, optimizing soil structure, and enhancing water retention, but requires strict monitoring of amendment quality to avoid contaminants.

Sustainable fertility of El Oued soils requires rational and integrated management combining organic fertilization with good monitoring to improve sandy soil resilience and reduce heavy metals, while balancing immediate productivity and long-term environmental safety.

Keywords: chemical fertilization, organic fertilization, heavy metals, soil, crops, physicochemical properties, El Oued region.

Remerciements

Louange à Allah qui nous a accordé la réussite et nous a aidées à mener ce travail à son terme. Que la paix et les bénédictions soient sur notre Prophète Mohammed. (ﷺ)

Nous adressons tout d'abord nos plus sincères remerciements et notre profonde gratitude à notre encadreuse, Mme Khadraoui Meriem, qui n'a cessé de nous guider par ses précieux conseils scientifiques et ses orientations pertinentes. Son accompagnement, sa disponibilité et son soutien tout au long de la réalisation de ce mémoire ont été d'une grande importance. Qu'elle trouve ici l'expression de notre profonde reconnaissance.

Nous exprimons également nos vifs remerciements à Dr Mouane Aïcha pour son aide précieuse ainsi que pour les conseils et le soutien qu'elle nous a apportés dans les différents aspects liés à ce travail.

Nous tenons aussi à adresser nos sincères remerciements à Dr Mahda Ismaïl, président du jury, pour avoir accepté de présider la soutenance de ce mémoire ainsi que pour son soutien moral et ses encouragements tout au long de sa réalisation.

Nos remerciements s'adressent également à Dr Khaled El Ayech pour avoir accepté d'examiner ce travail et pour les remarques scientifiques constructives qu'il a bien voulu nous apporter.

Nous exprimons notre profonde gratitude à Mme Khlaïfa Wafa, propriétaire de l'exploitation agricole, pour sa précieuse collaboration et pour avoir facilité les opérations d'échantillonnage nécessaires à la réalisation de cette étude.

Nous remercions également tous les étudiants qui nous ont aidées durant les différentes étapes de l'étude de terrain et de la collecte des échantillons. Leur coopération a contribué de manière significative à l'aboutissement de ce travail.

Nous adressons aussi nos sincères remerciements aux responsables et aux techniciens des laboratoires pour leur aide dans la réalisation des analyses et pour toutes les facilités accordées lors de la conduite de la partie expérimentale de cette étude.

Enfin, nous exprimons notre gratitude à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce modeste travail.

Louange à Allah, Seigneur des Mondes.

Liste des figures	
Figure 01 : Localisation de la zone d'étude Hassi Khalifa dans la wilaya d'El Oued	7
Figure 02 : Présentation graphique de la vitesse moyenne mensuelles des vents	17
Figure 03 : Présentation graphique de précipitations moyenne mensuelles	17
Figure 04 : Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSE	18
Figure 05 : Position de la région d'El Oued sur le climagramme d'Emberger	20
Figure 06 : Localisation de la commune de Hassi Khalifa dans la wilaya d'El Oued	21
Figure 07 : PH-mètre utilisé pour la mesure du pH des échantillons	27
Figure 08 : Agitateur magnétique utilisé pour la préparation des échantillons	27
Figure 09 : Agitateur magnétique utilisé pour la préparation des échantillons	28
Figure 10 : Conductimètre utilisé pour la mesure de CE	29
Figure 11 :Appareil de photométrie de flamme (Flame Photometer).	31
Figure 12 : Four à moufle utilisé pour la détermination de la MO du sol	33
Figure13 : Tamiseuse vibrante utilisée pour l'analyse granulométrique des sols.	35
Figure14 : Série de tamis normalisés utilisée pour le tamisage des échantillons de sol	36
Figure15 : Comparaisons de CE dans la FB et la FNB	25
Figure16 : Comparaisons de pH dans la FB et la FNB	26
Figure17 : Comparaisons de MO dans la FB et la FNB	27
Figure18 : Comparaisons de K ⁺ dans la FB et la FNB	28
Figure 19 : Comparaisons de Ca ⁺² dans la FB et la FNB	29
Figure20 : Comparaisons de Na ⁺ dans la FB et la FNB	30
Figure 21 : Comparaisons de Cd dans la FB et la FNB	31
Figure22 : Comparaisons de Pb dans la FB et la FNB	32

Liste des tableaux	
Tableau 01 : Les produits agricoles végétales les plus importants de la vallée du Souf , Wilaya d'El-Oued	09
Tableau 02 : Les produits agricoles animales de la vallée du Souf ,	09
Tableau 03 : Les maladies les plus répandues dans les cultures agricoles de la région d'El Oued	11
Tableau 04 : Les principaux ravageurs des cultures agricoles dans la région d'El Oued	12
Tableau 05 : Liste de quelques espèces végétales recensées selon le site d'étude.	13
Tableau 06 : Répartition mensuelle de la température moyenne dans la région	16
Tableau 07 : l'humidité moyenne mensuelle d'El Oued durant la période 2013-2023	16
Tableau 08 : les résultats analytiques granulométriques de sol de FB	32
Tableau 09 :les résultats analytiques granulométriques de sol de FNB	33

Sommaire	
الإهداء	
الملخص	
Remerciements	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
LISTE DES ABRÉVIATIONS	
Introduction Général	
Chapitre1 : Présentation de la région d'étude	
I. Présentation de la région d'El Oued	6
I.1 Situation géographique de la wilaya d'El-Oued	6
I.1.1 L imites administratives et naturelles de wilaya	6
I.1.2 Division administrative de la wilaya de El Oued	7
I.2 Situation économique	8
I.2.1 Artisanat	8
I.2.2 Commerce	8
I.2.3 Industrie	8
I.2.4 Agriculture	9
I.4 Facteurs écologiques de la région d'étude	10
I.4.1 Facteurs biotiques	10
I.4.2 Facteurs abiotiques	13
I.5.1 Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN	18
I.5.2. Climagramme d'Emberger	19

I.5 Situation géographique de la commune de Hassi Khalifa	21
I.6 Facteurs écologiques de la station d'étude	22
I.6.1 Facteurs biotiques	22
I.6.2 Facteurs abiotique	23
Chapitre 2 : Matériels et Méthodes	
II. Matériels et Méthodes	25
II.1 Choix du site	25
II.2 Méthode d'échantillonnage	25
II.3 Préparation des échantillons	25
II.4 Les analyse chimiques du sol	25
II.4.1 Détermination du pH du sol	26
II.4.2 Détermination de la conductivité électrique du sol CE	28
II.4.3 Détermination du minéraux échangeables par Photomètre à flamme (utilisation de l'acétate d'ammonium)	29
II.4.3.1 Préparation de la solution et extraction	29
II.4.3.2 Matériel utilisé	30
II.4.3.3 Méthode de calcul	30
II.4.4 Détermination de la matière organique par la méthode de la perte au feu	31
(Loss on Ignition, LOI)	31
II.4.5. Détermination des métaux lourds par la méthode d'adsorption	33
II.5 Analyses physiques du sol	34
II.5.1 Granulométrie	34
Chapitre3 : Résultats et discussions	
III.1 Interprétation des résultats analytiques	38

III.1.1 Conductivité électrique (CE)	39
III.1.2 Potentiel hydrogène (pH)	39
III.1.3 La matière organique (MO)	40
III.1.4 Le Potassium échangeables (K^+)	41
III.1.5 Le Calcium échangeables (Ca^{2+})	42
III.1.6 Le Sodium échangeables (Na^+)	43
III.1.7 Le Cadmium (Cd)	43
III.1.1 Le Plomb (Pb)	44
II.1.9 La granulométriques	45
Discussion générale	45
Conclusion générale	46
SOURCES	46

LISTE DES ABRÉVIATIONS

Ca²⁺ : Calcium

Cd : Cadmium

CE : Conductivité électrique

CH₃COONH₄ : Acétate d'ammonium

cm : Centimètre

C° : Degré Celsius

DPAT : Direction de la Planification et de l'Aménagement du Territoire

DSA : Direction des Services Agricoles

ENAGEO : Entreprise Nationale de Géophysique

FAO : Food and Agriculture Organization

FB : Ferme Biologique

FNB : Ferme Non Biologique

g : Gramme

H : Humidité relative

ha : Hectare

ISO : Organisation internationale de normalisation

K⁺ : Potassium

kg : Kilogramme

L : Litre

LOI : Loss on Ignition

mg : Milligramme

mL : Millilitre

mm : Millimètre

MO : Matière organique

Na⁺ : Sodium

ONM : Office National de la Météorologie

P : Précipitations

Pb : Plomb

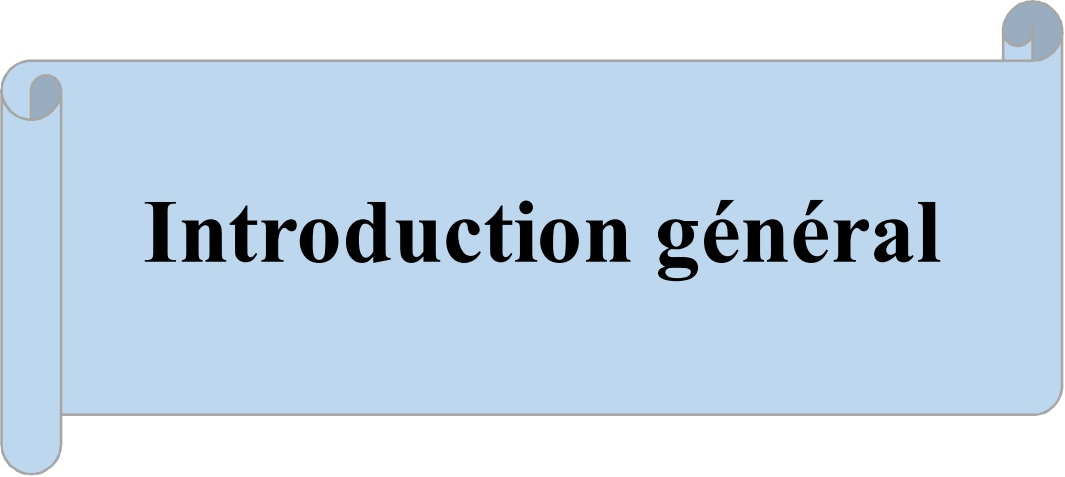
pH : Potentiel hydrogène

ppm : Parties par million

Qx : Quintal

T : Température

USDA : United States Department of Agriculture



Introduction général

Introduction générale

Le sol constitue l'une des ressources naturelles les plus importantes sur lesquelles reposent les écosystèmes et la production agricole. Il représente le milieu fondamental de croissance des végétaux ainsi que le principal réservoir des éléments nutritifs et de l'eau indispensables au maintien de la vie. Il joue également un rôle essentiel dans de nombreux processus physiques, chimiques et biologiques contribuant à l'équilibre environnemental et à la durabilité des systèmes de production agricole (**Brady & Weil, 2002**).

Face à l'augmentation continue de la demande en produits agricoles, liée à la croissance démographique et à l'expansion urbaine, l'amélioration de la fertilité des sols est devenue une priorité majeure pour assurer la sécurité alimentaire. La fertilisation constitue ainsi l'une des pratiques agricoles les plus utilisées pour compenser les pertes en éléments nutritifs du sol et améliorer la productivité des cultures. Elle repose principalement sur l'utilisation d'engrais minéraux et organiques destinés à fournir aux plantes les éléments nécessaires à leur croissance et à l'amélioration des rendements agricoles (**Savci, 2012**).

La région d'El Oued a connu, au cours des dernières décennies, un développement agricole remarquable grâce à l'exploitation des ressources en eaux souterraines et à l'adoption de techniques modernes de production. Cette évolution s'est accompagnée d'une augmentation de l'utilisation de différents types d'engrais visant à améliorer les propriétés du sol et à accroître les rendements agricoles. Toutefois, l'usage intensif et continu des engrais, en particulier des engrais chimiques, peut entraîner l'introduction d'éléments traces et de métaux lourds dans le sol, en raison de la présence d'impuretés métalliques dans certains engrais phosphatés qui s'accumulent progressivement dans le milieu agricole au fil des apports répétés (**Mortvedt, 1996**).

Les métaux lourds sont considérés comme des polluants environnementaux préoccupants en raison de leur capacité à s'accumuler dans les sols et à persister durant de longues périodes sans dégradation significative. Bien qu'ils soient naturellement présents dans les sols à la suite de processus géologiques, les activités anthropiques, notamment les pratiques agricoles intensives, constituent l'une des principales sources de leur enrichissement dans les sols cultivés. Plusieurs études ont montré que l'utilisation prolongée d'engrais peut favoriser l'accumulation d'éléments tels que le cadmium (Cd), le plomb (Pb), le nickel (Ni), le cuivre (Cu) et le zinc (Zn), affectant ainsi la qualité des sols et le fonctionnement des agroécosystèmes (**Nicholson et**

Introduction générale

al., 2003 ; Alloway, 1995). De plus, une étude récente menée par Wan *et al.* (2024) a mis en évidence que les engrais minéraux figurent parmi les principales sources anthropiques de métaux lourds dans les sols agricoles et que leur utilisation prolongée peut favoriser l'accumulation de ces éléments ainsi que leur transfert vers les plantes, soulignant ainsi la nécessité d'un suivi régulier de leurs concentrations et de leurs impacts environnementaux.

Le comportement des métaux lourds dans le sol ainsi que leur biodisponibilité dépendent de plusieurs propriétés physicochimiques, notamment le pH, la teneur en matière organique, la capacité d'échange cationique et la texture du sol. Ces paramètres influencent directement leur mobilité, leur rétention et leur absorption par les végétaux (Kabata-Pendias, 2007).

Par ailleurs, la fertilisation organique est considérée comme une pratique favorable à l'agriculture durable en raison de son rôle dans l'amélioration des propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols ainsi que dans l'augmentation de leur teneur en matière organique. Elle peut également contribuer à réduire la mobilité de certains métaux lourds et à limiter leur biodisponibilité pour les plantes (Bernal *et al.*, 2007). Toutefois, des études récentes ont révélé que certains engrais organiques commerciaux peuvent également contenir des concentrations variables de métaux lourds et que leur utilisation répétée est susceptible d'entraîner une accumulation progressive de ces éléments dans les sols agricoles à long terme, ce qui nécessite un contrôle rigoureux de leur qualité et de leur conformité aux normes environnementales (Su *et al.*, 2025).

Cette problématique revêt une importance particulière dans la région d'El Oued, caractérisée par des sols sableux relativement pauvres en matière organique et présentant une faible capacité de rétention des éléments minéraux, ce qui les rend plus sensibles aux modifications induites par les pratiques agricoles. Dans ce contexte, l'étude de l'impact des différents modes de fertilisation sur la teneur en métaux lourds des sols agricoles apparaît essentielle pour évaluer leurs effets sur la qualité des sols et sur la durabilité des systèmes de production en milieu saharien.

C'est dans cette perspective que s'inscrit la présente étude intitulée :

<< Étude comparative de l'impact de la fertilisation chimique et organique sur la teneur en métaux lourds dans le sol: cas de la région d'El Oued >>

Cette étude vise à comparer l'effet de la fertilisation chimique et de la fertilisation organique sur les concentrations de certains métaux lourds dans les sols agricoles de la région d'El Oued.

Introduction générale

Elle a également pour objectif d'évaluer les relations existantes entre les propriétés physicochimiques des sols et les niveaux de ces éléments, afin de mieux comprendre l'influence des pratiques agricoles sur la qualité des sols et de contribuer à une gestion durable des ressources agricoles.

Pour atteindre ces objectifs, ce mémoire est structuré en trois chapitres principaux. Le premier chapitre est consacré à la présentation de la région d'étude. Le deuxième chapitre décrit le matériel et les méthodes utilisés pour l'échantillonnage et les analyses de laboratoire. Enfin, le troisième chapitre présente les résultats obtenus et leur discussion à la lumière des travaux antérieurs, avant de conclure par une synthèse générale des principaux résultats et recommandations.

Chapitre 1

Présentation de la région d'étude

Chapitre 1 : Présentation de la région d'étude

Chapitre 1 : Présentation de la région d'étude

I. Présentation de la région d'El Oued

Cette section présente les principales caractéristiques de la région d'étude servant de cadre à cette recherche.

I.1 Situation géographique de la wilaya d'El-Oued

Oued Souf appartient aux régions sahariennes septentrionales algériennes, Elle s'étend approximativement entre les longitudes 6° et 8° Est et les Latitudes 32° et 34° Nord. Elle se caractérise par une position stratégique reliant l'Algérie à la frontière tunisienne à l'Est, ce qui lui confère une importance géographique et économique dans le Sud-Est du pays.

La wilaya a été créée en 1984. Elle couvre une superficie totale d'environ 37 652 km², ce qui en fait l'une des grandes wilayas du sud algérien. La population est estimée à environ 700 905 habitants selon les données récentes, avec une concentration notable dans les zones urbaines et agricoles (Khiouani, 2019 ; Zine et al., 2022).

I.1.1 Limites administratives et naturelles de wilaya

Cette wilaya occupe une position centrale entre plusieurs wilayas :

Au Nord : les wilayas de Biskra, Khenchela et Tébessa.

Au Sud : wilaya de Ourgla.

À l'Ouest : les wilayas de El-Méghair et Touggourt.

À l'Est : la République Tunisienne.

Cette position influence également ses caractéristiques naturelles et climatiques, dominées par l'aridité et des températures élevées.

La localisation frontalière confère à la wilaya un rôle important dans les échanges commerciaux et les déplacements entre l'Algérie et la Tunisie.

La région d'étude représente la vallée du Souf qui se localisent géographiquement entre les points suivant:

X1 = 06° 32' 03" E et X2 = 07° 03' 13 " E,

Y1 = 33° 08' 48" N et Y2 = 33° 52' 39" N

Chapitre 1 : Présentation de la région d'étude

I.1.2 Division administrative de la wilaya de El Oued

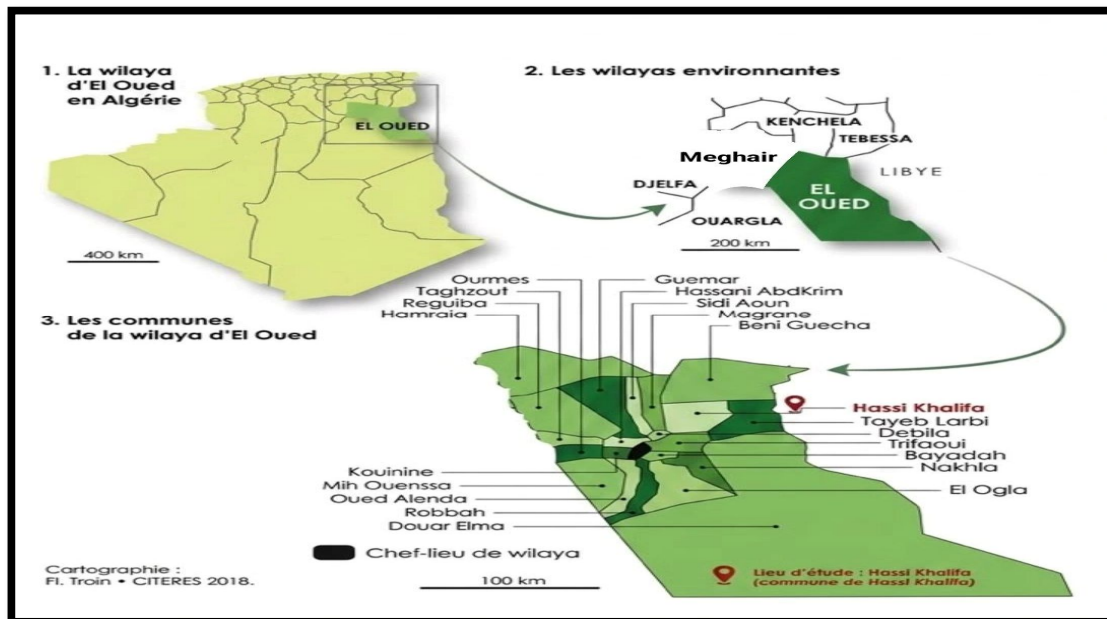


Figure 01 : Carte de localisation de la zone d'étude Hassi Khalifa dans la wilaya d'El Oued

Source : (Troin 2018), modifiée par les étudiantes (juin 2026)

La région du Souf est divisée administrativement en neuf (09) daïras et dix-huit (18) communes :

- **Daïra de Hassi Khelifa** : Trifaoui et Hassi Khelifa où se localisent notre station d'étude.
- **Daïra de Magrane** : Magrane et Sidi Aoun.
- **Daïra de Robbah** : Robbah, Nakhla et El Ogla.
- **Daïra de Bayada** : Bayada.
- **Daïra d'El Oued** : El Oued et Kouinine.
- **Daïra de Reguiba** : Reguiba et Hamraïa.
- **Daïra de Guemar** : Guemar, Taghzout et Oum Tiour.
- **Daïra de Debila** : Debila et Hassani Abdelkrim.
- **Daïra de Mih Ouensa** : Mih Ouensa et Oued Alenda.

I.2 Situation économique

Les activités économiques dans la région du Souf reflètent un système d'organisation adapté aux potentialités locales ainsi qu'à la vocation agricole, commerciale et artisanale de la région. L'économie soufie repose principalement sur l'agriculture, à laquelle s'ajoutent les activités artisanales, commerciales et industrielles, qui jouent un rôle important dans le développement socio-économique de la région.

I.2.1 Artisanat

La ville d'El Oued a toujours constitué un important centre artisanal, notamment dans la fabrication des outils et objets liés aux anciennes techniques agricoles. Plusieurs activités artisanales y sont pratiquées, parmi lesquelles la couture, la tapisserie, la maçonnerie, la cordonnerie, la menuiserie, la bijouterie ainsi que la forge.

I.2.2 Commerce

Le commerce occupe une place essentielle dans la société soufie. La ville d'El Oued compte environ 7000 registres de commerce, tandis que l'ensemble de la région du Souf en totalise près de 10000.

Grâce à sa position géographique stratégique entre l'Algérie, la Tunisie et la Libye, la région du Souf constitue un important centre d'échanges commerciaux. La ville d'El Oued représente ainsi un pôle commercial dynamique et un centre d'approvisionnement pour toute la région. Cette activité commerciale se manifeste particulièrement le long de l'axe commercial reliant Kouinine à Robbah, sur plus de 15 km le long de la route nationale, où la densité commerciale est très élevée au centre avec environ 15 à 20 établissements pour 100 mètres, puis diminue progressivement vers les extrémités avec environ 4 à 5 établissements pour 100 mètres.

I.2.3 Industrie

Parallèlement au développement du commerce, le secteur industriel a connu une évolution notable dans la région d'El Oued depuis les années 1980, marquée par l'installation de plusieurs petites unités industrielles privées. Les principales activités industrielles concernent cinq secteurs essentiels : les parfums et cosmétiques, l'agroalimentaire, les matières plastiques, les matériaux de construction et les boissons. Actuellement, plus de 16 000 personnes travaillent dans le secteur industriel de la région (Abidi et Touati, 2018).

I.2.4 Agriculture

L'agriculture constitue l'une des principales activités économiques de la wilaya d'El Oued. Elle a connu une évolution remarquable, passant du système traditionnel du « Ghout », basé sur l'exploitation naturelle des eaux souterraines pour la culture du palmier dattier, à des systèmes agricoles modernes reposant sur la mise en valeur des terres sahariennes et l'utilisation de techniques d'irrigation modernes, notamment l'irrigation par pivot. Cette évolution a contribué à l'extension des superficies agricoles, dont la superficie totale est estimée à 4 458 680 ha, parmi lesquels 2 866 811 ha sont effectivement exploités, tandis que la superficie irriguée atteint environ 54 534 ha (MOUSTEFAOUI, 2017).

La wilaya se distingue par la production de nombreuses cultures agricoles, notamment les dattes, la pomme de terre et diverses cultures maraîchères. Elle figure parmi les principales régions productrices de dattes en Algérie avec une production dépassant 2 137 520 quintaux, dont environ 1 423 000 quintaux de la variété Deglet Nour. Elle occupe également une place importante dans la production nationale de pomme de terre, avec près de 24 % de la production nationale, soit environ 11 725 000 quintaux cultivés sur une superficie avoisinant les 35 000 ha (DSA, 2015).

En raison de la nature sableuse des sols et de leur relative pauvreté en éléments nutritifs, l'activité agricole repose largement sur la fertilisation, en particulier la fertilisation chimique qui demeure la plus utilisée dans les systèmes de culture intensive, tandis que l'usage des engrais organiques reste relativement limité.

D'après les réponses fournies par les agriculteurs interrogés dans la région, plusieurs types d'engrais minéraux sont couramment utilisés.

Pour la culture de la tomate, les apports comprennent notamment 25 kg/ha de N21, 25 kg/ha de NPK (12-61-00), 18 kg/ha de NPK (13-00-46), 9 kg/ha d'engrais à base d'azote et de calcium (N+Ca), 9 kg/ha d'engrais à base d'azote et de magnésium (N+Mg), 25 kg/ha de NPK (20-20-20), 25 kg/ha de sulfate de potassium (00-00-50), ainsi qu'environ 1 kg/ha d'oligoéléments et 1 kg/ha d'extraits d'algues marines.

Concernant la culture de l'ail, les agriculteurs utilisent principalement les formulations NPK (12-52-00), NPK (15-15-15) et NPK (08-10-30), à raison d'environ 20 q/ha chacune. Les agriculteurs ont également indiqué avoir recours à divers produits phytosanitaires destinés à la protection des cultures, comprenant des insecticides tels que l'Acetamiprid, le Lambda-cyhalothrin, le Chlorantraniliprole et l'Abamectine, des acaricides comme le Spiromesifen et le Tolfenpyrad, ainsi que plusieurs fongicides à base d'Azoxystrobine, de Metalaxyl-M, de Difenoconazole et de Fosétyl-Aluminium. Des herbicides tels que le Metribuzin et l'Oxyfluorfen sont également utilisés pour lutter contre les adventices. Bien que ce mode de fertilisation contribue à l'amélioration des rendements et à l'augmentation de la production agricole, une utilisation excessive des engrais chimiques et des produits phytosanitaires peut affecter négativement les propriétés du sol et la qualité des eaux souterraines, favoriser l'accumulation de certains éléments traces métalliques et augmenter les risques de contamination environnementale. Cela souligne l'importance d'une gestion raisonnée de la fertilisation et de l'adoption de pratiques agricoles durables (Salem et Abdessalam, 2019).

Chapitre 1 : Présentation de la région d'étude

Tableau 01 : Les produits agricoles végétales les plus importants de la vallée du Souf , Wilaya d'El-Oued. (DSA et APS ,2018)

Produit	Quantité (QX)	Surface (ha)	% de la production nationale
Pomme de terre	15.000.000	40000	45
Arachide	120000	4000	80
Datte	3.000.000	36.335	25
Tomate	750000	2500	5
Tabac	70000	2500	60
Céréales	446000	11100	0.74

Chapitre 1 : Présentation de la région d'étude

L'élevage est une autre activité qui se répartie comme suit

Tableau 02 : Les produits agricoles animales de la vallée du Souf , Wilaya d'El-Oued

Produit	Quantité (tête)	Produit	Quantité
Ovin	500000	viande rouge	4.700 tonnes/an
Caprin	153000	viande blanche	2.240 tonnes/an
Camelin	27300	Œufs	27561270 Œufs/an
Bovin	4700	Lait	44.000.000 litres/an

(DSA,2018)

I.4 Facteurs écologiques de la région d'étude

La région d'étude est caractérisée par un ensemble de facteurs écologiques comprenant des facteurs abiotiques (climat, sol et eau) et des facteurs biotiques (flore et faune), qui contribuent à façonner les caractéristiques de son écosystème.

I.4.1 Facteurs biotiques

L'ensemble de la flore et la faune

I.4.1.1 Flore

Le couvert végétal de la wilaya d'El Oued est caractérisé par la dominance des arbustes et des formations herbacées clairsemées, notamment au pied des dunes de sable. Ces espèces sont adaptées aux conditions environnementales extrêmes de sécheresse, de fortes températures et de faibles précipitations.

La région comprend plusieurs familles botaniques, dont les Poacées (graminées), les Astéracées, les Fabacées, les Cypéracées, les Composées et les Liliacées, avec l'enregistrement d'environ 51 espèces végétales réparties sur 24 familles botaniques. Parmi les espèces spontanées les plus répandues figurent *Aristida pungens*, *Cyperus conglomeratus* et *Ephedra alata*.

Par ailleurs, le couvert végétal se distingue par la présence d'importantes surfaces pastorales qui soutiennent l'activité d'élevage, ainsi que par l'extension des cultures agricoles à forte valeur économique, principalement le palmier dattier, élément végétal dominant de la région, en plus de la culture de la pomme de terre, de la tomate et de l'arachide. Cela reflète une

Chapitre 1 : Présentation de la région d'étude

diversité du couvert végétal entre formations naturelles et cultures agricoles (**Kouider et al., 2024 ; Direction du Commerce de la wilaya d'El Oued,2018**).

1.4.1.2 Faune

La faune de la région de la wilaya d'El-Oued est caractérisée par son adaptation aux conditions climatiques sahariennes, notamment les fortes températures et la sécheresse. Elle comprend principalement les arthropodes, représentés par les insectes et les arachnides, ainsi que les vertébrés tels que les mammifères, les oiseaux et les reptiles. Parmi les espèces les plus communes dans la région figurent les lézards, les coléoptères, les scorpions, le fennec et la gerboise, ainsi que certaines espèces de serpents. L'élevage des chèvres, des moutons et des dromadaires est également répandu dans les zones sahariennes et agricoles. Par ailleurs, la région abrite plusieurs espèces d'oiseaux adaptées au milieu désertique, avec plus de vingt espèces recensées (**VOISIN, 2004**).

Tableau 03 : Les maladies les plus répandues dans les cultures agricoles de la région d'El Oued.
(**Chebani et al., 2021**)

Catégorie	Maladie	Nom en français / scientifique
Maladies fongiques	Mildiou	Mildiou (Phytophthora infestans)
	Oïdium	Oïdium
	Alternariose (brûlure précoce)	Alternaria solani
	Mildiou tardif	Phytophthora infestans
	Flétrissement	Flétrissement (général)
Maladies bactériennes	Taches bactériennes	Taches bactériennes
Maladies virales	Mosaïque du tabac (TMV)	Tobacco Mosaic Virus
	roulement des feuilles (PLRV)	Potato Leafroll Virus
Maladies physiologiques	Fissuration des fruits	Fissuration des fruits

Chapitre 1 : Présentation de la région d'étude

Tableau 04 : Les principaux ravageurs des cultures agricoles dans la région d'El Oued

Catégorie	Ravageur	Nom en français / scientifique
Acariens	Araignée rouge	Tetranychus urticae
	Acariens des poussières	Acariens
Insectes piqueurs-suceurs	Pucerons	Aphididae
	Aleurodes	Bemisia tabaci
Insectes broyeur	Vers gris (chenilles)	Noctuelles terricoles
	Vers légionnaires (vers rayés)	Spodoptera spp.
Insectes foreurs	Mineuse de la tomate	Tuta absoluta
Nématodes	Nématodes	Meloidogyne spp.
Vertébrés nuisibles	Oiseaux	Oiseaux
	Rongeurs	Rongeurs

(Chebani et *al.*, 2021)

Tableau 05 : Liste de quelques espèces végétales recensées selon le site d'étude.

Famille	Nom scientifique	Nom Vernacular
Chenopodiaceae	Cornulaca monacantha Del	Had
Chenopodiaceae	chenopodium murale L.	Mezrita
Fabaceae	Melilotus indica All.	Faate El agrabe
Zygophyllacées	Zygophyllum album L.	Bougiba
Poaceae (graminae)	Setaria vertisillata (L.)P.B.	Sboul lfar
Fabaceae	Retama retam(Forssk.) webb	R'tem
Poaceae	Cynodon dactylon L.(Pers)	N'djem
Tamaricaceae	Tamarix Boveana Bunge	Tarfa ,Tarfaya
Zygophyllaceae	Peganum harmala L.	Harmel
Asteraceae	Launaea resedifolia O.K.	Adid
Malvaceae	Malva aegyptiaca L.	Khobise
Asteraceae	Sonchus asper (L.) Vill.	Sage ghrab
Euphorbiaceae	Euphorbia guyoniana (Boiss. & Reut.)	Lebbin

Source : Élaboré par l'étudiantes à partir des données de terrain de l'étude actuelle, avec recours aux données de **Kasmi et al., (2021)**.

I.4.2 Facteurs abiotiques

La caractérisation de la région d'étude nécessite l'analyse des facteurs abiotiques, notamment le climat, le sol et les ressources en eau.

I.4.2.1. Relief

Le relief de la région d'El Oued fait partie intégrante des facteurs abiotiques qui caractérisent le milieu naturel.

La wilaya occupe la partie Nord-Est du Grand Erg Oriental et comprend la zone dépressionnaire des grands chotts.

Chapitre 1 : Présentation de la région d'étude

La géomorphologie de la région permet de distinguer plusieurs ensembles naturels caractérisés par des formations sableuses, des dépressions et des zones steppiques (**NADJAH, 1971**).

Au Nord des chotts s'étendent de vastes piémonts parcourus par des oueds descendant des Aurès vers le Sud des Némemchas. Au Sud des chotts apparaissent d'importants dépôts sableux modelés sous forme de bras orientés du Nord-Est vers le Sud-Ouest, séparés par des dépressions riches en végétation.

Les oasis sont entourées de cordons dunaires appelés « sahanes ». Plus au Sud, au-delà du 33^e parallèle Nord, se développent de grandes accumulations sableuses pyramidales formant les « Ghroudes ».

Dans la région de Loudje, ces dunes sont espacées par de larges sahanes couvertes d'une végétation psammophile favorisant le pâturage, tandis que dans le Zemoul El Akbar, les Ghroudes deviennent plus rapprochées et rendent la circulation difficile (**TRIA, 2011**).

I.4.2.2 Pédologie

Les sols de la région d'El Oued sont caractérisés par leur texture légère et leur dominance sableuse, ainsi que par une faible teneur en matière organique, reflétant les conditions arides du milieu saharien.

On y rencontre également des zones appelées localement « Shounes », où la surface du sol est parfois recouverte de croûtes gypseuses et de graviers fins, entourées de hautes dunes sableuses appelées « Ghrouds », leur conférant une morphologie semblable à des cratères (**ACHOUR, 1995**).

Les études géophysiques réalisées dans la région d'El Oued ont mis en évidence quatre principales couches pédologiques :

- ❖ Une couche superficielle constituée de sables dunaires, avec une épaisseur variante entre 30 m et 50 m.
- ❖ Une deuxième couche composée de sables argileux et d'argiles sableuses, dont l'épaisseur varie entre 50 et 80 m.
- ❖ Une troisième couche, absente dans certaines zones, présentant une épaisseur comprise entre 5 et 90 m et formée principalement d'argiles sableuses.
- ❖ Une quatrième couche profonde correspondant au substratum argileux (**ENAGEO, 1993**).

I.4.2.3 Aspect hydrogéologique

La wilaya d'El Oued, appartenant au Sahara septentrional, dispose d'importantes ressources en eaux souterraines stockées dans plusieurs nappes aquifères superposées, allant de la nappe phréatique superficielle aux nappes profondes albiennes.

Les oasis de la vallée d'El Oued et leurs périphéries dépendent principalement de l'exploitation de ces ressources hydriques souterraines.

I.4.2.3.1 Nappe du Complexe Terminal

La nappe du Complexe Terminal est exploitée à des profondeurs variant entre 200 et 500 m. Les forages présentent un débit moyen compris entre 25 et 35 L/s, avec une minéralisation caractérisée par un résidu sec de 2 à 3 g/L. Le niveau hydrostatique de cette nappe varie entre 10 et 60 m selon les zones (ANRH, 2009).

I.4.2.3.2 Nappe du Continental Intercalaire

La nappe du Continental Intercalaire est captée à une profondeur moyenne d'environ 1900 m. Ses eaux se distinguent par une température élevée pouvant dépasser 60 °C ainsi qu'un résidu sec compris entre 2 et 3 g/L (ANRH, 2009).

I.4.2.3.3 Exploitation des nappes CI-CT

La nappe phréatique couvre la quasi-totalité du territoire de la vallée et est exploitée à travers environ 10.000 puits traditionnels d'une profondeur moyenne de 40 m. Cependant, le recours intensif aux forages profonds pour l'irrigation a provoqué plusieurs problèmes environnementaux, notamment la remontée des eaux dans certaines zones de la ville d'El Oued. Cette situation a contribué à la perturbation de l'écosystème oasien, déjà considéré comme fragile (ANRH, 2009).

I.4.2.4 Topographie

La région d'El Oued se caractérise par une topographie généralement plane, monotone et dépourvue d'exutoire naturel, avec une faible pente au niveau de la ville d'El Oued (MAISSA, 2016). Cette configuration topographique engendre des difficultés d'évacuation des eaux, particulièrement dans les zones urbaines de la ville. Elle présente également un caractère fortement sableux. L'altitude moyenne d'El Oued est d'environ 80 m, avec une diminution progressive du Sud vers le Nord, atteignant près de 25 m au-dessous du niveau de la mer dans la région des chotts, située au fond du vaste bassin du Bas Sahara (ANRH, 2009).

I.4.2.5 Climatologie

Chapitre 1 : Présentation de la région d'étude

Le climat constitue un facteur environnemental essentiel influençant la croissance, le développement et la répartition géographique des êtres vivants (Faurie et al., 1984 ; 2011). Les principaux paramètres climatiques caractérisant la région d'étude sont la température, les précipitations, l'humidité relative et le vent. Les données climatiques utilisées dans cette étude proviennent de la station météorologique d'El Oued (33°30' N ; 06°47' E ; altitude : 63 m ; exposition : Est), complétées par les informations disponibles sur le site (ONM. 2025)

I.4.2.5.1 Température

La température est considérée comme l'un des principaux éléments du climat et l'un des facteurs environnementaux les plus déterminants (Dajoz, 2006 ; Gouaidia, 2008 ; Ramade, 2008). Elle joue un rôle essentiel dans le contrôle des processus physiologiques et métaboliques des êtres vivants, ce qui en fait un facteur limitant majeur de leur activité, de leur développement et de leur répartition.

Tableau 06 Températures mensuelles maximales (M), minimales (m) et moyennes [(M + m)/2] en (°C) dans les régions du Souf durant la période (2016- 2025) .

Moins	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Jul	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
T Max	20	22.7	25.8	30.5	35.3	42.2	45	43.2	38.6	32.2	25	21.2
T Min	3.7	5.6	9.3	14.6	17.6	23.8	26.1	26.2	21.3	15.7	10.1	5.5
T Moy	11.85	14.15	17.55	22.55	26.45	33	35.55	34.7	29.95	23.95	17.55	13.35

Source (ONM. 2025)

I.4.2.5.2 Humidité

L'humidité relative exprime le pourcentage de vapeur d'eau présente dans l'air par rapport à la quantité maximale que celui-ci peut contenir à une température donnée. Elle varie en fonction de plusieurs facteurs, notamment la quantité de précipitations, le nombre de jours de pluie, la température, la vitesse du vent ainsi que les caractéristiques morphologiques de la station météorologique (Faurie et al., 1980). Les valeurs de l'humidité relative enregistrées durant la période d'étude (2016–2025) dans les régions du Souf sont présentées dans le tableau 7 et exprimées en pourcentage (%).

Chapitre 1 : Présentation de la région d'étude

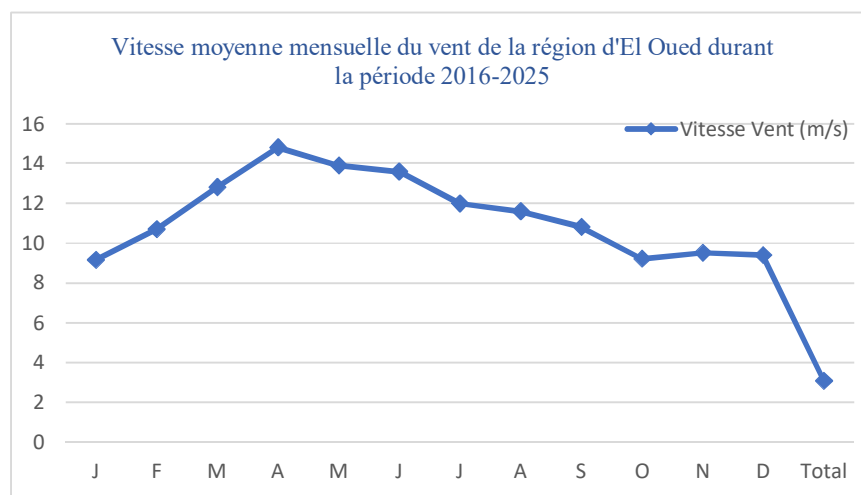
Tableau 07 : l'humidité moyenne mensuelle d'El Oued durant la période 2016-2025

Mois	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Jul	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
H%	51.6	45.8	40.6	38.7	32.5	27.6	23.9	29.1	39.9	45	52.5	58.3	40.4

Source (ONM. 2025)

I.4.2.5.3 Vent

Le vent constitue un élément climatique important, caractérisé par sa direction, sa vitesse et sa fréquence (Dubief, 1964). Dans la région du Souf, il souffle de manière quasi permanente et représente un facteur climatique majeur. La vitesse moyenne annuelle du vent y est estimée à **11,47 m/s**. Selon son origine, les vents portent des appellations locales : le vent d'Est, appelé **Bahri**, est généralement apprécié au printemps ; le vent d'Ouest, connu sous le nom de **Gharbi**, est un vent froid ; tandis que le vent du Sud, appelé **Chihili**, est un vent chaud et sec qui souffle en moyenne une quinzaine de jours par an (Voisin, 2004).



Source (ONM. 2025)

Figure 02 : Présentation graphique de la vitesse moyenne mensuelles des vents

I.4.2.5.4 Pluviométrie

Chapitre 1 : Présentation de la région d'étude

Les précipitations correspondent à l'ensemble des eaux, sous forme liquide ou solide, qui tombent de l'atmosphère, notamment la pluie, la neige et la grêle (Danchin et al., 2005). Elles constituent un facteur climatique fondamental, jouant un rôle déterminant dans le fonctionnement, l'équilibre et la répartition des écosystèmes terrestres (Ramade, 2012).

Dans les régions du Souf et de Ghardaïa, les précipitations sont principalement concentrées durant la saison automnale, avec une seconde période pluvieuse observée en hiver, comme l'ont rapporté Halis (2007) et Voisin (2004). Les valeurs mensuelles des précipitations enregistrées au cours de la période d'étude (2016–2025) dans les régions d'El Oued sont présentées dans le tableau , exprimées en millimètres (mm).

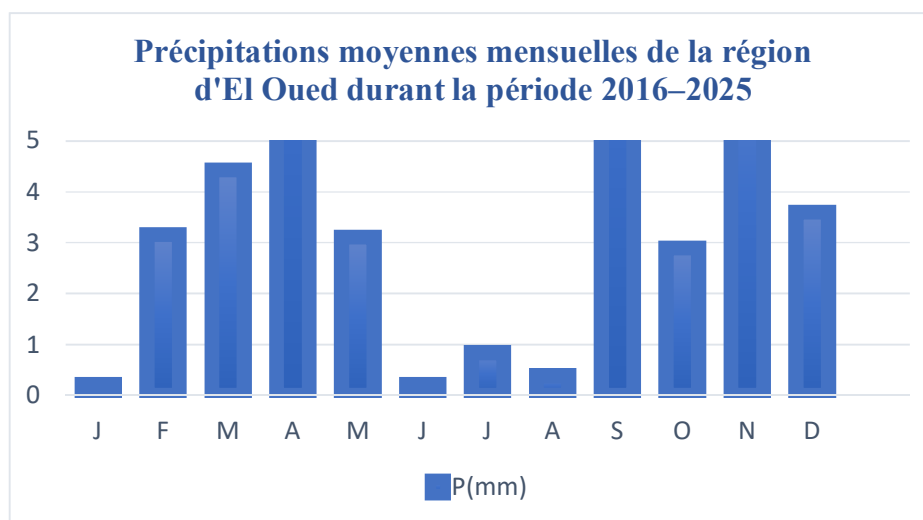


Figure 03 : Présentation graphique de précipitations moyenne mensuelles Source (ONM. 2025)

I.5.1 Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN

Afin d'établir une synthèse climatique de la région d'étude, nous avons élaboré le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen (figure 04), ainsi que le climagramme d'Emberger. Le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen constitue une méthode graphique permettant de mettre en évidence les périodes sèches et humides au cours de l'année. Pour la région d'El Oued, et à partir des données pluviométriques et thermiques moyennes mensuelles calculées sur une période de 10 ans, il apparaît que la période sèche s'étend tout au long de l'année.

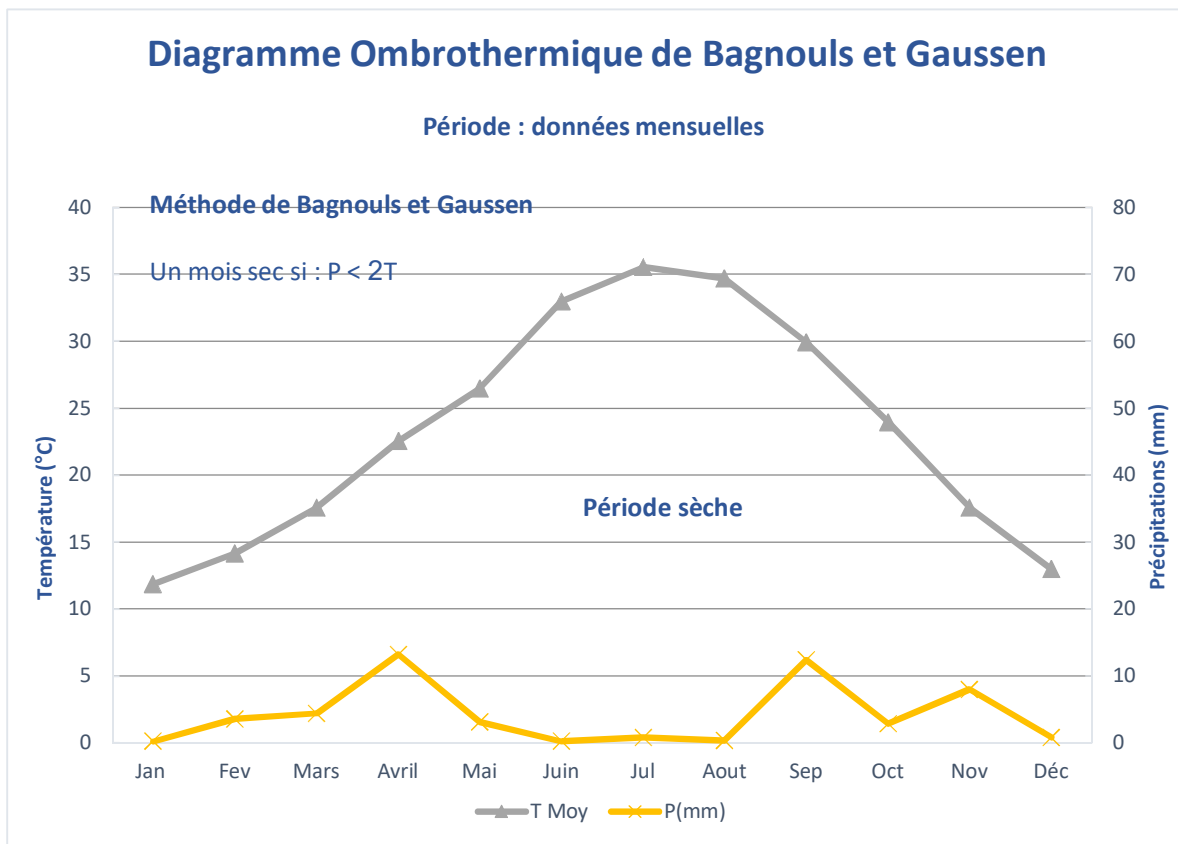


Figure 04 : Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSE

I.5.2. Climagramme d'Emberger

Le climagramme d'Emberger constitue un outil bioclimatique permettant de caractériser le climat d'une région et de la situer dans un étage bioclimatique déterminé à partir du quotient pluviométrique d'Emberger. Dans le cas de l'Algérie, le quotient utilisé est celui modifié par Stewart, afin de mieux l'adapter aux conditions climatiques nord-africaines.

Le quotient pluviométrique est calculé selon la formule suivante :

$$Q_2 = (3.43 \times P) / (M - m)$$

Où :

Q_2 : quotient pluviométrique d'Emberger.

P : précipitations annuelles (mm).

M : température maximale moyenne du mois le plus chaud (°C).

m : température minimale moyenne du mois le plus froid (°C).

Coefficient de Stewart adapté aux conditions climatiques de l'Algérie 3,43=

Chapitre 1 : Présentation de la région d'étude

D'après les données climatiques enregistrées dans la région d'El Oued durant la période 2013–2023 :

$$P = 49,35 \text{ mm.}$$

$$M = 45 \text{ }^{\circ}\text{C.}$$

$$m = 3,7 \text{ }^{\circ}\text{C.}$$

Ainsi :

$$Q_2 = (3.43 \times 49.35)/(45 - 3.7)$$

$$Q_2 = 169.27 / 41.3$$

$$Q_2 = 4.09$$

La valeur obtenue ($Q_2 = 4.09$) permet de classer la région d'El Oued dans l'étage bioclimatique saharien à hiver tempéré. Cette classification traduit un climat fortement aride caractérisé par une très faible pluviométrie annuelle et des températures estivales élevées.

La localisation de la région d'étude sur le climagramme d'Emberger est présentée dans (Figure 05).

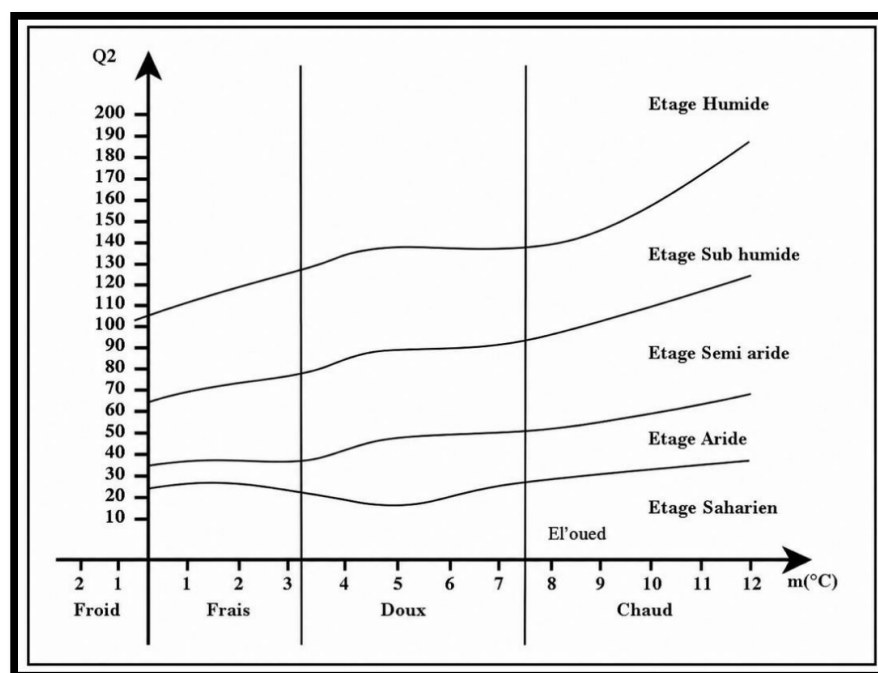


Figure 05 : Position de la région d'El Oued sur le climagramme d'Emberger.

Chapitre 1 : Présentation de la région d'étude

À la suite de la présentation générale de la wilaya d'El-Oued, il apparaît pertinent de présenter la commune de Hassi Khalifa, choisie comme zone d'étude dans le cadre de ce travail, du fait qu'elle constitue le site de prélèvement des échantillons de sol analysés.

I.5 Situation géographique de la commune de Hassi Khalifa

La commune de Hassi Khalifa est située au nord de la wilaya de El Oued, entre les latitudes 33° et 35° Nord et les longitudes 002° et 006° Est. Elle couvre une superficie d'environ 1112 km² et se trouve à environ 30 km du chef-lieu de la wilaya. La route nationale N°16 traverse le centre de la commune, ce qui lui confère une importance géographique et facilite les activités agricoles dans la région.

➤ Commune de Hassi Khalifa est limitée

Au Nord : par les communes de Taleb El Arbi et Ben Guecha.

À l'Est : par la commune de Taleb El Arbi.

À l'Ouest : par la commune d'El Meghaier.

Au Sud : par les communes de Trifaoui et Debila.

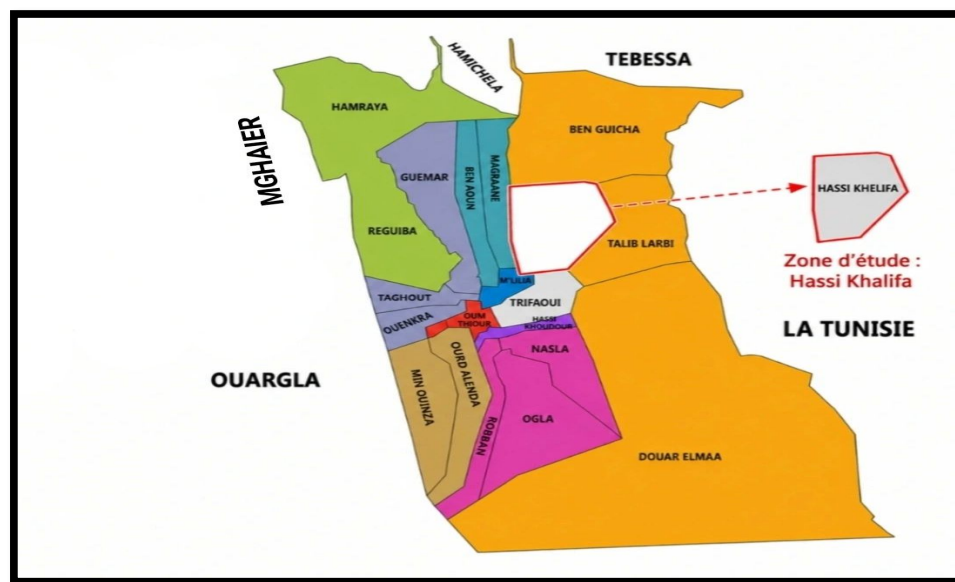


Figure 06 : Localisation de la commune de Hassi Khalifa dans la wilaya d'El Oued (zone d'étude) **Source** : Réalisé par l'auteure (Juin, 2026).

Chapitre 1 : Présentation de la région d'étude

La région de Hassi Khalifa appartient au milieu saharien de la vallée du Souf. Elle se caractérise par la dominance des formations sableuses ainsi qu'une activité agricole reposant principalement sur l'exploitation des eaux souterraines pour l'irrigation.

I.6 Facteurs écologiques de la station d'étude

La station d'étude est caractérisée par un ensemble de facteurs écologiques, qui comprennent les facteurs abiotiques et biotiques. Ils déterminent les conditions du milieu.

I.6.1 Facteurs biotiques

Les facteurs biotiques de la station d'étude sont représentés par la flore et la faune locales.

I.6.1.1 Flore

La commune de Hassi Khalifa se caractérise par un couvert végétal désertique peu dense, adapté aux conditions de sécheresse et aux températures élevées, ce qui constitue une caractéristique typique des écosystèmes de la région d'Oued Souf (**Zine et al., 2022**). Par ailleurs, la région a connu un développement notable de l'activité agricole, notamment dans les zones oasiennes, ce qui a contribué à une modification partielle du couvert végétal naturel (**Zegouane & Razzag Bara, 2018**).

Le couvert végétal de la région d'étude présente également une faible densité et une diversité floristique relativement limitée, comprenant plusieurs espèces végétales spontanées adaptées aux conditions environnementales désertiques, représentées principalement par des arbustes et des plantes herbacées dispersées. Ces espèces se développent particulièrement au pied des dunes sableuses, où elles possèdent des adaptations morphologiques et physiologiques leur permettant de résister à la sécheresse et aux températures élevées. Certaines espèces pérennes participent également à la fixation des sables et à la stabilisation des dunes.

En outre, la région d'étude connaît une activité agricole importante dominée par la phoeniciculture, accompagnée du développement des cultures maraîchères telles que la pomme de terre, la tomate et l'oignon, pratiquées aussi bien en plein champ que sous serre, traduisant ainsi une dynamique agricole caractéristique de la région. Ces cultures sont étroitement liées aux propriétés physicochimiques du sol, notamment la salinité et le pH, qui influencent directement la croissance des plantes. L'utilisation des fertilisants organiques et chimiques contribue à l'amélioration de la productivité agricole, bien qu'elle puisse également entraîner des modifications de la composition minérale du sol par l'accumulation de certains éléments, susceptibles d'influencer le développement et la stabilité du couvert végétal.

Chapitre 1 : Présentation de la région d'étude

1.6.1.2 Faune

La faune de la commune de Hassi Khalifa, à l'instar de la région d'El-Oued, se caractérise par son adaptation aux conditions climatiques sahariennes marquées par l'aridité et les températures élevées.

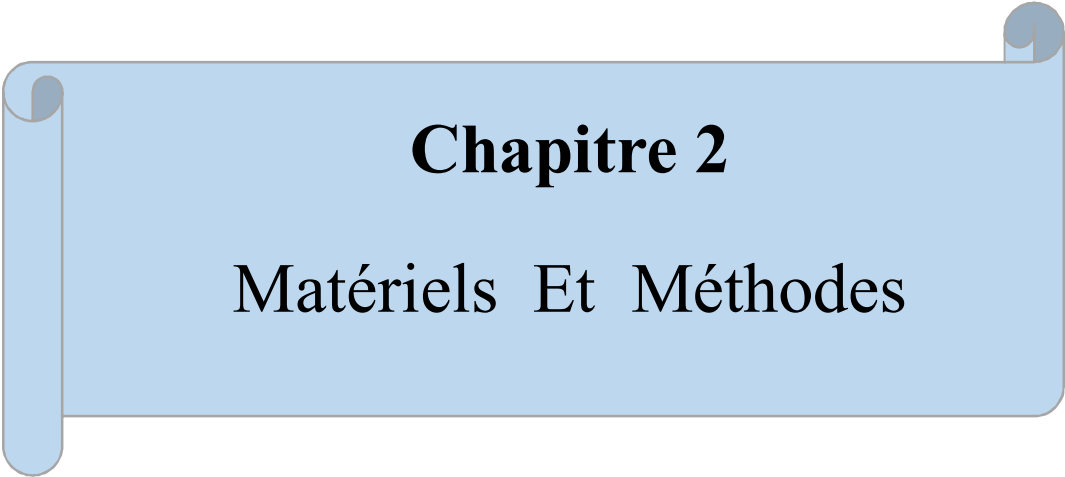
Elle comprend principalement les arthropodes (insectes et arachnides), ainsi que les vertébrés tels que les reptiles, les oiseaux et certains petits mammifères. Parmi les espèces les plus observées figurent les lézards, les scorpions, les rongeurs sahariens, le fennec ainsi que certaines espèces de serpents. On note également la présence fréquente du poisson du désert, localement appelé « Cherchman », dans la région.

1.6.2 Facteurs abiotique

Les facteurs abiotiques de la station sont englobements similaires à ceux de la région d'El Oued, notamment en ce qui concerne le sol et les ressources en eau.

Quant aux climats, la commune de Hassi Khalifa est soumise au même climat saharien que l'ensemble de la région d'El Oued, caractérisé par des températures élevées en été, une faible pluviométrie et une forte évaporation. Ces conditions climatiques influencent directement les caractéristiques des sols ainsi que les activités agricoles de la région.

Ce chapitre a présenté les principales caractéristiques de la région d'étude, nécessaires à la compréhension des résultats.



Chapitre 2

Matériels Et Méthodes

Chapitre 2 : Matériels et Méthodes

II. Matériels et Méthodes

Cette partie est consacrée à la présentation du matériel utilisé et de la méthodologie adoptée pour mener à bien cette étude.

II.1 Choix du site

La station d'étude a été choisie de telle façon qu'elle possède une ferme à production végétale biologique (pas d'utilisation de fertilisation chimique et de traitements phytosanitaires). Seulement application des amendements organiques des bétails ou volaille. Pas loin de cette ferme nous choisissons une autre ferme à conditions qu'elle utilise tous les types de fertilisations chimiques et organiques et tous les types de traitements phytosanitaires. Les deux fermes se localisent dans la région de Hassi Khaliffa. Plus précisément dans le Nord de wilaya, la zone de Abaida -El Sahinne (Près de route nationale N°16).

II.2 Méthode d'échantillonnage

Dix (30) échantillons de sol ont été prélevés à partir de différents sites de la zone d'étude. Pour chaque ferme, cinq échantillons ont été collectés à différentes profondeurs :

- la couche superficielle (00–20 cm),
- la couche intermédiaire (20–40 cm et
- la couche profonde à 40 cm.

Ce qui donne un total de 30 échantillons Destinées à analysés.

II.3 Préparation des échantillons

Les échantillons ont été séchés à l'air libre à température ambiante, puis les mottes de sol ont été délicatement broyées manuellement sans altérer la structure des particules.

Par la suite, les échantillons ont été tamisés à l'aide d'un tamis de 2 mm afin d'obtenir une fraction fine et homogène destinée aux analyses en laboratoire, conformément aux procédures standard de préparation des échantillons de sol (FAO, 2021, ISO 11464).

II.4 Les analyses chimiques du sol

Les analyses chimiques du sol sont nombreuses et permettent une caractérisation approfondie de ses propriétés. Toutefois en raison des contraintes liées aux capacités analytiques du laboratoire et à l'insuffisance de certains équipements seules les analyses de (PH., CE, MO,

Chapitre 2: Matériels et méthodes

K⁺, Na⁺ C⁺², Pb, Cd;) ont été réalisées. Malgré cette limitation, les résultats obtenus fournissent des informations pertinentes pouvant être exploitées pour atteindre les objectifs de cette étude.

II.4.1 Détermination du pH du sol

La mesure du pH permet de déterminer le degré d'acidité et d'alcalinité du sol.

II.4.1.1 Matériel utilisé

Dans cette analyse nous avons utilisé le matériel suivant :

_pH-mètre équipé d'une électrode en verre.

_Balance électronique de précision.

_Agitateur magnétique muni d'un barreau d'agitation.

_Béchers de 100 ml.

_Papier filtre.

_Eau distillée

II.4.1.2. Méthode

Le pH du sol a été déterminé selon la méthode de la suspension sol/eau au rapport (1/2,5), décrite par **Richards (1954)** et également rapportée dans l'ouvrage Méthodes d'analyses des sols et des eaux d'**El Sayrafi**.

Pour chaque échantillon, 10 g de sol sec et tamisé ont été pesés puis placés dans un bécher. Ensuite, 25 ml d'eau distillée ont été ajoutés afin d'obtenir un rapport sol/eau de (1/2,5). Le mélange a été agité pendant 30 minutes à l'aide d'un agitateur magnétique, puis laissé au repos pendant quelques minutes avant d'être filtré à travers un papier filtre afin d'obtenir une solution claire.

Chapitre 2: Matériels et méthodes

Le pH du sol a ensuite été mesuré à l'aide d'un pH-mètre après préparation de la suspension du sol. (Figure 07)



Figure 07 : PH-mètre utilisé pour la mesure du pH des échantillons.

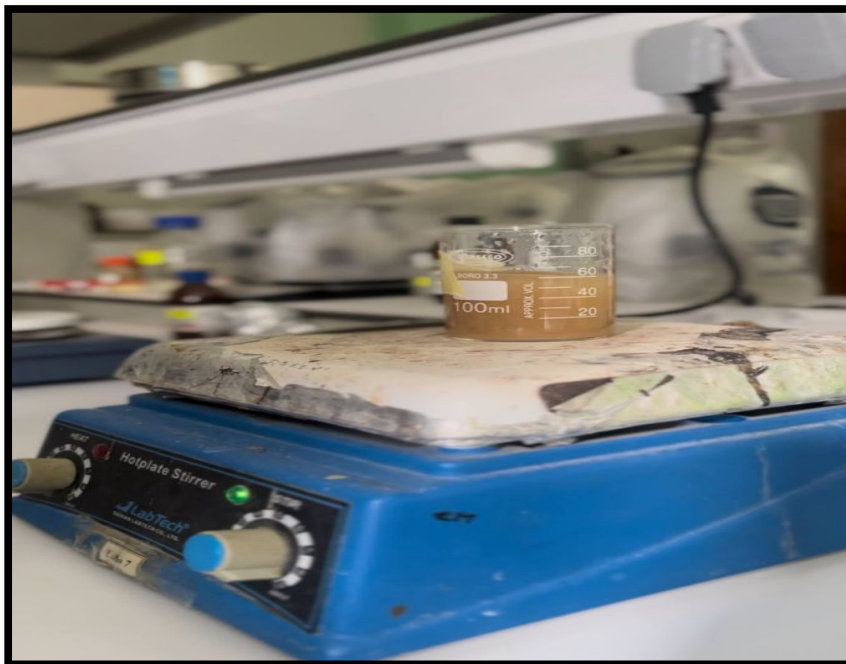


Figure 08 : Agitateur magnétique utilisé pour la préparation des échantillons.

Chapitre 2: Matériels et méthodes

II.4.2 Détermination de la conductivité électrique du sol CE

La CE est un indicateur de salinité du sol et de sa teneur en sels solubles.

II.4.2.1 Matériel utilisé

Conductimètre-balance électronique de précision -agitateur magnétique

Et béchers en verre de 100 ml

II.4.2.2 Produits

Papier filtre et eau dessillée

II.4.2.3 Méthode d'analyse

La conductivité électrique (CE) du sol a été déterminée selon la méthode de la suspension sol/eau au rapport (1 /5), décrite par **Richards (1954)** et **Jackson (1967)**. Cette méthode est couramment utilisée pour l'évaluation de la salinité des sols.

Pour chaque échantillon, 10 g de sol sec et tamisé ont été pesés puis placés dans un bécher. Ensuite, 50 ml d'eau distillée ont été ajoutés afin d'obtenir un rapport sol/eau de (1/5). Le mélange a été agité pendant 30 minutes à l'aide d'un agitateur magnétique, puis laissé au repos pendant quelques minutes avant d'être filtré à travers un papier filtre afin d'obtenir un extrait clair. La conductivité électrique a ensuite été mesurée directement à l'aide d'un conductimètre. Les résultats obtenus ont été enregistrés et classés selon les profondeurs étudiées afin d'être exploités dans l'analyse et la comparaison des échantillons (Figure 10)

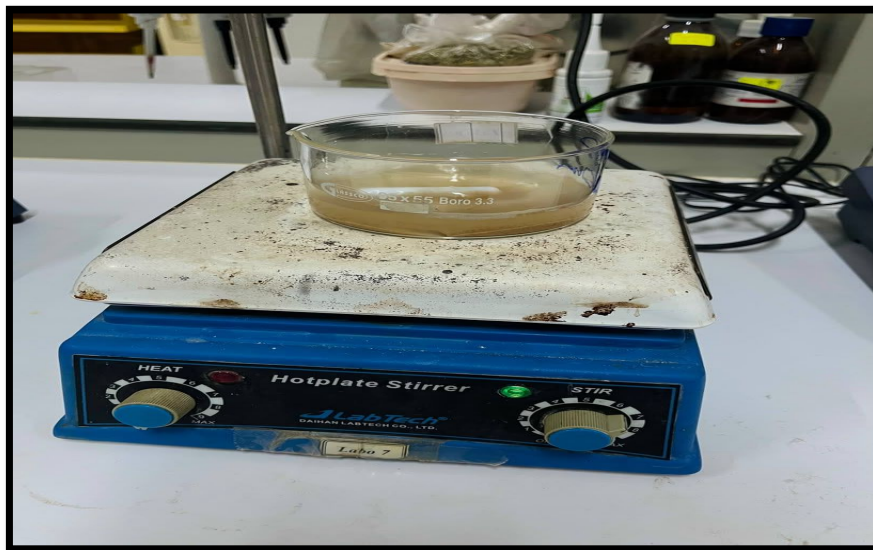


Figure 09 : Agitateur magnétique utilisé pour la préparation des échantillons.

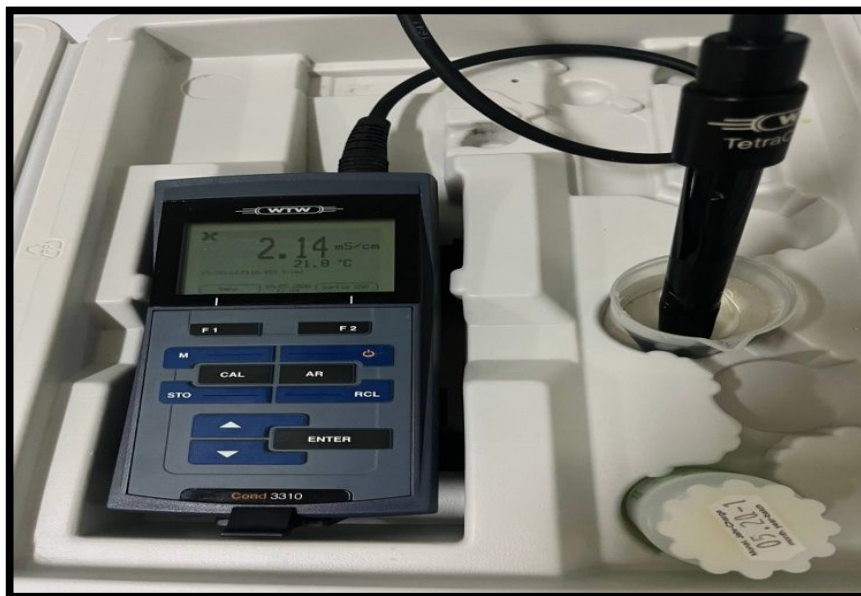


Figure 10 : Conductimètre utilisé pour la mesure de CE des échantillons.

II.4.3 Détermination du minéraux échangeables par Photomètre à flamme (utilisation de l'acétate d'ammonium)

Les actions échangeables (K^+ , Na^+ , Ca^{+2}) sont des éléments retenus par le complexe adsorbant du sol. Leur détermination permet d'évaluer la fertilité du sol et est directement liée à la CEC, qui exprime la capacité du sol à retenir et échanger ces cations.

II.4.3.1 Préparation de la solution et extraction

La solution d'acétate d'ammonium (CH_3COONH_4) a été préparée en dissolvant une quantité appropriée de réactif dans de l'eau distillée, sous agitation continue jusqu'à obtention d'une solution homogène.

La méthode adoptée repose sur l'utilisation de l'acétate d'ammonium selon des protocoles normalisés (ISO 11260 ; Thomas, 1982), avec un rapport sol/solution de 1/10 permettant une extraction efficace et reproductible des actions échangeables.

Dix (30) échantillons de sol représentatifs, prélevés à une profondeur de 20 cm, ont été sélectionnés. Après séchage à l'air libre et tamisage (2 mm), une masse de 2 g de sol sec a été utilisée pour chaque analyse.

Chapitre 2: Matériels et méthodes

Chaque échantillon a été mis en contact avec 20 ml de solution d'acétate d'ammonium. Le mélange a été agité pendant 30 minutes afin de favoriser l'échange ionique entre les cations du sol et les ions ammonium (NH_4^+).

Après agitation, la suspension a été laissée au repos puis filtrée à l'aide de papier filtre afin d'obtenir un filtrat clair.

Les concentrations des éléments minéraux échangeables ont été déterminées à l'aide d'un photomètre à flamme, où les analyses disponibles en laboratoire ont permis de mesurer uniquement le calcium (Ca^{2+}), le sodium (Na^+) et le potassium (K^+).

II.4.3.2 Matériel utilisé

- _ Acétate d'ammonium ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$).
- _ Eau distillée.
- _ Balance électronique de précision.
- _ Bêchers en verre.
- _ Agitateur (manuel ou magnétique).
- _ Papier filtre.
- _ Filtres fins (0,22 μm).
- _ Photomètre à flamme (Flame Photometer).

Remarque

Cette méthode est largement utilisée dans les analyses de sols selon des protocoles normalisés (ISO 11260 ; USDA, 2014), garantissant une extraction fiable et reproductible des actions échangeables.

II.4.3.3 Méthode de calcul

La concentration des éléments minéraux dans le sol a été calculée à partir des valeurs mesurées par le photomètre à flamme (exprimées en ppm), selon la relation suivante :

$$C_{\text{sol}} = C_{\text{solution}} \times V / m$$

C_{sol} : concentration de l'élément dans le sol (mg/kg)

C_{solution} : concentration mesurée dans la solution (ppm)

V : volume de la solution d'extraction (ml)

m : masse de l'échantillon de sol (g)

Sachant que 1 ppm = 1 mg/l.



Figure 11 : Appareil de photométrie de flamme (Flame Photometer).

II.4.4 Détermination de la matière organique par la méthode de la perte au feu

(Loss on Ignition, LOI)

La détermination de la matière organique et pour apprécier le niveau de fertilité du sol.

II.4.4.1 Principe

La teneur en matière organique des échantillons de sol a été déterminée par la méthode de la perte au feu (**Loss on Ignition, LOI**), une méthode standard largement utilisée en analyse des sols. Elle repose sur la mesure de la perte de masse après calcination à haute température. Cette méthode est couramment utilisée pour les sols sableux et à faible teneur en carbonates. Selon **Goldin (1987)**, la méthode **LOI** permet une estimation fiable de la matière organique, à condition que la température et le temps de calcination soient bien contrôlés.

II.4.4.2 Matériel et équipements

Creusets en porcelaine_

Balance électronique de précision (0,001 g)_

Étuve réglée à 105°C_

Four à moufle (550°C)_

Dessiccateur_

Pince métallique

II.4.4.3 Procédure expérimentale

Les creusets en porcelaine ont été nettoyés, séchés puis pesés à vide afin de déterminer leur masse initiale. Ensuite, 5 g de sol séché à l'air ont été introduits dans chaque creuset, puis pesés pour obtenir la masse initiale de l'échantillon.

Les échantillons ont ensuite été placés dans une étuve à 105°C afin d'éliminer l'humidité résiduelle. Après refroidissement, les creusets ont été transférés dans un four à moufle (figure 12) et calcinés à 550°C pendant 4 heures, conformément aux protocoles standards de détermination de la matière organique. Après calcination, les creusets ont été retirés à l'aide d'une pince métallique et placés dans un dessiccateur afin d'éviter toute absorption d'humidité. Une fois refroidis, ils ont été pesés afin d'obtenir la masse finale.

II.4.4.4 Expression des résultats

La teneur en matière organique a été calculée à partir de la perte de masse selon la relation :

$$\text{Perte au feu (\%)} = ((\text{Masse initiale} - \text{Masse finale}) / \text{Masse initiale}) \times 100$$

Remarque

La méthode LOI constitue une approche simple et fiable pour l'estimation de la matière organique, largement utilisée dans les études pédologiques, notamment lorsqu'elle est appliquée sous des conditions contrôlées de température et de durée (**Goldin, 1987**).

II.4.4.5 Méthode de calcul

La teneur en matière organique a été calculée à partir de la différence de masse avant et après calcination, selon la relation suivante :

$$\text{MO\%} = ((m_2 - m_3) / (m_2 - m_1)) \times 100$$

Signification des paramètres :

m₁ : masse du creuset vide (g)

m₂ : masse du creuset + sol avant calcination (g)

m₃ : masse du creuset + sol après calcination (g)

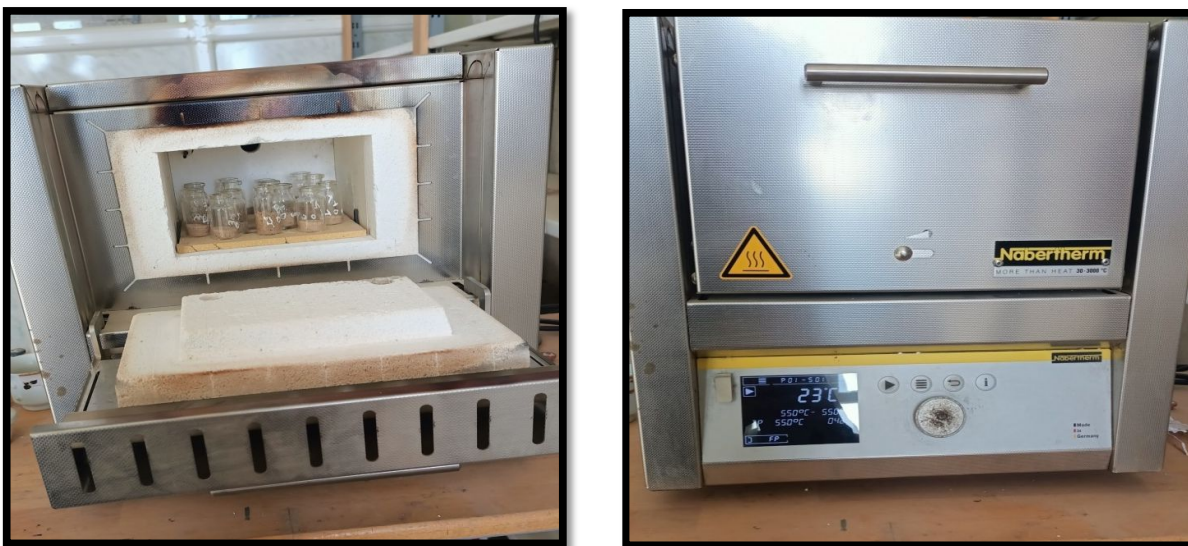


Figure 12 : Four à moufle utilisé pour la détermination de la matière organique du sol.

II.4.5. Détermination des métaux lourds par la méthode d'adsorption

Les métaux lourds présents dans le sol sont d'abord extraits à l'aide d'un acide. La solution obtenue est ensuite introduite dans un spectromètre d'absorption atomique.

Les atomes du métal absorbent une lumière de longueur d'onde spécifique. L'absorbance mesurée est proportionnelle à la concentration du métal dans l'échantillon. Les métaux couramment analysés : Pb, Cd ; Cu ; Zn ; Ni ; Cr ; Co ; Fe ; Mn. Dans notre étude on se limite à analyser deux éléments qui sont le Pb et Cd ont été choisis en raison de leur forte toxicité et de leur importance comme indicateurs de la contamination de la chaîne alimentaire.

Méthode

- .Séchage et broyage de l'échantillons
- Digestion acide(minéralisation)
- .Filtration de l'extrait
- Analyse par spectrométrie d'adsorption atomique

Chapitre 2: Matériels et méthodes

➤ Calcule des concentrations à partir d'une courbe d'étalonnage

Bien que l'étude des métaux lourdes englobe généralement plusieurs éléments traces métalliques, seules les analyses de deux métaux ont pu être réalisés dans le cadre de ce travail .

En raison des contraintes analytiques du laboratoire (disponibilité des équipements). Malgré cette limitation, les résultats obtenus permettent d'apporter des éléments d'appréciation sur l'état de contamination métalliques des sol étudiés.

II.5 Analyses physiques du sol

Les analyses physiques du sol permettent d'évaluer l'influence de la fertilisation organique et minéral sur les propriétés du sol

II.5.1 Granulométrie

La granulométrie permet de caractériser la texture du sol et d'apprécier l'effet des pratiques de fertilisation sur ses propriétés physiques.

II.5.1.1 Principe

L'analyse granulométrique vise à déterminer la distribution des particules du sol, en mettant l'accent sur la fraction sableuse, par séparation des particules selon leur taille à l'aide d'une série de tamis de différents diamètres (**Gee & Bauder, 1986**).

II.5.1.2 Matériel utilisé

- Balance de précision
- tamis de différents diamètres
- Agitateur de tamis
- Récipient de collecte des échantillons
- Petite brosse pour le nettoyage des tamis.

II.5.1.3 Procédure expérimentale

Pour chaque échantillon, 100 g de sol sec ont été pesés après séchage à l'air libre (**ISO 11277, 2009**).

L'échantillon a ensuite été soumis à une série de tamis disposés par ordre décroissant de diamètre des mailles comme suit :

2 mm, 315 μm , 224 μm , 200 μm , 80 μm , 50 μm , 36 μm et 20 μm .

Chapitre 2: Matériels et méthodes

L'ensemble a été agité pendant 20 minutes afin d'assurer une séparation efficace des particules selon leur taille.

À la fin du tamisage, la fraction retenue sur chaque tamis a été récupérée et pesée avec précision à l'aide d'une balance analytique.

Remarque méthodologique

La méthode de tamisage seule a été retenue, car le sol étudié présente un caractère essentiellement sableux, ce qui rend cette technique adaptée à l'étude des fractions grossières. En revanche, les fractions fines telles que le limon et l'argile nécessitent des méthodes plus précises comme la sédimentation (Day, 1965).

II.5.1.4 Expression des résultats

Le pourcentage de chaque fraction granulométrique a été calculé par rapport à la masse totale de l'échantillon (100 g), selon la relation suivante :

$$\text{Pourcentage (\%)} = (\text{masse de la fraction} / \text{masse totale}) \times 100$$

Ainsi, la distribution granulométrique finale de chaque échantillon de sol a été déterminée.

Remarque méthodologique

La classification texturale des sols repose généralement sur le triangle textural, fondé sur les proportions de sable, limon et argile.

Toutefois, dans la présente étude, seule la méthode de tamisage a été appliquée (figure 13 et 14), en raison du caractère essentiellement sableux du sol étudié ; ainsi, l'interprétation a été limitée à la distribution des fractions sableuses



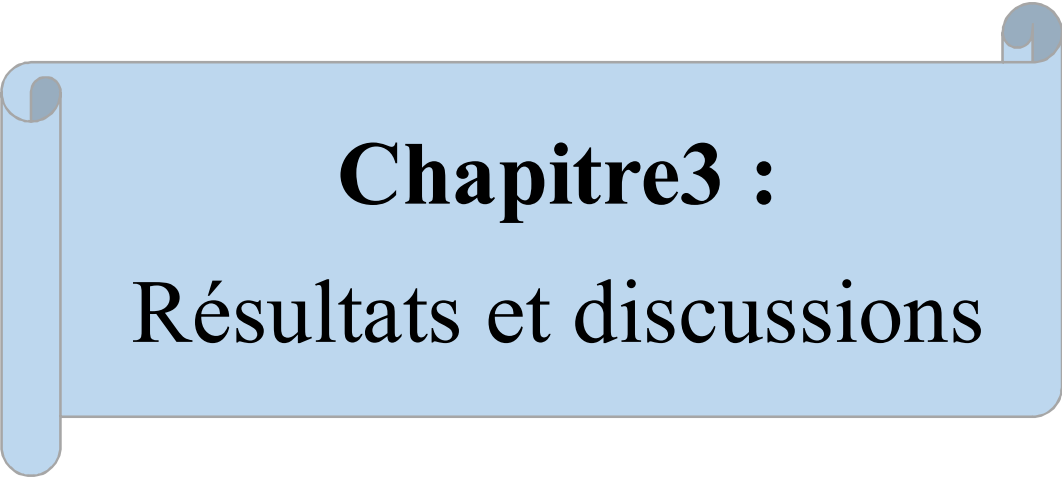
Chapitre 2: Matériels et méthodes

Figure 13 : Tamiseuse vibrante utilisée pour l'analyse granulométrique des sols.



Figure 14 : Série de tamis normalisés utilisée pour le tamisage des échantillons de sol.

La méthodologie adoptée dans cette étude a permis de collecter et d'analyser les échantillons de sol selon des procédures adoptées aux objectifs de la recherches. Les données obtenues constituent une base essentielle pour l'évaluation des caractéristiques des sols étudiés et l'interprétation des résultats qui seront présentés dans le chapitre suivant.



Chapitre3 : **Résultats et discussions**

Chapitre3 : Résultats et discussions

III.1 Interprétation des résultats analytiques

Les résultats ont été analysés paramètre par paramètre afin d'évaluer les caractéristiques physico-chimiques du sol et de faciliter leur interprétation.

III.1.1 Conductivité électrique (CE)

Les résultats de la conductivité électrique (CE) montrent que les valeurs ($350\mu\text{s/cm}$) les plus élevées ont été enregistrées dans la couche superficielle (0 cm), alors qu'une diminution ($220\mu\text{s/cm}$) est observée aux profondeurs de 20 et 40 cm.

Par ailleurs, la fertilisation chimique (FNB) présente des valeurs de CE légèrement supérieures à celles observées sous fertilisation organique (FB), particulièrement dans la couche superficielle. Toutefois, les écarts observés demeurent faibles, ce qui indique que les deux modes de fertilisation n'ont pas entraîné une augmentation importante de la salinité du sol.

Ces résultats sont en accord avec ceux de **Selmy et al., (2022)**, qui ont montré que les propriétés chimiques des sols sableux en milieu aride sont fortement influencées par les pratiques de gestion et de fertilisation. Les auteurs ont également souligné que le maintien d'une faible

salinité dans les sols cultivés est favorisé par une gestion appropriée de la fertilisation et des conditions de drainage.

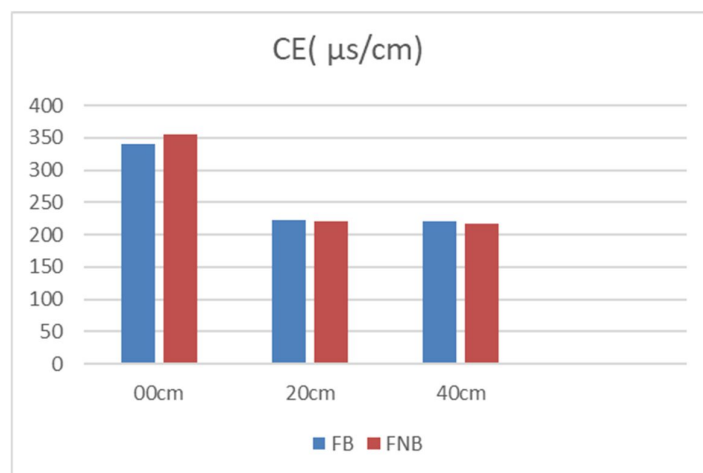


Figure 15 : Comparaisons de CE dans la FB et la FNB

III.1.2 Potentiel hydrogène (pH)

Les résultats obtenus montrent que les sols étudiés présentent une réaction alcaline à l'ensemble des profondeurs analysées. Cette alcalinité constitue une caractéristique typique des sols sableux des régions arides et sahariennes.

Une légère variation du pH a été observée entre les deux modes de fertilisation. Les parcelles soumises à la fertilisation chimique (FNB) présentent des valeurs légèrement inférieures à

Chapitre3 : Résultats et discussions

celles enregistrées dans les parcelles fertilisées biologiquement (FB). Cette différence pourrait être attribuée à l'effet acidifiant de certains engrais minéraux .

Par ailleurs, la faible variation des valeurs du pH (écart-type varie de 0,12 à 0,02) avec la profondeur traduit une relative homogénéité du profil pédologique étudié. Cette stabilité est fréquemment observée dans les sols sableux, caractérisés par une faible différenciation des horizons et une faible teneur en matière organique.

Ces résultats sont en accord avec ceux de **Selmy et al., (2022)**, qui ont montré que les sols sableux cultivés des régions arides conservent généralement un caractère alcalin malgré les pratiques de fertilisation. De même, **Brady et Weil (2017)** ont souligné que la présence de carbonates de calcium dans les sols arides confère à ces derniers un important pouvoir tampon, limitant ainsi les fluctuations du pH.

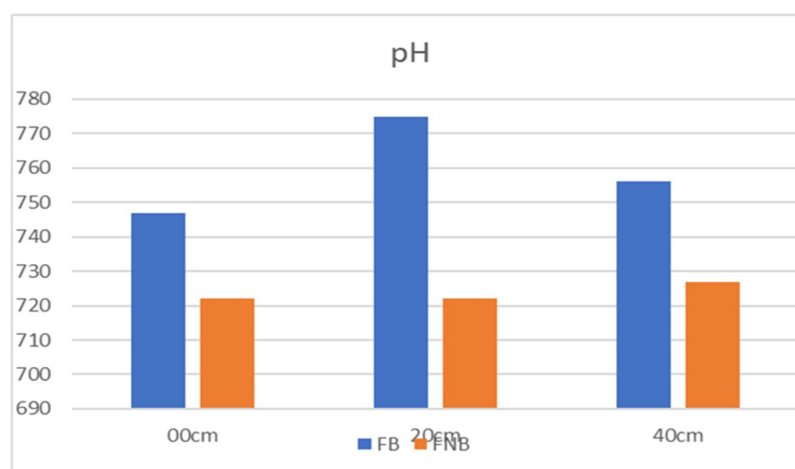


Figure 16 : présentation des valeurs des pH dans FB et FNB

III.1.3 La matière organique (MO)

Les résultats de la matière organique (MO) révèlent des teneurs plus élevées sous fertilisation biologique (FB) que sous fertilisation chimique (FNB), notamment dans la couche superficielle (0 cm), où la valeur maximale a été observée. Cette augmentation est liée à l'apport de matière organique qui enrichit directement le sol.

Une diminution progressive de la teneur en matière organique avec la profondeur est également observée dans les deux systèmes de fertilisation. Cette distribution est classique dans les sols sableux, car les résidus végétaux et les apports organiques sont principalement concentrés dans les horizons superficiels, tandis que les couches profondes reçoivent moins de matière organique.

Chapitre3 : Résultats et discussions

Ces résultats sont en accord avec ceux de **Selmy et al., (2022)**, qui ont montré que la mise en culture des sols sableux en milieu aride améliore significativement la teneur en matière organique, particulièrement dans les couches superficielles. Selon ces auteurs, l'augmentation de la matière organique contribue à améliorer la fertilité du sol, sa structure et sa capacité de rétention de l'eau.

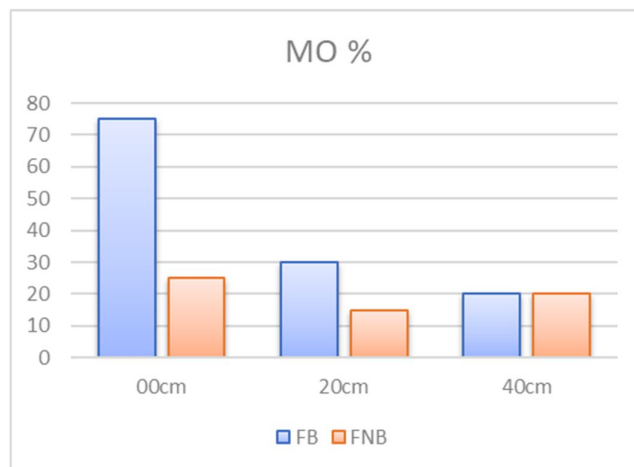


Figure 17 : présentation des valeurs des MO dans FB et FNB

III.1.4 Le Potassium échangeables (K^+)

Les résultats obtenus montrent que la teneur en potassium échangeable (K^+) est plus élevée dans le sol soumis à la fertilisation chimique (FNB) que dans celui recevant une fertilisation organique (FB). Cette différence peut être expliquée par l'apport direct du potassium sous forme minérale dans les engrais chimiques, ce qui augmente rapidement sa disponibilité dans la solution du sol.

À l'inverse, dans les parcelles fertilisées biologiquement, la libération du potassium est généralement plus progressive puisqu'elle dépend de la décomposition de la matière organique et de l'activité microbienne.

Par ailleurs, la texture sableuse des sols de la région d'El Oued joue un rôle important dans la dynamique du potassium. En raison de leur faible capacité d'échange cationique et de leur faible teneur en argile, ces sols retiennent difficilement les éléments nutritifs, ce qui favorise leur lessivage vers les horizons profonds. Malgré cela, les apports réguliers d'engrais minéraux permettent généralement de maintenir des teneurs en potassium plus élevées dans les parcelles fertilisées chimiquement.

Ces observations sont cohérentes avec les conclusions de **Brady et Weil (2017)**, qui indiquent que l'application d'engrais minéraux potassiques augmente rapidement la disponibilité du potassium dans le sol, alors que les amendements organiques libèrent cet élément de manière plus lente et progressive.

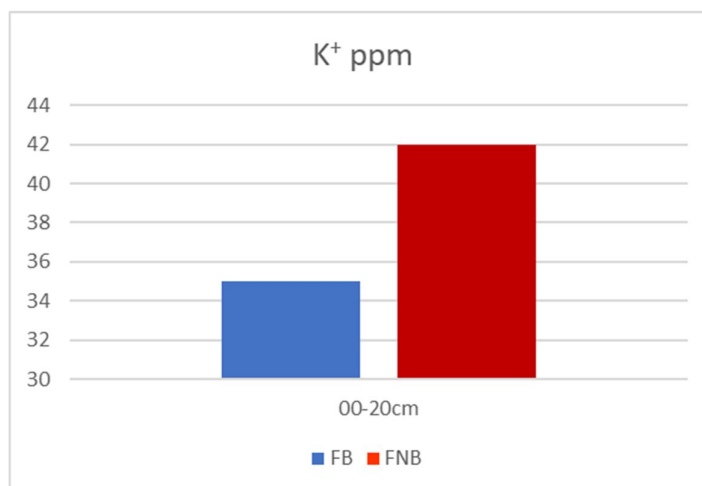


Figure18 : présentation des valeurs des K⁺ dans FB et FNB

III.1.5 Le Calcium échangeables (Ca²⁺)

Les résultats montrent que la teneur en calcium échangeable (Ca²⁺) est légèrement plus élevée dans la ferme biologique (FB) que dans la ferme soumise à la fertilisation chimique (FNB). Cette différence peut être attribuée à l'apport régulier de matières organiques, qui favorisent l'amélioration des propriétés physicochimiques du sol et contribuent à la conservation des cations nutritifs dans la couche superficielle.

Dans les sols sableux, caractérisés par une faible capacité de rétention des éléments minéraux, la matière organique joue un rôle essentiel dans la limitation des pertes par lessivage et dans le maintien de la disponibilité du calcium pour les plantes. À l'inverse, la fertilisation chimique seule peut favoriser une utilisation plus rapide des éléments nutritifs et leur migration vers les horizons plus profonds sous l'effet de l'irrigation.

Ainsi, les résultats obtenus suggèrent que la fertilisation biologique contribue à une meilleure conservation du calcium dans le sol, ce qui constitue un facteur favorable à la fertilité des sols sableux de la région d'étude.

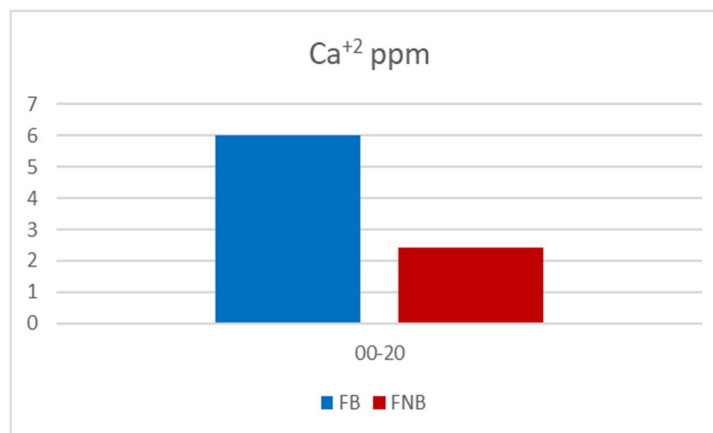


Figure19 : présentation des valeurs des Ca²⁺ dans FB et FNB

III.1.6 Le Sodium échangeables (Na⁺)

Les résultats montrent que la teneur en sodium échangeable (Na⁺) est légèrement plus élevée dans le sol soumis à la fertilisation chimique (FNB) que dans celui recevant une fertilisation biologique (FB). Cette différence peut être liée à l'apport d'ions solubles provenant des engrais minéraux, qui contribuent à augmenter la concentration des sels dans la solution du sol.

Dans les sols sableux des régions arides, le sodium est fortement influencé par la qualité de l'eau d'irrigation, les conditions climatiques et les pratiques de fertilisation. La faible capacité de rétention de ces sols favorise généralement la mobilité des ions solubles. Toutefois, l'apport continu d'engrais chimiques peut entraîner une accumulation progressive du sodium dans les horizons superficiels, particulièrement lorsque les précipitations sont faibles et que le lessivage naturel reste limité.

En revanche, la fertilisation biologique tend à maintenir un meilleur équilibre chimique du sol grâce à l'amélioration de la structure du sol et à l'augmentation de la matière organique, ce qui favorise une meilleure gestion des éléments nutritifs et limite l'accumulation excessive des sels solubles.

Ces résultats sont cohérents avec les observations rapportées par **Brady et Weil (2017)**, qui indiquent que les sols arides soumis à des apports réguliers d'engrais minéraux peuvent présenter une augmentation de certains ions solubles, notamment le sodium, alors que les amendements organiques contribuent généralement à améliorer la qualité chimique du sol et à réduire les risques de salinisation.

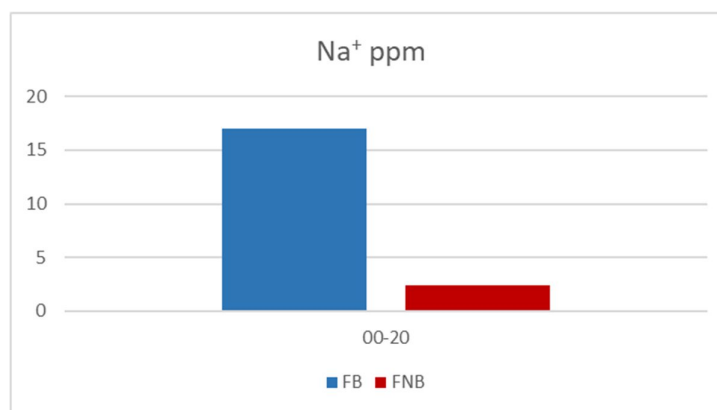


Figure20 : présentation des valeurs des Na⁺ dans FB et FNB

Remarque

L'analyse des cations échangeables (K⁺, Na⁺ et Ca²⁺) a été réalisée uniquement sur l'horizon de surface (0–20 cm). Ce choix a été imposé par certaines contraintes analytiques et logistiques au niveau du laboratoire. De plus, cette profondeur a été retenue car elle représente la couche la plus active du sol, directement influencée par les pratiques de fertilisation, l'activité racinaire et l'accumulation de la matière organique. Ainsi, elle constitue l'horizon le plus représentatif pour évaluer l'effet des différents modes de fertilisation sur la disponibilité des éléments nutritifs dans le sol.

III.1.7 Le Cadmium (Cd)

Les résultats présentés dans la figure (21) montrent que la teneur en cadmium (Cd) est plus élevée dans le sol soumis à la fertilisation chimique (FNB) que dans celui recevant une fertilisation biologique (FB). Cette différence suggère une accumulation plus importante du cadmium dans les parcelles fertilisées par des engrais minéraux.

Cette situation peut être expliquée par la présence de traces de cadmium dans certains fertilisants utilisés en agriculture conventionnelle, notamment les engrais phosphatés. L'application répétée de ces intrants peut favoriser l'enrichissement progressif du sol en cet élément trace métallique. À l'inverse, la fertilisation biologique limite généralement les apports directs de cadmium et contribue à maintenir des teneurs plus faibles dans le sol.

Bien que les concentrations enregistrées restent faibles dans les deux systèmes de culture, les résultats mettent en évidence l'influence du mode de fertilisation sur la dynamique du cadmium dans les sols agricoles. Les teneurs plus élevées observées dans la parcelle FNB traduisent une tendance à l'accumulation de cet élément sous l'effet des pratiques de fertilisation minérale.

Ces résultats sont en accord avec ceux de **Rashid et al., (2023)**, qui ont indiqué que le cadmium figure parmi les principaux métaux lourds susceptibles de s'accumuler dans les sols agricoles en raison des activités anthropiques, notamment l'utilisation répétée de certains fertilisants. Les auteurs soulignent également que cette accumulation peut affecter la qualité des sols et représenter un risque potentiel pour les cultures à long terme. Ces observations rejoignent

Chapitre3 : Résultats et discussions

également les conclusions de **Tilaouatine et Semahi (2021)**, qui ont mis en évidence l'importance des pratiques agricoles dans la présence et la distribution des métaux lourds dans les sols.

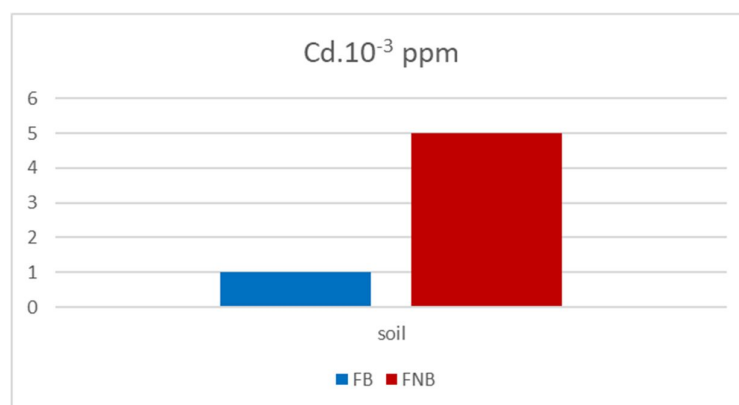


Figure21 : présentation des valeurs des Cd dans FB et FNB

III.1.1 Le Plomb (Pb)

Les résultats présentés dans la figure montrent une différence nette entre les deux modes de fertilisation. La concentration en plomb (Pb) est plus élevée dans le sol soumis à la fertilisation chimique (FNB), où elle atteint environ 5 ppm, tandis qu'elle est pratiquement nulle dans le sol fertilisé biologiquement (FB).

Cette augmentation observée dans la parcelle FNB peut être liée à l'utilisation répétée d'engrais minéraux susceptibles de contenir des traces de métaux lourds, notamment le plomb. Avec les apports successifs, ces éléments peuvent s'accumuler progressivement dans les horizons superficiels du sol. À l'inverse, la fertilisation biologique repose principalement sur des amendements organiques qui apportent généralement moins de contaminants métalliques et favorisent la stabilisation des métaux grâce à l'action de la matière organique.

Les résultats obtenus indiquent ainsi que le mode de fertilisation influence la présence du plomb dans le sol. Bien que la concentration enregistrée demeure relativement faible, sa détection exclusive dans la parcelle fertilisée chimiquement suggère une contribution potentielle des intrants minéraux à l'enrichissement du sol en cet élément trace métallique.

Ces observations sont en accord avec les travaux de **Chopin et al., (2023)**, qui ont souligné que certaines pratiques agricoles, notamment l'utilisation répétée de fertilisants minéraux, peuvent constituer une source potentielle d'accumulation des métaux lourds dans les sols cultivés.

Les auteurs indiquent également que le suivi régulier de ces éléments est nécessaire afin de prévenir leur accumulation à long terme et de préserver la qualité des sols agricoles.

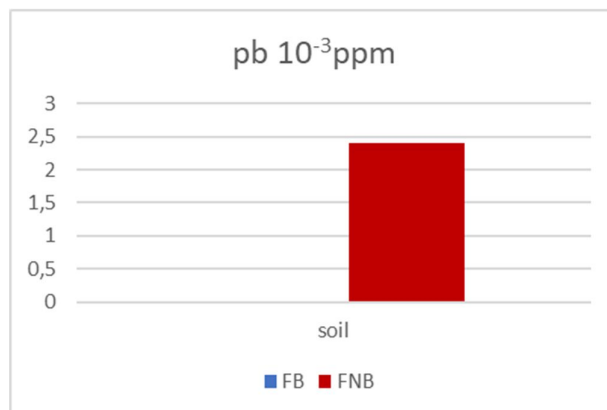


Figure 22 : présentation des valeurs des Pb dans FB et FNB

II.1.9 La granulométrie

Les résultats analytiques de la granulométrie montrent que la texture du sol est sableuse dans les deux exploitations comme indiquent les données présentées dans le tableau (8) et (9)

Tableau 08 : les résultats analytiques granulométriques de sol de FB

Diamètre (μm)	0 cm (%)	20 cm (%)	40 cm (%)
2mm	/	/	/
315(μm)	30.92	27.78	26.53
224(μm)	29.69	21.8	22.89
200(μm)	12.18	7.7	7.07
80(μm)	24.77	39.45	39.95
50(μm)	2.35	2.53	2.91
36(μm)	0.068	0.7	0.62
20(μm)	/	/	/
Total	≈100 %	≈100 %	≈100 %

Chapitre3 : Résultats et discussions

Tableau 09 : les résultats analytiques granulométriques de sol de FNB

Diamètre (µm)	0 cm (%)	20 cm (%)	40 cm (%)
2mm	1.8	/	/
315(µm)	25.2	17.6	15.06
224(µm)	52.5	20.32	20.12
200(µm)	1.9	6.43	8.59
80(µm)	18	52.81	52.78
50(µm)	0.6	2.51	3.03
36(µm)	/	0.3	0.2
20(µm)	/	/	0.2
Total	≈100%	≈100 %	≈100 %

Discussion générale

L'objectif de cette étude était d'évaluer l'impact de deux modes de fertilisation – fertilisation biologique (FB) et fertilisation chimique (FNB), sur les caractéristiques physico-chimiques des sols sableux de la région d'El Oued, en milieu aride. Les paramètres analysés incluent la conductivité électrique (CE), le pH, la matière organique (MO), les éléments nutritifs (K^+ , Ca^{2+} , Na^+), les métaux lourds (Cd, Pb) et la granulométrie. Cette section analyse les résultats, les compare aux recherches précédentes et discute des impacts sur la fertilité et la qualité des sols.

Les valeurs de conductivité électrique sont plus élevées dans la couche superficielle (0 cm) et diminuent avec la profondeur (20 et 40 cm), ce qui traduit une accumulation naturelle des sels dans l'horizon supérieur. La fertilisation chimique (FNB) présente des valeurs de CE légèrement supérieures à la fertilisation biologique (FB), particulièrement en surface, mais les écarts demeurent faibles, indiquant que les deux systèmes n'ont pas entraîné une salinité importante du sol. Ces résultats concordent avec **Selmy et al., (2022)**, qui ont montré que les propriétés chimiques des sols sableux en milieu aride sont fortement influencées par les pratiques de fertilisation, et que le maintien d'une faible salinité est favorisé par une gestion appropriée et un bon drainage

Le pH révèle une réaction alcaline à toutes les profondeurs, caractéristique typique des sols sableux des régions arides et sahariennes. Les parcelles FNB présentent des valeurs légèrement inférieures à la FB, probablement due à l'effet acidifiant de certains engrais minéraux. La faible variation du pH avec la profondeur traduit une homogénéité du profil pédologique, fréquente dans les sols sableux à faible teneur en matière organique. Ces observations sont en accord avec **Selmy et al., (2022)** et **Brady et Weil (2017)**, qui soulignent que la présence de carbonates de calcium confère aux sols arides un pouvoir tampon important, limitant les fluctuations du pH

La matière organique est nettement plus élevée sous fertilisation biologique (FB), notamment dans la couche superficielle où la valeur maximale est enregistrée. Cette augmentation est

Chapitre3 : Résultats et discussions

directement liée à l'apport de matière organique qui enrichit le sol. Une diminution progressive avec la profondeur est observée dans les deux systèmes, distribution classique dans les sols sableux où les résidus végétaux et apports organiques sont concentrés en surface. **Selmy et al., (2022)** ont démontré que la mise en culture des sols sableux en milieu aride améliore significativement la MO en surface, contribuant à améliorer la fertilité, la structure et la capacité de rétention d'eau

Pour le potassium échangeable (K^+), la teneur est plus élevée en FNB qu'en FB. Cette différence s'explique par l'apport direct de potassium minéral dans les engrais chimiques, augmentant rapidement sa disponibilité. En FB, la libération du potassium est plus progressive, dépendante de la décomposition de la matière organique et de l'activité microbienne. La texture sableuse des sols d'El Oued, caractérisée par un faible capacité d'échange cationique, favorise le lessivage des nutriments vers les horizons profonds, mais les apports réguliers d'engrais minéraux maintiennent des teneurs en K^+ plus élevées en FNB. Ces observations concordent avec Brady et Weil.(2017)

Le calcium échangeable (Ca^{2+}) est légèrement plus élevé en FB qu'en FNB, attribuable à l'apport régulier de matières organiques qui améliorent les propriétés physico-chimiques du sol et conservent les cations nutritifs en surface. Dans les sols sableux à faible rétention, la matière organique joue un rôle essentiel en limitant les pertes par lessivage et en maintient la disponibilité du calcium. La fertilisation biologique contribue ainsi à une meilleure conservation du calcium, favoris la fertilité

Le sodium échangeable (Na^+) est légèrement plus élevé en FNB qu'en FB, lié à l'apport d'ions solubles des engrais minéraux augmentant la concentration des sels. En sols sableux arides, le sodium est influencé par la qualité de l'eau d'irrigation, le climat et les pratiques de fertilisation. La fertilisation biologique maintient un meilleur équilibre chimique grâce à l'amélioration de la structure et l'augmentation de la MO, limitant l'accumulation excessive de sels. Ces résultats sont cohérents avec **Brady et Weil (2017)**

La teneur en cadmium (Cd) est plus élevée en FNB qu'en FB, suggérant une accumulation plus importante dans les parcelles fertilisées par engrais minéraux. Cette situation peut être expliquée par la présence de traces de cadmium dans certains fertilisants, notamment les engrais phosphatés. L'application répétée favorise l'enrichissement progressif du sol. Bien que les concentrations restent faibles, les résultats mettent en évidence l'influence du mode de fertilisation sur la dynamique du **Cd**. **Rashid et al.,(2023)** ont indiqué que le cadmium figure parmi les principaux métaux lourds s'accumulant dans les sols agricoles due aux activités anthropiques, notamment l'utilisation répétée de fertilisants, pouvant affecter la qualité des sols et représenter un risque pour les cultures à long terme

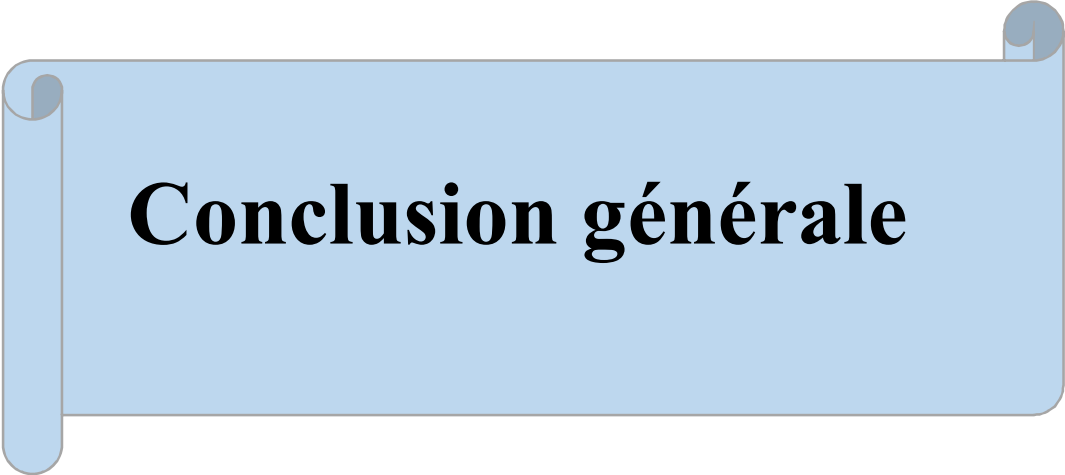
La concentration en plomb (Pb) présente une différence nette : environ 5 ppm en FNB, pratiquement nulle en FB. Cette augmentation en FNB est liée à l'utilisation répétée d'engrais minéraux contenant des traces de métaux lourds. La fertilisation biologique repose sur des amendements organiques apportant moins de contaminants et favorisant la stabilisation des métaux par la MO. La détection exclusive de Pb en FNB suggère une contribution potentielle

Chapitre3 : Résultats et discussions

des intrants minéraux à l'enrichissement du sol. **Chopin et al., (2023)** ont souligné que certaines pratiques agricoles, notamment l'utilisation répétée de fertilisants minéraux, peuvent constituer une source d'accumulation des métaux lourds, nécessitant un suivi régulier pour préserver la qualité des sols

Les résultats granulométriques confirment une texture sableuse dans les deux exploitations (tableaux 8 et 9), caractéristique des sols de la région d'El Oued. Cette texture influence fortement la dynamique des nutriments et des sels, avec une faible capacité de rétention favorisant le lessivage.

L'analyse des actions échangeables (K^+ , Na^+ , Ca^{2+}) a été réalisée uniquement sur l'horizon de surface (0–20 cm) en raison de contraintes analytiques. Cette profondeur représente la couche la plus active, directement influencée par la fertilisation, l'activité racinaire et l'accumulation de MO, constituant l'horizon le plus représentatif pour évaluer l'effet des modes de fertilisation.



Conclusion générale

Conclusion Général

Conclusion générale

Les résultats de cette étude permettent d'établir une comparaison claire entre la fertilisation biologique (FB) et la fertilisation chimique (FNB) en termes d'impact sur la qualité physico-chimique des sols sableux de la région d'El Oued.

La fertilisation biologique présente plusieurs avantages déterminants : elle augmente significativement la teneur en matière organique du sol, particulièrement dans l'horizon superficiel où se concentre l'activité racinaire. Cette augmentation de la matière organique joue un rôle fondateur dans l'amélioration de la fertilité du sol, car elle contribue à renforcer sa structure, à améliorer sa capacité de rétention en eau et à favoriser l'activité microbienne. De plus, la FB conserve mieux le calcium échangeable (Ca^{2+}), élément essentiel pour la stabilité des agrégats du sol et la nutrition des plantes. Elle limite également l'accumulation de sodium (Na^+), réduisant ainsi les risques de salinisation, et maintien des teneurs plus faibles en métaux lourds toxiques comme le cadmium (Cd) et le plomb (Pb), préservant ainsi la qualité environnementale du sol.

La fertilisation chimique, quant à elle, offre un avantage immédiat notable : elle maintient des teneurs plus élevées en potassium échangeable (K^+), car les engrais minéraux apportent cet élément sous forme directement disponible pour les plantes. Cependant, cet avantage est contrebalancé par plusieurs effets négatifs à long terme : accumulation progressive de cadmium et de plomb (provenant probablement de traces métalliques dans les engrais phosphatés et minéraux), légère augmentation de la conductivité électrique (indicateur de salinité), et accumulation plus importante de sodium dans l'horizon superficiel.

Recommandations

Pour la gestion des sols sableux en milieu aride. Au regard de ces résultats, plusieurs stratégies de gestion peuvent être proposées pour optimiser la fertilité des sols sableux de la région d'El Oued tout en préservant leur qualité environnementale:

◆Privilégier la fertilisation biologique ou adopter une fertilisation intégrée

La fertilisation biologique devrait être encouragée comme mode principal, car elle améliore durablement la qualité du sol. Toutefois, une approche de fertilisation intégrée (combinaison de FB et FNB) pourrait également être intéressante : elle permettrait de bénéficier des avantages de la matière organique (structure, rétention d'eau, conservation du calcium) tout en complétant par des apports minéraux ciblés pour assurer des teneurs suffisantes en potassium lorsque les

Conclusion Général

besoins des plantes sont élevés. Cette approche équilibrée minimise les risques d'accumulation de métaux lourds tout en garantissant une nutrition optimale des cultures.

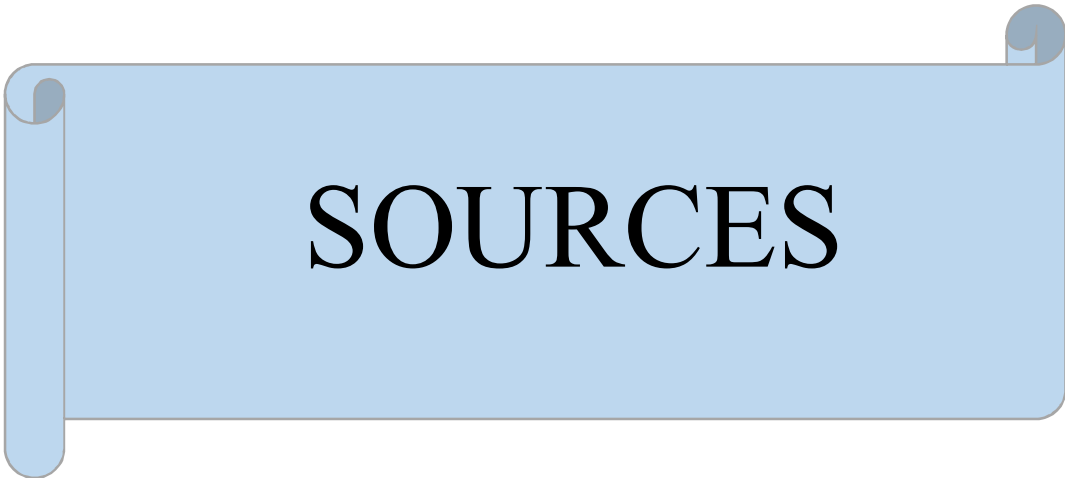
♦Mettre en place un suivi régulier des métaux lourds

Les parcelles fertilisées chimiquement doivent être surveillées périodiquement pour mesurer les teneurs en cadmium et en plomb. Ce suivi permet de détecter précocement toute tendance à l'accumulation et d'adapter les pratiques avant que les concentrations n'atteignent des niveaux dangereux pour les cultures ou la santé humaine. Des analyses annuelles ou biennales seraient suffisantes dans un premier temps, avec une fréquence accrue si des augmentations sont observées.

♦Maintenir des apports organiques réguliers même en cas de fertilisation chimique. Dans le cas où la fertilisation chimique est nécessaire (pour des raisons économiques, de disponibilité ou de besoins spécifiques des cultures), il est essentiel de maintenir des apports organiques réguliers (compost, fumier, résidus végétaux). Ces apports compensent les effets négatifs de la FNB en améliorant la structure du sol, en augmentant sa capacité d'échange cationique (ce qui limite le lessivage des nutriments), et en favorisant la stabilisation des métaux lourds par complexation avec la matière organique.

Perspective

L'application de ces pratiques de gestion permettra de préserver à long terme la fertilité et la qualité environnementale des sols agricoles de la région d'El Oued. La fertilisation biologique, seule ou combinée à la fertilisation chimique dans une approche intégrée, représente la stratégie la plus durable pour ces sols sableux sensibles, car elle améliore simultanément les propriétés physico-chimiques du sol, optimise la nutrition des plantes et réduit les risques de contamination par les métaux lourds et de salinisation. Cette approche contribue également à renforcer la résilience des systèmes agricoles face aux contraintes du milieu aride, assurant ainsi la pérennité de l'activité agricole dans la région.



SOURCES

SOURCES

- Abidi Hocine**, H., & Touati Saci, S. (2018). Application du SIG pour déterminer la qualité physicochimique des eaux des forages destinées à l'AEP dans la région du Souf. Thèse de Master en Hydraulique, Université Echahid Hamma Lakhdar d'El Oued, Algérie, pp. 06–07..
- ACHOUR**, A. (1995). Diagnostic de l'état du patrimoine phoenicicole Algérien et essai d'analyse du coût de production dattier : Cas de la palmeraie du Souf. Mémoire d'Ingénieur, Université d'Ouargla, 65 p..
- Alloway**, B. J. (1995). Soil Processes and the Behavior of Metals. New York, USA: John Wiley & Sons..
- A.N.R.H.** (2009). Les ressources en eaux de la Wilaya d'El-Oued. Rapport technique, 27 p..
- APS** (Algérie Presse Service). (2019, 5 avril). El-Oued : pôle agricole en tête des wilayas du Sud, 71 p ..
- Bernal**, M. P., Clemente, R., & Walker, D. J. (2007). The Role of Organic Amendments in the Bioremediation of Heavy Metals-Polluted Soils. New York, USA: Nova Science Publishers..
- Brady**, N. C., & Weil, R. R. (2002). The Nature and Properties of Soils (13th ed.). New Jersey, USA: Prentice Hall.
- Brady**, N.C., & Weil, R.R. (2017). The Nature and Properties of Soils. 15th Edition. Pearson Education .
- Chaker**, S., & Abdessalam, H. (2019). Analyse de la variabilité de la fertilisation organique et des méthodes d'irrigation sur la productivité de l'hectare de pomme de terre dans la région d'El Oued – Algérie. Mémoire de Master, Faculté des Sciences Économiques, Commerciales et des Sciences de Gestion, Université Echahid Hamma Lakhdar, El Oued, Algérie.
- Chebani**, W., Bouskaia, C., & Beljani, C. (2021). Contribution à l'étude des maladies et des ravageurs agricoles dans la région du Souf. Université Echahid Hamma Lakhdar d'El Oued, Algérie ..
- Chopin**, E.I.B., Marin, B., Mkoungafoko, R., et al. (2023). Heavy Metal Occurrence in Agricultural Soils and Their Relationship with Fertilization Practices. *Agronomy*, 13(6), 1521.
- Danchin É., Giraldeau L.A., Et Cezilly, F., 2005** - Écologie comportementale : cours et questions de réflexion. *Dunod*, Paris, 666p.
- DPAT**. (2016). Monographie de la wilaya d'El Oued. Direction de la Planification et de l'Aménagement du Territoire, Wilaya d'El Oued, Algérie .
- DSA** (Direction des Services Agricoles de la Wilaya d'El-Oued). (2010, 2015, 2016). Statistiques agricoles de la wilaya d'El Oued
- ENAGEO**. (1993). Rapports techniques. Entreprise Nationale de Géophysique .
- FAO**. (2021). Standard Operating Procedures for Soil Sample Preparation and Analysis. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.

Sources

Faurie C., Ferra C. Et Medori P., 1980 –*Ecologie*. Ed. Baillière, Parie, 168p.
Faurie C., Ferra C. Et Medori P., 1984.- *Ecologie*. Ed. J. B. Baillière, Paris, 162 p.

Gee, G. W., & Bauder, J. W. (1986). Particle-size analysis. In A. Klute (Ed.), *Methods of Soil Analysis: Part 1 – Physical and Mineralogical Methods* (2nd ed., pp. 383–411). Soil Science Society of America.

Goldin, A. (1987). Reassessing the use of loss-on-ignition for estimating organic matter content in noncalcareous soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 18(10), 1111–1116 .

Halis, Y. (2007). Encyclopedia of the Flora of the Souf Region: Common Desert Plants of the Great Eastern Erg. El Oued, Algeria: Al Walid Printing Press.

ISO. (1994/2006). Soil Quality – Pretreatment of Samples for Physico-Chemical Analysis (ISO 11464). Geneva, Switzerland.

ISO. (2021). Soil Quality – Determination of pH (ISO 10390:2021). Geneva, Switzerland.

Jackson, M.L. (1967). Soil Chemical Analysis. Prentice-Hall of India Pvt. Ltd., New Delhi, Inde, 498 p.

Kabata-Pendias, A. (2007). Trace Elements in Soils and Plants (3rd ed.). Boca Raton, Florida, USA: CRC Press.

Kadri, S. R., & Chaouche, S. (2018). La remontée des eaux dans la région du Souf : une menace sur un écosystème oasien. *Les Cahiers d'EMAM*, n°30.

Kasmi, K., Dou, M., & Lassoued, F. (2021). Contribution à l'étude de la répartition spatiale de la végétation spontanée au niveau de la région de Hassi Khalifa, Wilaya d'El Oued. Mémoire de Master, Faculté des Sciences et de la Technologie, Université d'El Oued, Algérie, 89 p.

Khiyouani, A. (2019). Distribution et traitement des ions fluorures dans les eaux potables des villes algériennes (Batna, Biskra, El Oued). Université Mohamed Khider, Biskra.

Kouder, A., Kerrouche, A., & Mestefaoui, M. (2024). Étude du comportement variétal de quelques variétés de pomme de terre. Université Echahid Hamma Lakhdar d'El Oued, Département d'Agronomie, Algérie.

Le Souf. (s.d.). La région du Souf est divisée administrativement en neuf daïras et dix-huit communes. Consulté le 15/02/2025.

MAISSA, B. (2016). L'eau et l'espace agricole dans l'Oued Souf : cas de l'ancienne palmeraie. Mémoire de Magister, Université d'Ouargla.

Mortvedt, J. J. (1996). Heavy Metals Contaminants in Inorganic and Organic Fertilizers. *Fertilizer Research*, 43, 55–61.

Nadjah, A. (1971). Le Souf des oasis. La Maison du Livre, Algérie .

Sources

- Nelson, D. W., & Sommers, L. E.** (1996). Total carbon, organic carbon, and organic matter. In D. L. Sparks et al. (Eds.), *Methods of Soil Analysis: Part 3 – Chemical Methods* (pp. 961–1010). Soil Science Society of America.
- Nicholson, F. A., Smith, S. R., Alloway, B. J., Carlton-Smith, C., & Chambers, B. J.** (2003). An Inventory of Heavy Metals Inputs into Agricultural Soils in England and Wales. *Science of the Total Environment*, 311(1–3), 205–219.
- Ramade, F., 2008.-** Dictionnaire encyclopédique des sciences de la nature et de la biodiversité. *Ed. Dunod*, Paris, 737p.
- Rashid, A., Schutte, B.J., Ulery, A., Deyholos, M.K., Sanogo, S., Lehnhoff, E.A., & Beck, L.** (2023). Heavy Metal Contamination in Agricultural Soil: Environmental Pollutants Affecting Crop Health. *Agronomy*, 13(6), 1521.
- Richards, L.A. (Éd.).** (1954). *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils*. Agriculture Handbook n° 60, United States Department of Agriculture (USDA), Washington, D.C., États-Unis, 160 p.
- Savci, S.** (2012). An Agricultural Pollutant: Chemical Fertilizers. *International Journal of Environmental Science and Development*, 3(1), 77–80.
- Selmy, S.A.H., Abd Al-Aziz, S.H., Ibrahim, A.G., & Jiménez-Ballesta, R.** (2022). Impact of Short-Term Cultivation on Some Selected Properties of Sandy Soil in an Arid Environment. *Soil Systems*, 6(4), 82.
- Su, K., Zhang, Q., Chen, A., Wang, X., Zhan, L., Rao, Q., Wang, J., & Yang, H.** (2025). Title... *Scientific Reports*, 15, 1230 .
- Thomas, G.W.** (1982). Exchangeable Cations. In: Page, A.L., Miller, R.H. & Keeney, D.R. (Eds.), *Methods of Soil Analysis, Part 2: Chemical and Microbiological Properties* (2nd ed., pp. 159–165). American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA.
- Tilaouatine, S., & Semahi, M.** (2021). Étude analytique sur la pollution des sols par les métaux lourds. Mémoire de Master, Université Kasdi Merbah Ouargla, Algérie.
- Tria, S.** (2011). Influence des fréquences d’arrosage sur le comportement de la pomme de terre dans la région du Souf. Mémoire d’Ingénieur, Université d’Ouargla, 78 p.
- USDA.** (2014). *Soil Survey Field and Laboratory Methods Manual*. Rapport d’investigation pédologique n° 51, Version 2.0. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service (NRCS), Washington, DC, États-Unis .
- VOISIN, A. R.** (2004). *Le Souf : Monographie*. Éditions El-Walid, El Oued, Algérie, 319 p.
- VOISIN, P.** (2004). *Le Souf*. Éditions El-Walid, El Oued, Algérie, 190 p.
- Zeghouane, A., & Chaouki, R.** (2018). Contribution à l’étude de la conduite d’adduction située à Hassi Khalifa. Algérie.

Sources

Zine, H., D'jeouadi, N., & Messai Ahmed, Y. (2022). Détermination de la qualité des eaux souterraines de la vallée d'El Oued (SE algérien) : utilisation de l'indice de qualité des eaux souterraines (GWQI). Université Echahid Hamma Lakhdar d'El Oued.