

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



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

Département de Biologie

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

Filière : Science biologiques

Spécialité : Microbiologie appliquée

Par : - HADJMATALLAH Fatima Zohra
- OUZAID Nadir

Thème

**Stratégies d'amélioration de la séquestration du carbone
organique dans les sols agricoles.**

Soutenu publiquement, le : 23/09/2024, devant le jury composé de :

Mme Cherif R.	Maitre de conférences B	Univ. Ghardaia	Président
M. Benslama A.	Maitre de conférences B	Univ. Ghardaia	Directeur de mémoire
M. Chikhi F	Maitre de conférences B	Univ. Ghardaia	Co-Directeur de mémoire
M. Kadri M.	Maitre de conférences B	Univ. Ghardaia	Examineur

Année universitaire : 2023/2024



Remerciement

À l'issue de cette étude, nous remercions Allah, qui m'a accordé la force, la détermination et la volonté nécessaires pour poursuivre mon apprentissage tout au long de ces années.

*Nous exprimons notre plus sincère gratitude à notre encadrant, **M. BENSLAMA A.**, ainsi qu'à notre co-encadrant, **M. CHIKHI F.**, pour leur suivi rigoureux et leur accompagnement constant. Leur investissement en temps, leurs précieux conseils et leur intérêt sincère ont été des sources d'inspiration et d'enrichissement.*

*Nous adressons également nos remerciements les plus sincères à **Mme DJAMOUI N.**, professeure, qui nous a accompagnés tout au long des travaux en laboratoire, notamment pour la partie microbienne.*

*Nos remerciements vont également aux membres du jury, **Mme CHERIF R.** et **M. KADRI M.**, pour avoir pris le temps d'examiner et d'évaluer ce travail avec bienveillance.*

Enfin, nous tenons à exprimer notre profonde reconnaissance à tous les professeurs du département des Sciences Biologiques ainsi qu'à tous nos collègues de travail, pour avoir contribué à renforcer l'unité et la coopération au sein de notre équipe durant ces cinq années de recherche.

Dédicace



À celui qui détient mon cœur et qui a inspiré ma détermination, **mon père**. J'ai honoré ma promesse, et c'est avec fierté que je porte votre nom. Vantez-vous de votre fille devant les cieux, car cela fut mon plus grand honneur.

À ma chère **mère**, qui n'a jamais cessé de croire en moi, m'encourageant sans relâche à poursuivre mes rêves, même lorsque les obstacles semblaient insurmontables. Grâce à toi, j'ai trouvé la force et la résilience nécessaires pour atteindre ce moment. Ton amour et ta lumière continueront d'éclairer mon chemin.

À mes précieuses sœurs, **Ibtissam** et **Hadil**, témoins de chaque étape de ma vie.

À mon frère bien-aimé, **Mohammed**.

Au soldat inconnu, à celui qui, par son amour inconditionnel, m'a soutenue dans mes moments de faiblesse et m'a guidée loin des chemins du malheur. Tu m'as montré le chemin de la sérénité, sans obstacles. À toi, mon compagnon de vie, celui avec qui j'ai partagé tant de joies et de peines, de réussites et d'échecs, et qui attendait ce moment pour être fier de moi. À toi, celui avec qui la vie était douce, à toi dont les paroles résonnent éternellement dans mon cœur.

À ceux qui ont toujours cru en moi et qui m'ont rappelé ma force et mes capacités...
À mes compagnons fidèles tout au long de ces années.

Je vous dédie ce travail humblement, fruit de mes efforts. Et que Dieu soit le Donateur du succès.



ELZAHRAA.

Dédicace



*Je dédie ce modeste mémoire à **mes parents**, dont le soutien et l'encouragement ont été essentiels tout au long de mon parcours académique. Que ces quelques mots témoignent de ma profonde gratitude envers eux.*

Un grand merci à mon frère, à mes sœurs, ainsi qu'à tous ceux qui ont partagé avec moi les moments forts et émouvants de la réalisation de ce travail. Leur soutien enthousiaste et leurs encouragements ont été d'une grande importance pour moi.

Je n'oublie pas non plus le soutien moral, la patience et la compréhension de mes partenaires tout au long de ce projet. Leur présence a été un véritable pilier.

Merci également à mes oncles, cousins et amis, qui m'ont toujours apporté leur amour et leurs encouragements.

Enfin, je tiens à exprimer ma reconnaissance à mes chers amis, professeurs et collègues pour leur soutien indéfectible.

NADIR.



Liste des Abréviations

PH : Potentiel d'hydrogène

MO : Matière organique

CT : Calcaire Total

CE : Conductivité Electrique

UFC : Unités formant colonies

K₂Cr₂O₇ : Acide sulfurique

DPAT : Département de planification et de l'aménagement du Territoire

ONM : Office National de la Météorologie

CaCO₃ : Carbonates de Calcium

HCl : Acide Chlorhydrique

Na₆O₁₈P₆ : Hexamétaphosphate de Sodium

Na₆O₁₈P₆ : Carbonates de Sodium

Résumé

Comparer les écosystèmes implique de communiquer sur la diversité des populations, la fonction impactante de la biodiversité et les fonctions écosystémiques qui sont assurées. Ces solutions comprennent la régulation des cycles biologiques, la purification de l'eau et la séquestration du carbone. D'un autre côté, cela signifie que l'intérieur de la nature est nécessaire à la production de nourriture, à la présence d'eau et à la diversité des espèces. Il est nécessaire de connaître les facteurs d'influence les plus importants. Étudier en profondeur les caractéristiques du sol, notamment les micro-organismes qu'il contient, qui jouent un rôle fondamental dans la fixation d'azote. Nos travaux menés dans la zone de N'tissa dans la wilaya de Ghardaia visent à diagnostiquer et caractériser les sols propices à la culture des palmiers et diverses autres espèces. Pour ce faire et atteindre notre objectif, nous avons prélevé des échantillons de sol. En prélevant dix échantillons en des points aléatoires à une profondeur de 20 cm dans l'une des fermes agricoles situées dans la région de N'tissa. Nous avons mené une série d'expériences physico-chimiques (calcaire total (CT), la conductivité électrique (CE), le pH, la matière organique (MO) et l'analyse Chimio-pondérale (méthode de Bouyocos)) et microbiologiques (isolement, purification, coloration de Gram, test de l'oxydase et test de catalase) en laboratoire. Les sols analysés présentent une texture grossière et une structure particulière. Ils sont caractérisés par une très faible teneur en matière organique, un pH alcalin et une salinité modérée à forte. Malgré ces contraintes, nous avons mis en évidence la présence de bactéries fixatrices d'azote, témoignant d'une certaine biodiversité microbienne. Sur la base des résultats obtenus après avoir effectué des analyses pédologiques et microbiologiques du sol, nous avons constaté qu'ils sont directement proportionnels aux résultats obtenus lors d'analyse des sols désertiques, tout était une Ph basiques avec une texture grossières, une valeur calcarine moyenne et pauvre MO. Il existe une différence chez les microorganismes vivants.

Les mots clés :

Ecosystèmes ; N'tissa ; Ghardaia ; analyses physico-chimiques ; azote ; Séquestration du carbone.

المخلص

مقارنة النظم البيئية تتطلب الحديث عن تنوع الكائنات الحية، الوظائف المتأثرة بالتنوع البيولوجي، والوظائف البيئية المؤداة. تشمل هذه الحلول تنظيم الدورات البيولوجية، تنقية المياه، وعزل الكربون. ومن جهة أخرى، يؤكد ذلك على ضرورة الحفاظ على سلامة الطبيعة لضمان إنتاج الغذاء، توفر المياه، وتنوع الكائنات الحية. لذلك يجب التعرف على العوامل الأكثر تأثيراً ودراسة خصائص التربة بشكل معمق، خصوصاً الكائنات الدقيقة التي تحتويها، والتي تلعب دوراً أساسياً في تثبيت النيتروجين. تهدف أبحاثنا المنجزة في منطقة انتيسة بولاية غرداية إلى تشخيص وتصنيف التربة الملائمة لزراعة النخيل وأنواع أخرى من النباتات. لتحقيق هذا الهدف، قمنا بأخذ عينات من التربة عبر إجراء عشرة عمليات أخذ عشوائية على عمق 20 سم في إحدى المزارع الموجودة في منطقة انتيسة. أجرينا مجموعة من التحاليل الفيزيائية-الكيميائية) مثل قياس نسبة الكلس الكلي، الناقلية الكهربائية، درجة الحموضة، المادة العضوية، والتحليل الكيميائي الوزني باستخدام طريقة بويوكوس (بالإضافة إلى تحاليل حية دقيقة (عزل، تنقية، صبغة غرام، اختبار الأوكسيداز، واختبار الكاتالاز) في المختبر. أظهرت التحاليل أن التربة تتميز بلمس خشن وبنية حبيبية، مع انخفاض شديد في نسبة المادة العضوية، ودرجة حموضة قلوية، وملوحة تتراوح بين متوسطة وعالية. على الرغم من هذه التحديات، كشفت التحاليل عن وجود بكتيريا مثبتة للنيتروجين، مما يدل على وجود تنوع ميكروبي معين. استناداً إلى النتائج المستخلصة من التحاليل الفيزيائية والكيميائية والحية الدقيقة للتربة، وجدنا أن الخصائص المدروسة تتطابق بشكل كبير مع خصائص التربة الصحراوية: درجة حموضة أساسية، ملمس خشن، نسبة كلس متوسطة، وانخفاض في المادة العضوية. ومع ذلك، يوجد اختلاف في تنوع الكائنات الحية الدقيقة الموجودة.

الكلمات المفتاحية:

النظم البيئية، انتيسة، غرداية، التحاليل الفيزيائية والكيميائية، أزوت، عزل الكربون

Abstract

Comparing ecosystems involves discussing the diversity of populations, the biodiversity-affected functions, and the ecosystem functions they provide. These solutions include regulating biological cycles, purifying water, and carbon sequestration. On the other hand, this highlights the necessity of maintaining the integrity of nature to ensure food production, water availability, and species diversity. It is essential to identify the most influential factors and to study in detail the characteristics of the soil, particularly the microorganisms it contains, which play a fundamental role in nitrogen fixation. Our research conducted in the N'tissa area, located in the Ghardaïa province, aims to diagnose and characterize soils suitable for cultivating palm trees and various other plant species. To achieve this objective, we collected soil samples through ten random samplings at a depth of 20 cm within one of the farms in the N'tissa region. We carried out a series of physico-chemical experiments (total limestone content (CT), electrical conductivity (EC), pH, organic matter (OM), and particle size analysis using the Bouyoucos method) and microbiological tests (isolation, purification, Gram staining, oxidase test, and catalase test) in the laboratory. The analyzed soils show a coarse texture and particulate structure. They are characterized by very low organic matter content, an alkaline pH, and moderate to high salinity. Despite these constraints, we identified the presence of nitrogen-fixing bacteria, indicating a certain level of microbial biodiversity. Based on the results obtained from the pedological and microbiological analyses, we found that these characteristics closely correspond to those of desert soils: all exhibit a basic pH, coarse texture, moderate limestone content, and low organic matter (OM). However, differences were observed in the diversity of living microorganisms.

Key words:

Ecosystems; N'tissa; Ghardaia; physico-chemical analysis; nitrogen; carbon sequestration.

Table des matières

Introduction	2
Partie 1	5
Matériels et méthodes	5
Chapitre I Présentation de la zone d'étude	6
Facteurs climatiques.....	8.
1.Climat de la région	8
2.Température	8
3.Pluviométrie	9
4.Vents.....	10
5.Humidité relative.....	10
6.Géomorphologique.....	11
7.Pédologie.....	11
Chapitre II Méthodologies de travail	13
I.Méthode de travail :	13
1)Objectif d'étude :	13
2)Présentation de de site étudié :	13
❖Région de Oued N'tissa :	13
2.Choix de site d'étude :	15
3.Echantillonnage sur terrain :	15
4.Analyse Au laboratoire :	15
I.Partie sol (analyse du sol) :	15
II.Partie microbiologique (analyse microbiologique) :	21
Matériel :	21
1.1.Matériel biologique :	21
1.2.Matériel non biologique	21
1.2.1.Appareillage :	21
1.2.2.Consommable :	21
1.2.3.Milieus de culture :	21
Méthodes :	21

1.3.Analyses microbiologiques des sols :	21
1.3.1.Préparation des milieux de culture :	21
1.3.2.Préparation de la suspension mère et des dilutions décimales :	22
I.3.2.1.Préparation de la suspension mère :	22
I.3.2.2.Réalisation des dilutions décimales :	23
1.3.3.Ensemencement, incubation et dénombrement :	23
1.4.Expression des résultats du dénombrement :	24
1.5.Isolement des microorganismes :	25
1.6.Purification et conservation des isolats :	25
1.7.Caractérisation phénotypique des souches :	
1.7.1.Caractérisations macroscopiques :	25
1.7.2.Caractérisation microscopique des souches :	25
I.7.2.1.Examen à l'état frais :	25
I.7.2.2.Coloration de Gram :	26
I.7.2.3.Etude des enzymes respiratoires terminales :	26
Partie II: Résultats et discussions	29
Chapitre III Résultats et discussions	30
1)Analyses physico-chimiques des sols :	30
2)Résultats des analyses microbiologiques :	34
Aspect macroscopique	37
Aspect microscopique	37
Conclusion et perspectives	41
Références bibliographiques	44
Annexes	48

Liste des figures

Figure 1 : Carte géographique présente la wilaya de Ghardaïa.....	7
Figure 2 : Situation de la Wilaya de Ghardaïa (modifié).....	7
Figure 3 : Température minimale, maximale et moyenne de la région de Ghardaïa en 2023.	9
Figure 4 : Précipitations de la région de Ghardaïa en 2023. (Info climat, 2023).....	9
Figure 5 : Variation de rafale vent de la région de Ghardaïa en 2023. (Info climat, 2023).....	10
Figure 6 : Carte de localisation de la région d’oued N’tissa (Google map, 2024 -modifiée).	14
Figure 7 : Vue globale de terrain agricole lors du prélèvement d’échantillons.	14
Figure 8 : Tamisage et broyage des échantillons au niveau de laboratoire.....	15
Figure 9 : Mesure de Conductivité Electrique (CE).....	16
Figure 10 : Mesure de pH.....	17
Figure 11 : Protocole expérimental de dosage du calcaire total dans le Calcimètre de Bernard ..	18
Figure 12 : Mesure de la densité de liquide par le densimètre de Bouyoucos.	19
Figure 13 : Protocole expérimental du dosage de la matière organique	21
Figure 14 : Préparation du milieu d’isolement.....	22
Figure 15 : Préparation de la réalisation de suspension-dilution du sol.....	23
Figure 16 : Ensemencement en surface par étalement.	24
Figure 17 : Technique de comptage classique.	24
Figure 18 : Ensemencement des bactéries sur le milieu de culture.....	25
Figure 19: Test coloration de Gram	26
Figure 20: Préparation de test oxydase.	27
Figure 21: Préparation de test catalase.....	28
Figure 22 : Triangle texturale de couches superficiels du sol.....	30
Figure 23: Variation du pH de différents échantillons de sol.	31
Figure 24 : Variation de la CE de différents échantillons de sol.....	32

Figure 25 : Variation de la CaCO ₃ de différents échantillons de sol.....	33
Figure 26: Variation de la MO de différents échantillons de sol.	34
Figure 27 : Aspects macro et microscopiques de certains isolats obtenus.....	38

Liste des tableaux

Tableau 1 : Données climatique de la région pendant l'année 2023..... 8

Tableau 2 : Caractéristiques physico-chimiques des sols. 30

Tableau 3 : Dénombrement des microorganismes dans les sols étudiés..... 34

Tableau 4 : Principaux résultats des caractères phénotypiques des isolats obtenus..... 36

Introduction



Introduction :

Le sol est une ressource indispensable à la biodiversité, souvent négligée. Pourtant, il constitue un véritable univers vivant qui soutient presque toutes les formes de vie sur notre planète (**Bardgett, R. D., & van der Putten, W. H. (2014)**).

Pour comprendre les subtilités des écosystèmes, il faut comprendre la diversité des sols, en particulier son impact sur la biodiversité et les fonctions qu'ils remplissent. Les sols jouent un rôle crucial dans la régulation des cycles biogéochimiques, la filtration de l'eau et la séquestration du carbone (**Gobat et al. (2010)**). En effet, les sols sont souvent considérés comme des ressources naturelles vitales, essentielles à la production alimentaire, à la gestion efficace de l'eau et à la diversification des espèces (**Citeau et al., 2008**).

Français Le rôle des sols dans un écosystème peut varier considérablement en fonction de divers facteurs tels que la situation géographique, le climat et l'origine des matériaux (**Bardgett, R. D., & van der Putten, W. H. (2014)**).

Dans les régions caractérisées par l'aridité, les sols présentent généralement un développement limité et des caractéristiques uniques qui les rendent vulnérables à la dégradation. Une étude menée par l'IRD en 2015 indique que les sols de ces environnements arides, en particulier ceux qui sont rudes et salins, subissent fréquemment des conditions climatiques extrêmes, qui diminuent leur capacité à retenir l'humidité et à favoriser la croissance des plantes. Généralement riches en minéraux et sous-développés, ces sols résultent principalement de processus d'altération physique, avec une implication minimale de réactions chimiques (**Bai et al., 2008**).

Les professionnels tels que les spécialistes, les agriculteurs et les ingénieurs dépendent des caractéristiques physiques et chimiques du sol, ainsi que de sa température et de son taux d'humidité, pour guider leur prise de décision (**Baize, 2000**).

Cette méthodologie est particulièrement efficace dans les régions arides, où la gestion durable des ressources en sol et en eau est essentielle pour maintenir les systèmes agricoles et lutter contre la désertification (**FAO, 2015**). La pédosphère, qui est la couche délicate du sol recouvrant la surface de la Terre, est considérée comme le « grand intégrateur » en raison de sa fonction essentielle au sein de l'écosystème. Ce composant inestimable affecte tous les autres éléments de l'écosystème en stockant des nutriments et de l'eau essentiels pour les plantes et les animaux. Les sols jouent également un rôle dans la filtration et la purification de l'eau, en modifiant ses

propriétés chimiques et en impactant le cycle de l'eau, qui est essentiel à la régulation des précipitations (**Duchaufour, 2001**).

Cette fonction est particulièrement remise en question dans les zones arides, car les sols sont souvent sujets à l'érosion et à la salinisation, compromettant leur capacité à maintenir la vie (**Coquet et Ruellan, 2010**).

Malgré leur importance, les sols sont souvent menacés par les activités humaines telles que l'agriculture intensive, l'urbanisation et la déforestation. Ces pratiques conduisent à la dégradation des terres, à la perte de biodiversité et à la réduction des services écosystémiques. Selon le rapport de la (**FAO, 2015**), une mauvaise gestion des terres contribue à une crise de la biodiversité qui nuit aux systèmes mondiaux de production alimentaire. Par conséquent, des méthodes de gestion durable des sols doivent être adoptées pour protéger ces ressources importantes pour les générations futures (**Robert et Stengel, 2009**).

Le sol est un élément fondamental de la biosphère et sa protection est essentielle à la durabilité des écosystèmes terrestres. Une meilleure compréhension de leurs fonctions, services et menaces auxquels ils sont confrontés est essentielle pour garantir leur gestion durable et protéger la vie sur Terre.

La recherche sur les services écosystémiques fournis par les sols doit être intensifiée, en particulier dans les zones arides, afin de développer des stratégies efficaces de conservation et de restauration (**Lavelle et Espagne, 2001**). Cette fonction est particulièrement menacée dans les régions arides, où les sols souffrent souvent d'érosion et de salinisation, compromettant leur capacité à maintenir la vie (**Coquet et Roylan, 2010**).

Cette étude visait à évaluer l'état des sols cultivés dans des conditions de sécheresse, en mettant en évidence les défis spécifiques auxquels ces sols sont confrontés. Il se concentrera sur l'analyse de la fonction des sols dans ces environnements difficiles, en examinant certaines des caractéristiques intrinsèques ainsi que les conditions climatiques extrêmes qui prévalent dans les régions arides. Un accent particulier sera mis sur l'amélioration de la séquestration du carbone dans les sols arables arides.

L'objectif est de mieux comprendre l'importance cruciale de ces sols pour la production alimentaire, la régulation du climat et le maintien des écosystèmes dans les régions arides et semi-arides. Les résultats visent à orienter les stratégies et les politiques visant à garantir la durabilité et l'efficacité des systèmes agricoles face aux défis environnementaux actuels et futurs.

Partie 1

Matériels et méthodes



Chapitre I
Présentation de la zone
d'étude



Le Sahara est le plus grand désert du monde et se caractérise par une sécheresse extrême et des conditions désertiques difficiles. Il s'étend sur plus de 8 millions de kilomètres carrés, de l'océan Atlantique à la mer Rouge, et est considéré comme le pays où les conditions désertiques sont les plus rudes (**Benbrahim, 2018**).

Agriculture au Sahara : Bien que l'agriculture soit traditionnellement considérée comme une activité mineure au Sahara, elle est devenue de plus en plus importante en raison de l'ingéniosité humaine et des systèmes complexes de collecte de l'eau. Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour développer des projets agricoles et améliorer la productivité des sols (**FAO, 2017**).

Sahara septentrional : Le Sahara septentrional couvre une superficie de plus d'un million de km² et bénéficie d'un climat méditerranéen rigoureux avec peu de précipitations. Cette région constitue la zone de transition entre les steppes méditerranéennes d'Afrique du Nord et le Sahara central (**Benbrahim, 2018**).

La wilaya de Ghardaïa issue du dernier découpage administratif, du territoire selon la loi n°19 - 12 du 12/11/2019. Elle est située au centre de la partie nord du Sahara, à 600 km au sud de la capitale Alger, avec une superficie de 26 165,43 km² et une population de plus de 409 660 habitants, 08 daïras et 10 communes (**D.S.A, 2021**).

La wilaya de Ghardaïa se situe au centre de la partie Nord de Sahara Algérienne. Les coordonnées géographiques du chef-lieu de la wilaya sont 32° 30' de latitude Nord à 3° 45' de longitude Est (**Fig 1**). La wilaya comporte actuellement 10 communes regroupées en 8 daïras (**Fig 2**) avec une superficie de 26.165 Km² (**DPAT, 2021**).

La wilaya de Ghardaïa est limitée :

- Au Nord par la Wilaya de Laghouat (200 Km).
- Au Nord Est par la Wilaya de Djelfa (300 Km).
- A l'Est par la Wilaya d'Ouargla (200 Km).
- Au Sud- par la Wilaya Meniaa (270 Km).
- A l'Ouest par la Wilaya d'El-Bayad (350 Km).

Elle est caractérisée par les quais du continent, la zone d'envasement, la Chebka et les plaines de toute la région centrale, qui s'étend sur environ 450 kilomètres du nord au sud et sur environ 200 kilomètres d'est en ouest. (**OPVM, 2024**)

Falaises rocheuses et oasis définissent le paysage où se situe la ville de la pentapole du M'Zab, et qui est entourée d'autres oasis (Berriane, Guerrara, Zelfana et Metlili). (**OPVM, 2024**).

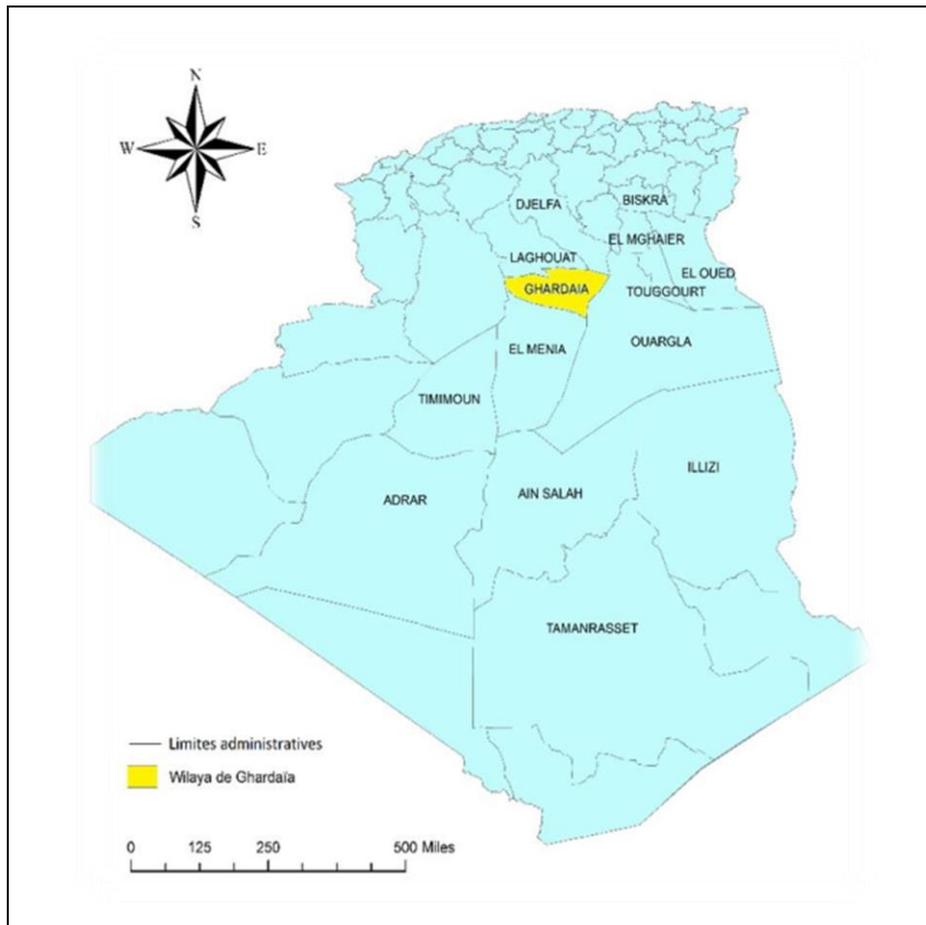


Figure 1 : Carte géographique présente la wilaya de Ghardaïa.

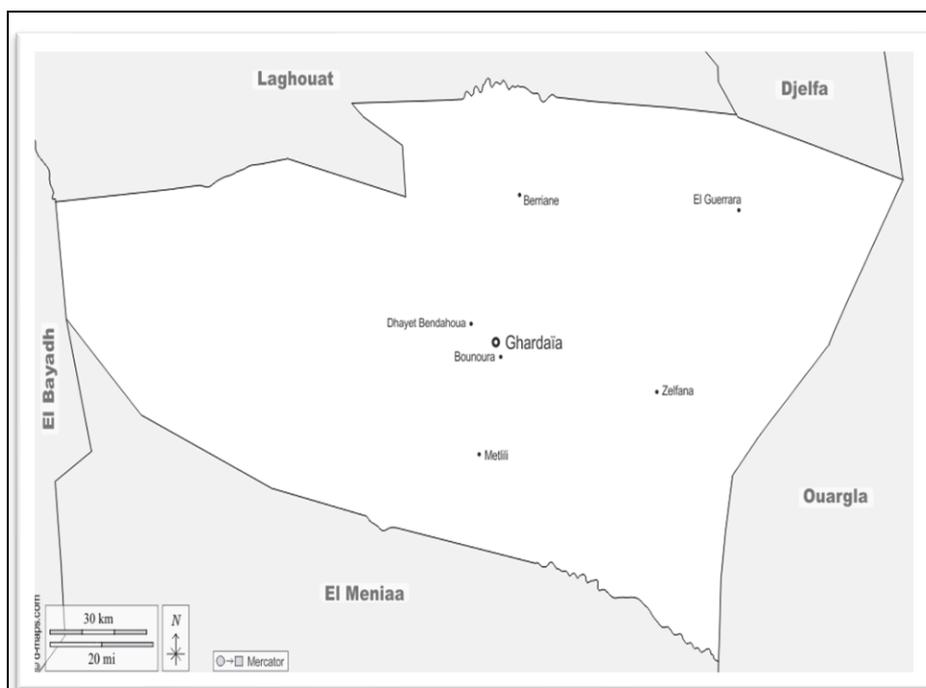


Figure 2 : Situation de la Wilaya de Ghardaïa (modifié).

Facteurs climatiques

1. Climat de la région

La région de Ghardaïa est généralement connue pour son climat saharien, il se caractérise par deux essentielles saisons : une saison tempérée, (d'Octobre à Mars) et une saison chaude sèche (d'Avril à Septembre), avec une grande différence des températures d'Eté et d'Hiver.

Tableau 1 : Données climatiques de la région pendant l'année 2023.
(Tutiempo Network, S.L., 2024)

Mois 2023	Temp °C			Humidité relative moyenne (%)	Précipitations (mm)
	Minimum	Moyenne	Maximum		
Janvier	5.2	10.7	16.3	41.5	4.31
Février	6.9	11.9	16.8	41.3	3.05
Mars	12.7	19.4	25.4	23.2	0
Avril	15.5	22.8	28.8	19.4	0
Mai	18.8	25.0	30.9	24.9	1.52
Juin	24.7	31.6	37.2	20.7	0
Juillet	29.8	37.4	43.8	11.9	0
Août	27.2	33.9	39.6	17.7	5.08
Septembre	23.9	30.3	36.4	24.5	0
Octobre	18.5	24.7	30.5	27.4	0
Novembre	13.2	19.1	25.3	31.8	0
Décembre	8.7	13.7	19.3	39.9	4.07
Moyenne annuel	17.09	23.37	29.19	27.01	1.25

2. Température

La période chaude commence en Mai et dure jusqu'en Septembre. La température moyenne en Juillet est de 36.3 °C et la température maximale absolue pendant cette période atteint 47 °C. En hiver, la température moyenne en Janvier ne dépasse pas 9.2°C et la température minimale absolue pendant cette période atteint -1°C.

La température est l'élément fondamental du climat. Ses changements affectent l'évaporation de l'eau, tant en surface que sous terre. Elle affecte donc l'évapotranspiration et donc la salinité de l'eau (Gouaidia, 2008).

La température moyenne annuelle est de 23.37°C, la température la plus élevée en juillet est de 43.8°C et la température la plus basse en janvier est de 5.2°C (Fig 3).

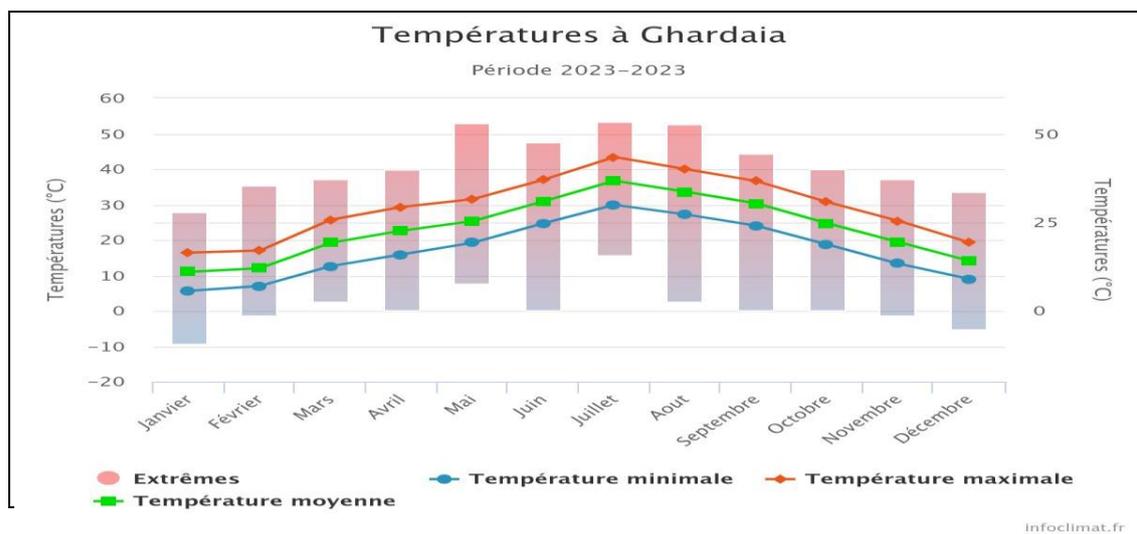


Figure 3 : Température minimale, maximale et moyenne de la région de Ghardaïa en 2023.

3. Pluviométrie

Les précipitations sont très faibles et irrégulières, d'après (Info climat, 2023) à Ghardaïa, elles varient entre 4.3 et 0 mm entre les mois de Janvier et Juin et entre 0 mm et 5 mm pendant la période de Juillet et de Décembre (Fig 4) sur une durée moyenne de quinze (15) jours par an.

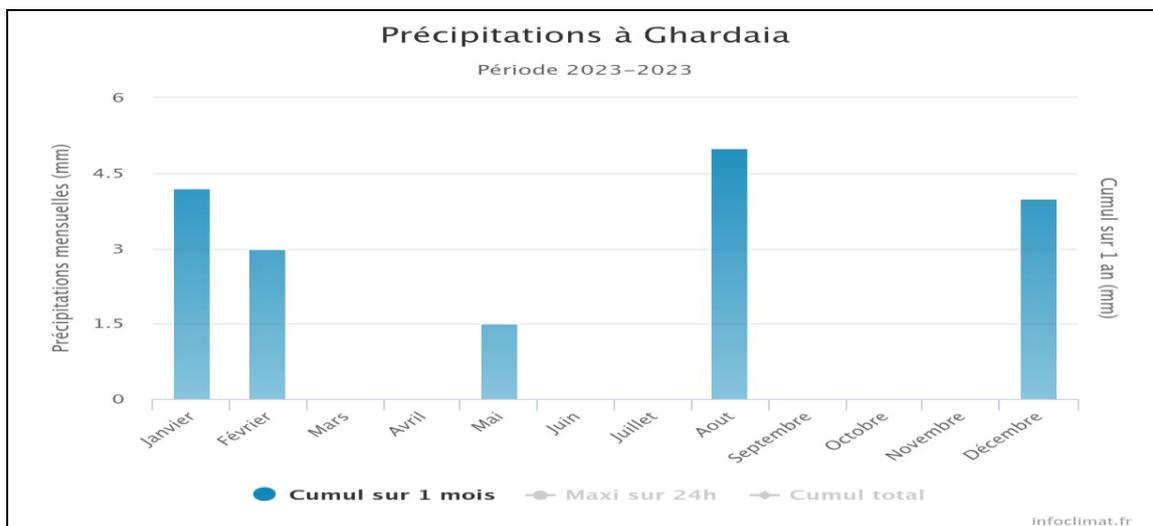


Figure 4 : Précipitations de la région de Ghardaïa en 2023. (Info climat, 2023).

Vents

L'influence du vent est partout, provoquant le transport et l'accumulation de sable, la formation de dunes, l'érosion et le polissage des roches, et surtout, l'intensification de l'évaporation...etc (**Monod, 1925**). Ils sont de deux types : l'un est le vent sablonneux en automne, au printemps et en hiver, venant du nord-ouest ; l'autre est le vent chaud dominant (Sirocco) en été, venant du nord et du sud, il est très sec et provoque des élévations ; évapotranspiration, nécessite une irrigation intensive (**Bensemaoune, 2008**).

Les tempêtes de sable sont très fréquentes à certaines périodes de l'année, généralement en Mars et Avril, surtout au printemps, Avril, Mai (**Fig 5**).

Selon les données de l'O.N.M (2020), la fréquence du vent est fréquente tout au long de l'année, avec une vitesse annuelle moyenne du vent de 4,28 m/s et une vitesse maximale du vent de 5,66 m/s en Avril.

Quant à Sorocco, dans la région de Ghardaïa, il y a en moyenne 11 jours par an entre Mai et Septembre (**OPVM, 2024**).

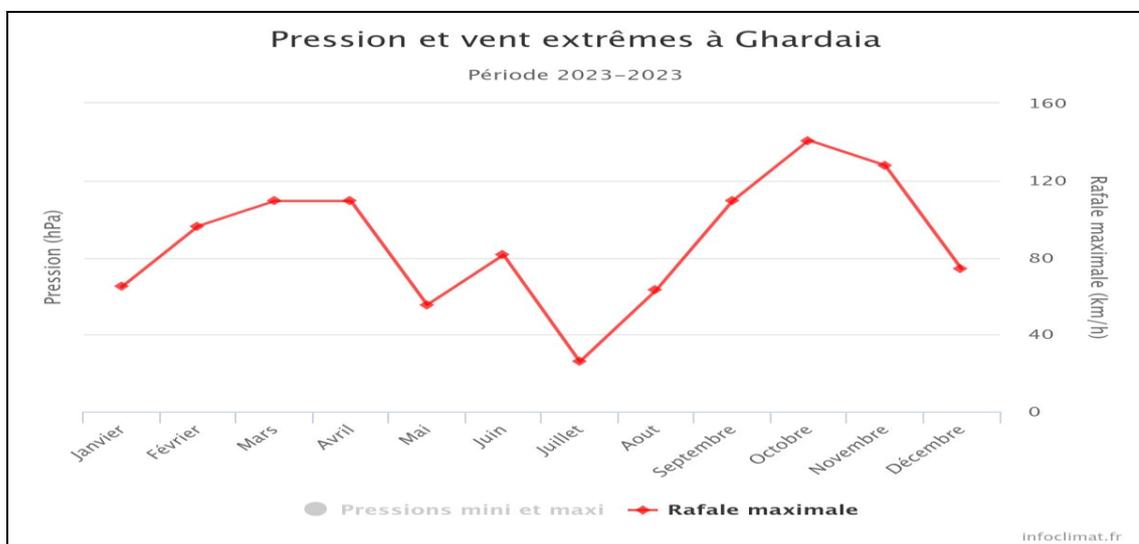


Figure 5 : Variation de rafale vent de la région de Ghardaïa en 2023. (**Info climat, 2023**)

4. Humidité relative

L'humidité relative de l'air est le rapport, exprimé en pourcentage, de la tension de vapeur d'eau à la tension de vapeur d'eau saturante.

L'humidité relative de l'air est très faible. Elle est de l'ordre de 22.17 % au mois Juillet, atteignant un maximum de 56,33% en mois de Décembre et une moyenne annuelle de 38,38 % (O.N.M, 2020).

5. Géomorphologique

L'ensemble géomorphologique dans lequel s'inscrit dans la vallée du M'Zab est un plateau rocheux, le HAMADA, Le paysage est caractérisé par une vaste étendue pierreuse où affleure une roche nue de couleur brune et noirâtre (OPVM, 2024).

Ce plateau a été masqué par la forte érosion fluviale du début du quaternaire qui a découpé dans sa partie Sud des buttes à sommets plats et a façonné des vallées. L'ensemble se nomme la CHEBKA « Filet » à cause de l'enchevêtrement de ses vallées. L'Oued M'Zab traverse ce filet de 38.000 km² du Nord-Ouest vers le Sud-Est (OPVM, 2024).

La vallée du M'Zab atteint à hauteur de GHARDAIA, une altitude de 500 mètres. C'est dans le creux de l'Oued M'Zab, sur des pitons rocheux, que s'est érigée la pentapole. Chacune de ces cinq 05 cités est entourée par des collines ravinées par l'érosion pluviale (OPVM, 2024).

6. Pédologie

Dans la région du Sahara Nord en Algérie, le sol est érodé par des vents violents, laissant derrière lui des matériaux grossiers ablatés (reg) ou hamada. Ce morphogène important, comme le vent, transporte les fines particules produites par l'altération mécanique des roches (fragmentation et ablation) pour former de vastes calottes sableuses et des champs de dunes (erg) (Djili, 2018).

Le même processus se produit dans les sols des anciennes palmeraies de Zelfana, qui sont des dépôts alluviaux apportés par les crues de l'Oued M'Zab et mélangés aux vents violents. Ces sols sont légèrement à modérément calcaires, alcalins à fortement alcalins, pauvres en matière organique, de couleur jaune clair, dominés par des phases gypseuses, et sont le résultat de changements géologiques survenus aux époques Quaternaire et du Mésio-Pliocène (Djili, 2018).

Le terrain est généralement plat à l'exception des zones de ruissellement, à proximité des obstacles et des zones propices à l'accumulation de sable (Houichiti, 2009).

Chapitre II
Méthodologies de travail



I. Méthode de travail :**1) Objectif d'étude :**

Évaluer la qualité des sols dans les systèmes agricoles irrigués est l'objectif principal de cette étude.

Développer un ensemble d'indicateurs pertinents, comprenant des mesures physiques, chimiques et biologiques, pour évaluer la qualité globale des sols cultivés en milieu aride.

Fournir des recommandations spécifiques pour la gestion durable des sols irrigués dans les zones sèches, visant à maintenir leur fertilité et leur capacité productive à long terme.

À terme, cette recherche vise à contribuer à une meilleure compréhension de l'importance cruciale des sols dans les systèmes agricoles arides et à promouvoir des stratégies visant à assurer leur durabilité face aux défis environnementaux actuels et futurs.

2) Présentation de de site étudié :**❖ Région de Oued N'tissa :**

L'expérimentation a été menée dans un terrain agricole de sud algérien, dans la commune de Ghardaïa, Wilaya de Ghardaïa (32°27'07.7") Latitude Nord ; (3°36'32.4") Longitude Est (**Fig 6**).

La zone expérimentale couvre une superficie de 2 ha caractérisée par un climat hyper aride avec des précipitations annuelles inférieures à 150 mm alors que l'évaporation potentielle annuelle dépasse 2000 mm ; la région est marquée par de fortes variations de température (O.N.M, 2020).

Oued N'tissa situé à quelques kilomètres au sud-est de la ville de Ghardaïa.

Cette zone est située entre les communes de Ghardaïa (13 km) et Bounoura (10 km). Elle est considérée comme une zone agricole et pastorale pour les propriétaires de la zone, Elle se caractérise par des eaux douces et des terres dures et montagneuses.



Figure 6 : Carte de localisation de la région d'oued N'tissa (Google map, 2024 -modifiée).

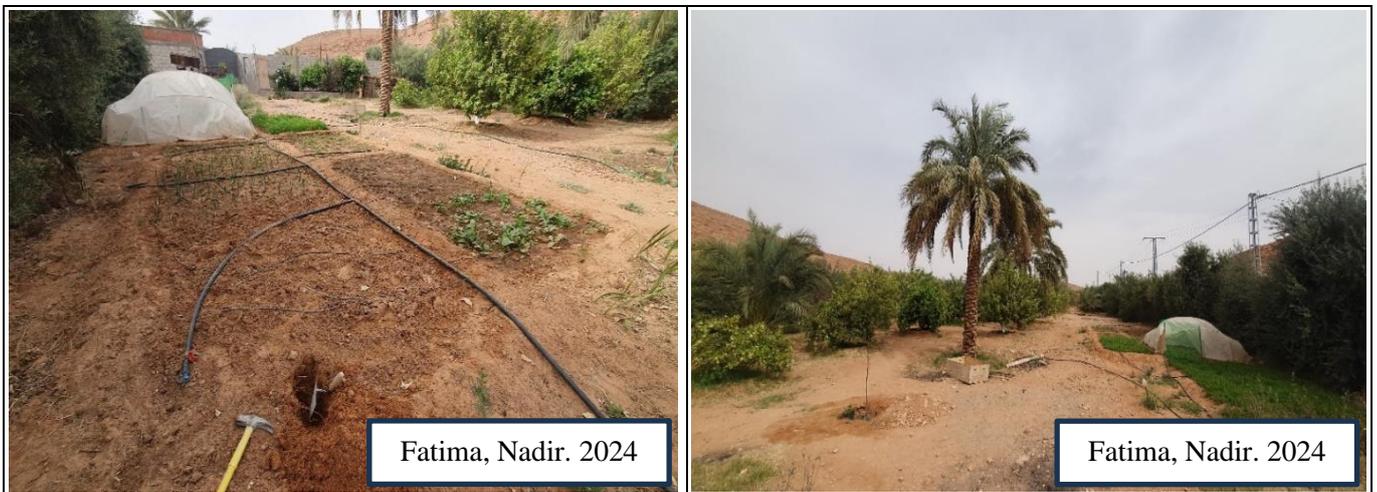


Figure 7 : Vue globale de terrain agricole lors du prélèvement d'échantillons.

2. Choix de site d'étude :

Facilité à accès, une surface d'échantillonnage vaste, sol facile à creuser.

3. Echantillonnage sur terrain :

La réalisation de notre travail nécessite le matériel suivant :

- Un seau
- Des sachets en plastique
- Une brouette
- Des étiquettes
- Une truelle
- Outils de perçage agricoles
- Un carnet
- Une appareil photo

Pour atteindre notre objectif, nous avons collecté 10 échantillons de sol d'après le terrain agricole de N'tissa à une profondeur de 0-20 cm (couche arable) en Mars 2024.

Les échantillons sont transportés soigneusement au laboratoire dans des sachets bien ferme. Ils ont été séchés à l'air libre, puis broyés manuellement et tamisés en tamis de 2 mm pour obtenir la fraction fine sur laquelle les analyses physico-chimiques seraient effectuées (Aubert, 1978).

4. Analyse Au laboratoire :

Toutes les analyses ont été effectuées dans le laboratoire de microbiologie de la faculté de la nature et de la vie et sciences de la terre de l'université de Ghardaïa.

I. Partie sol (analyse du sol) :

Les échantillons ramenés au laboratoire sont séchés à l'air libre et sont les tamisés à 2 mm puis analysés.



Figure 8 : Tamisage et broyage des échantillons au niveau de laboratoire.

Les différentes analyses physico-chimiques des sols ont été réalisées au niveau du laboratoire pédagogique de pédologie à l'université de Ghardaïa. Elles sont :

a) Conductivité Electrique (CE) :

Pour la mesurer un conductimètre de type 'JEBWAY 3540' a été utilisé dans un l'extrait aqueux (terre/eau) (1/5) (Mathieu et al., 2003). Cet essai nécessite aussi une balance digitale, un flacon bouché, un agitateur rotatif et un bécher (250 ml).

❖ Mode opératoire (Fig 9) :

- Introduit 20 g de sol sec de diamètre inférieur à 2 mm dans un flacon bouché et en l'ajoute 100 ml d'eau déminéralisée ;
- L'agiter durant 2h à l'aide d'un agitateur rotatif et en le laisse de décanter ;
- Transvaser le liquide surnageant dans un bécher de 250 ml ;
- Et en fin, introduit le Conductimètre pour lire la valeur de CE.

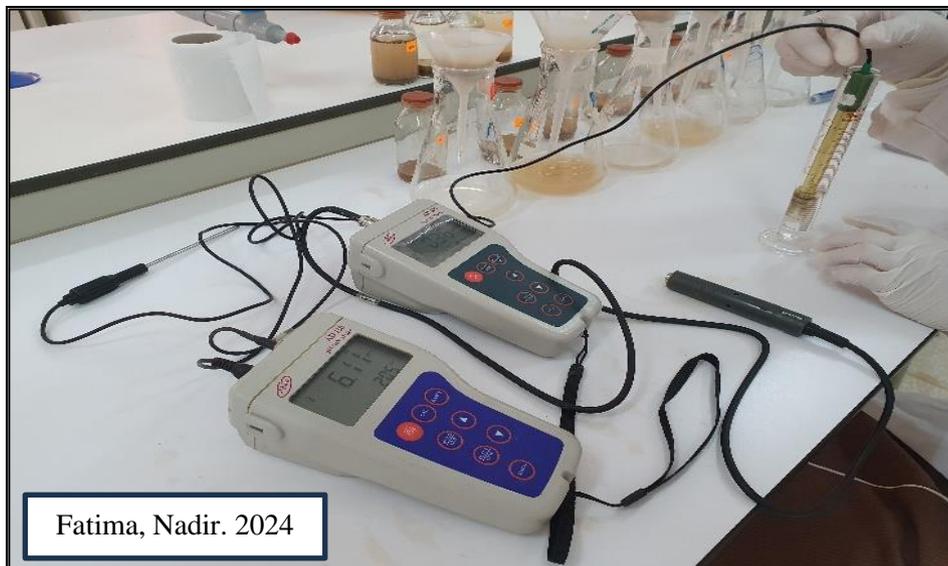


Figure 9 : Mesure de Conductivité Electrique (CE).

b) pH du sol :

Ce paramètre est déterminé par la mesure de la concentration en des ions H⁺ dans un extrait aqueux (terre/eau) (1/5) par un pH-mètre (Mathieu et al., 2003). Où à utiliser un pH-mètre, un Mélange de sol, une Balance digitale, un Agitateur rotatif et un bécher.

❖ Mode opératoire (Fig 10) :

- Peser 40 g de terre (< 2 mm) ;
- Ajouter 1000 ml de solution d'eau déminéralisée et Agiter durant 2 h par l'agitateur rotatif ;
- Laisser reposer 2 h. plonger l'électrode dans le liquide surnageant et effectuer le messer ;
- Laisser la lecture se stabiliser durant plusieurs secondes.



Figure 10 : Mesure de pH.

c) Dosage de calcaire total :

Est basé sur la mesure de CO₂ dégagé suite à l'action d'un excès d'acide chlorhydrique sur un point connu de l'échantillon (**Baize, 1988**). Il est fondé sur la réaction suivante :



Pour mesurer ce paramètre utiliser le Calcimètre de Bernard, une fiole à doigt, une pissette, un mélange du sol et une balance digitale. Pour les réactif on à préparer l'eau déminéralisée, l'acide chlorhydrique, l'HCl et les carbonates de calcium (CaCO₃).

❖ Mode opératoire (Fig 11) :

Pour réaliser cet essai, fait l'étalonnage du Calcimètre de Bernard et en suite les étapes résumées dans la figure ci-après :

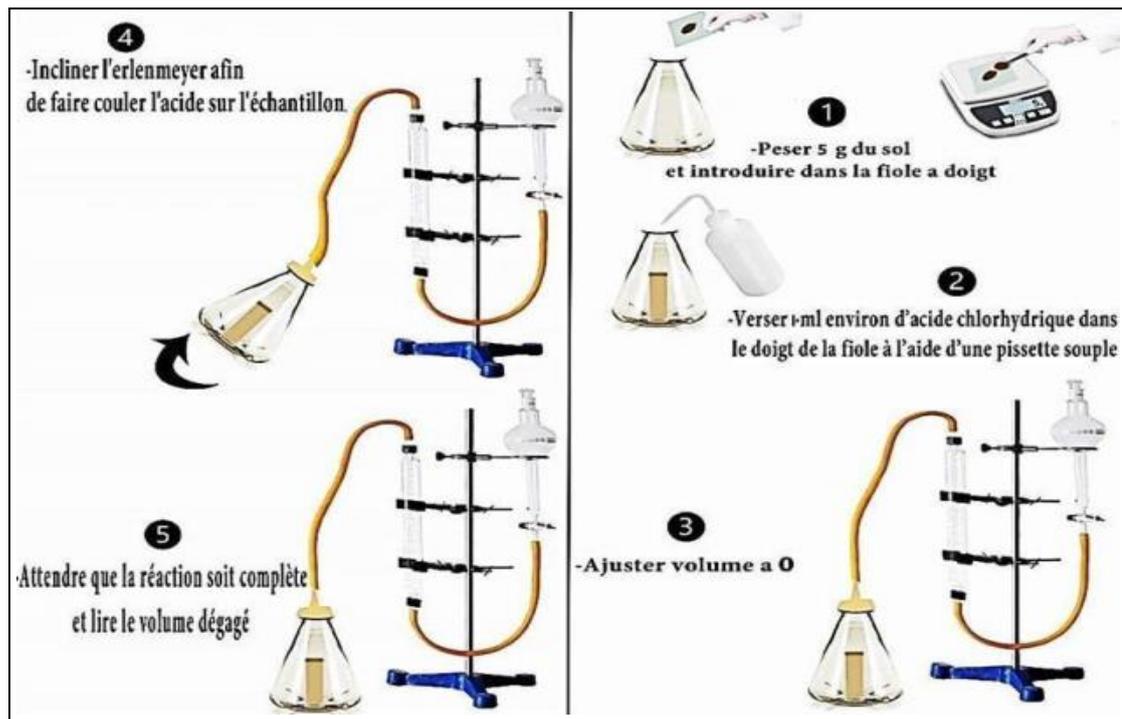


Figure 11 : Protocole expérimental de dosage du calcaire total dans le Calcimètre de Bernard (Chenini et Elgueroui, 2019).

d) Granulométrie :

Le taux des composants essentiels du sol est déterminé à l'aide d'une balance, un bécher, une spatule, un papier film, l'eau oxygénée (H_2O_2), l'eau distillée, un agitateur, un bras mixeur, carbonates de sodium (Na_2CO_3) l'hexa-métaphosphate de sodium ($Na_6O_{18}P_6$), le densimètre de Bouyoucos, l'éprouvette de Robinson, le chronomètre et le thermomètre.

❖ Mode opératoire (Fig 12) :

- Prépare dans une éprouvette de 500 ml, une solution de 40 g d'hexa-métaphosphate de sodium ($Na_6O_{18}P_6$) et 10 g de carbonates de sodium (Na_2CO_3) et ajuste par l'eau distillée jusqu'à 500 ml. Pour l'homogénéisation de la solution obtenue, elle doit s'agitée ;
- Place 50 g d'échantillon dans des béchers pour éliminer la matière organique, par l'ajout de l'eau oxygénée H_2O_2 et ajoute 60 ml de la solution dispersante ;
- Agite le mélange par un bras mixer pendant quelques minutes et verse dans l'éprouvette de Robinson qu'en l'ajuste par l'eau distillée à 1 litre et ferme ;
- Agite l'éprouvette, encore une fois, et laissée-la sur la payasse en même temps que le chronomètre est déclenché ;
- Le densimètre est soigneusement introduit dans la dispersion, 40s après note (d) et (t) ;
- Retire le densimètre et deux heures après est réintroduit, et note (d') et (t').

❖ *Calcul :*

Une fois que les valeurs d , d' , t et t' sont connues, elles sont substituées dans les formules suivantes :

$$X = (d + ((t - 20) * 0.36)) * (100 p)$$

$$Y = (d' + ((t' - 20) * 0.36)) * (100 p)$$

Avec X est % des limons + % des argiles, Y est % des argiles, X - Y = pourcentage de limon, 100 - X = pourcentage de sable, P est le poids du sol en grammes, 0,36 = facteur de correction en degré de différence de température.

On suppose que la température de (contraste du densimètre de Bouyoucos est de 20 °C).

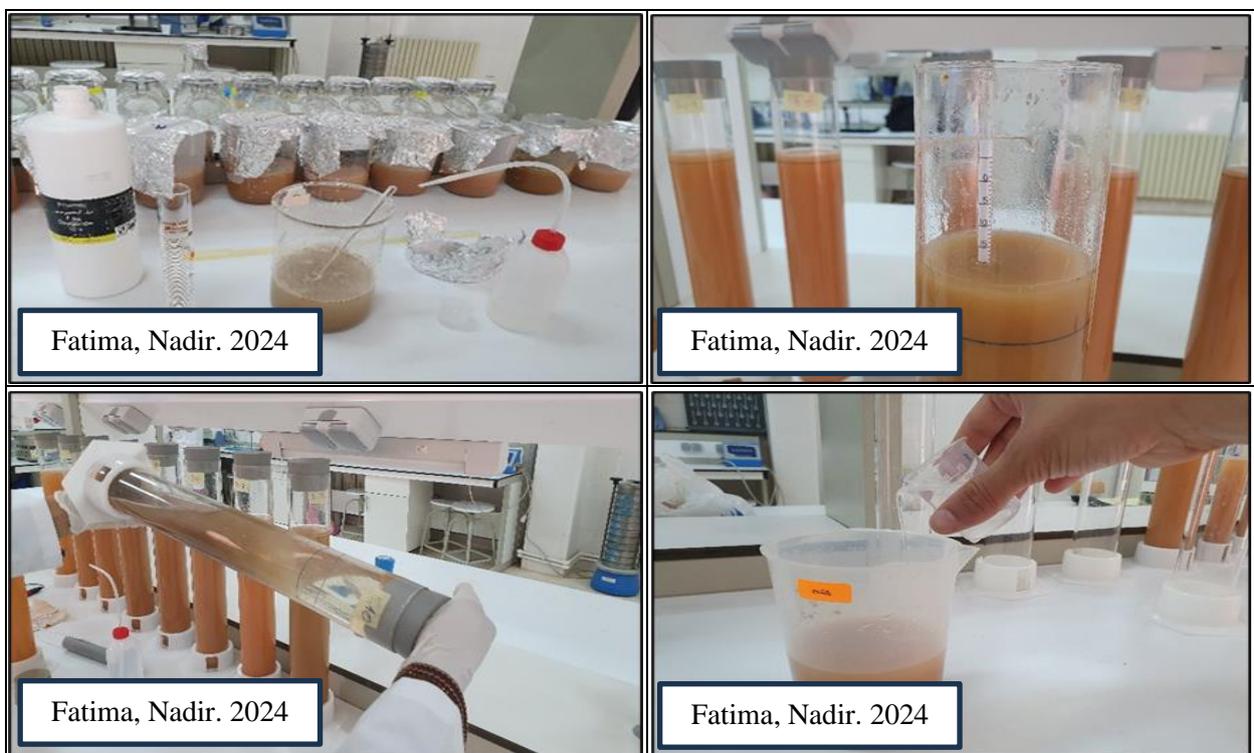


Figure 12 : Mesure de la densité de liquide par le densimètre de Bouyoucos.

e) Dosage de la Matière Organique (MO) selon la méthode de Walkley :

Pour réaliser cet essai on utilise une fiole jaugée (1000 ml)), un mélange de sol, une balance digitale, une burette, l'eau déminéralisée et un Tétramètre. Les réactifs utilisés sont :

L'eau déminéralisée, l'acide sulfurique (H_2SO_4), les Bichromates de potassium p. a ($K_2Cr_2O_7$), les sulfates d'ammonium-fer (II) hexa hydraté ($(NH_4)_2Fe(SO_4)_6 \cdot 6H_2O$) < sel de Mohr > Phénantroline 1-10 ($C_{12}H_8N_2, H_2O$).

❖ Mode opératoire (Fig13)

- Prend un poids 1g (P) de terre broyée et le met dans une fiole conique ;
- Ajoute 10 ml de $K_2Cr_2O_7$ et agiter la fiole va-et-vient doucement ;
- Verser 20 ml de solution de H_2SO_4 dans la suspension et l'agite pendant 1 min ;
- Le laisse de reposer 30 min. Ajoute 6 gouttes de féroïen ;
- Ainsi l'oxydation peut se développer.
- Au bout de 30 min ajouter 200 ml d'eau déminéralisée pour stopper la réaction.

Le taux de la matière organique est calculé par l'équation ci-dessous, après avoir estimé le carbone organique (C_{org}) à 58 % de la MO (**Mathieu et al, 2003**).

❖ Calcul : Les paramètres sont calculés en fonction de la relation suivante :

$$MO (\%) = \% C_{org} \times 1,724$$

$$C (\%) = 0.39 \times (10 - \text{volume de sel de Mohr} \times (t=10/T) / P$$

Avec :

- **P** : poids de la prise de terre en g
- **V** : Volume versés de solution de sel de Mohr
- **t** : La concentration de sel de Mohr ($t = 10/T$)
- **T** : ml versé de solution de sel de Mohr pour le témoin
- **T'**: $T' = 10$ ml (quantité oxydation + excès) le volume de bichromate de potassium.

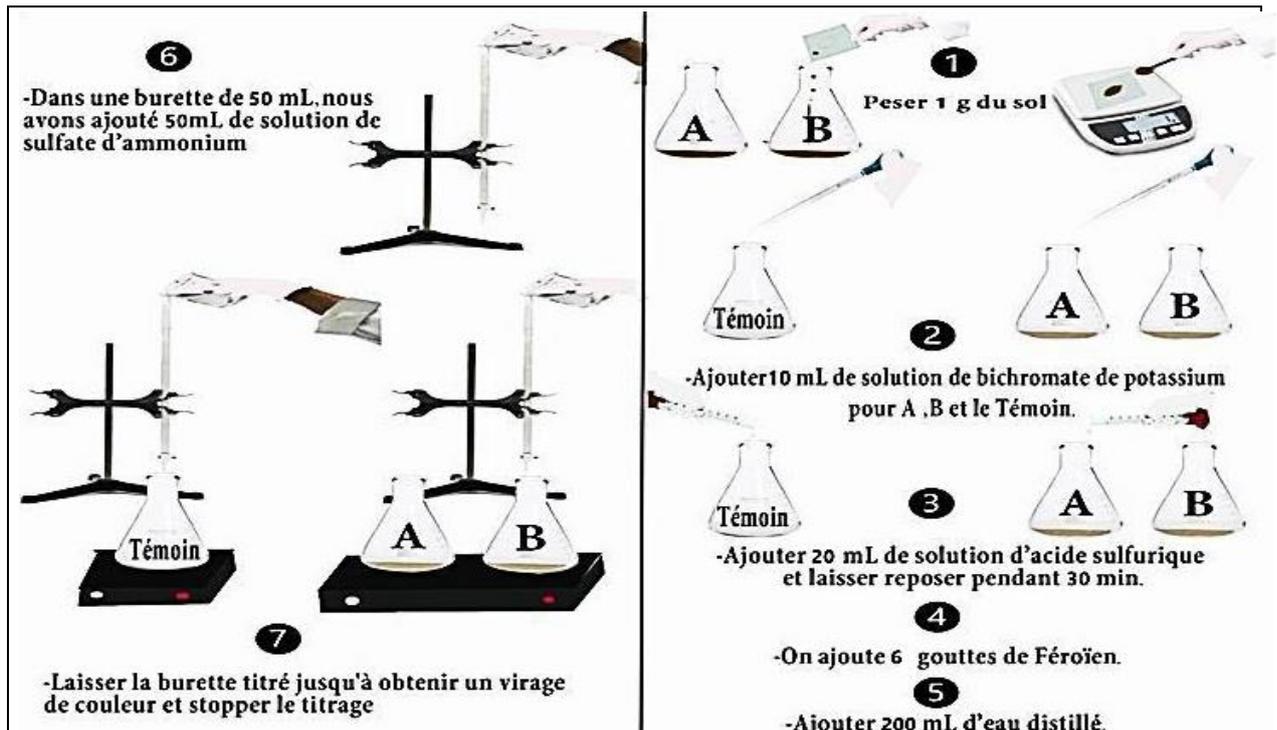


Figure 13 : Protocole expérimental du dosage de la matière organique (Chenini et Elgueroui, 2019).

II. Partie microbiologique (analyse microbiologique) :

Matériel :

1.1. Matériel biologique :

Le matériel biologique était composé de sols provenant de la zone de N'tissa à Ghardaïa.

1.2. Matériel non biologique

1.2.1. Appareillage :

L'appareillage est constitué d'une balance de type KERN pour les différentes pesées, un autoclave de type HIRAYAMA model HV-110 qui a été utilisé pour réaliser les stérilisations. L'incubateur de type MEMMERT utilisé pour les incubations des boîtes de Petri.

1.2.2. Consommable :

Le consommable utilisé est composé de boîtes de Pétri stériles (90 mm de diamètre), des flacons avec bouchon autoclavable pour la préparation des milieux de culture, des pipettes stériles de 1mL et de 5mL, des tubes à essai à vice pour les dilutions décimales. Une anse de platine, des étaioirs, une bouteille de gaz avec bec Bunsen, des béchers, des éprouvettes graduées, ainsi que tout le matériel classique d'un laboratoire.

1.2.3. Milieux de culture :

Le milieu de culture ayant servi à la réalisation de cette étude est :

Le milieu Ashby (Ashby's Nitrogen-Free Mannitol Agar) (**Annexe 06**) ainsi que le milieu Ashby au mannitol (**Atlas et al., 2005**).

Méthodes :

1.3. Analyses microbiologiques des sols :

1.3.1. Préparation des milieux de culture :

Les milieux de cultures qui ont servi aux analyses microbiologiques ont été préparés selon les prescriptions des fabricants mentionnées sur les différents flacons (**Fig 14**).

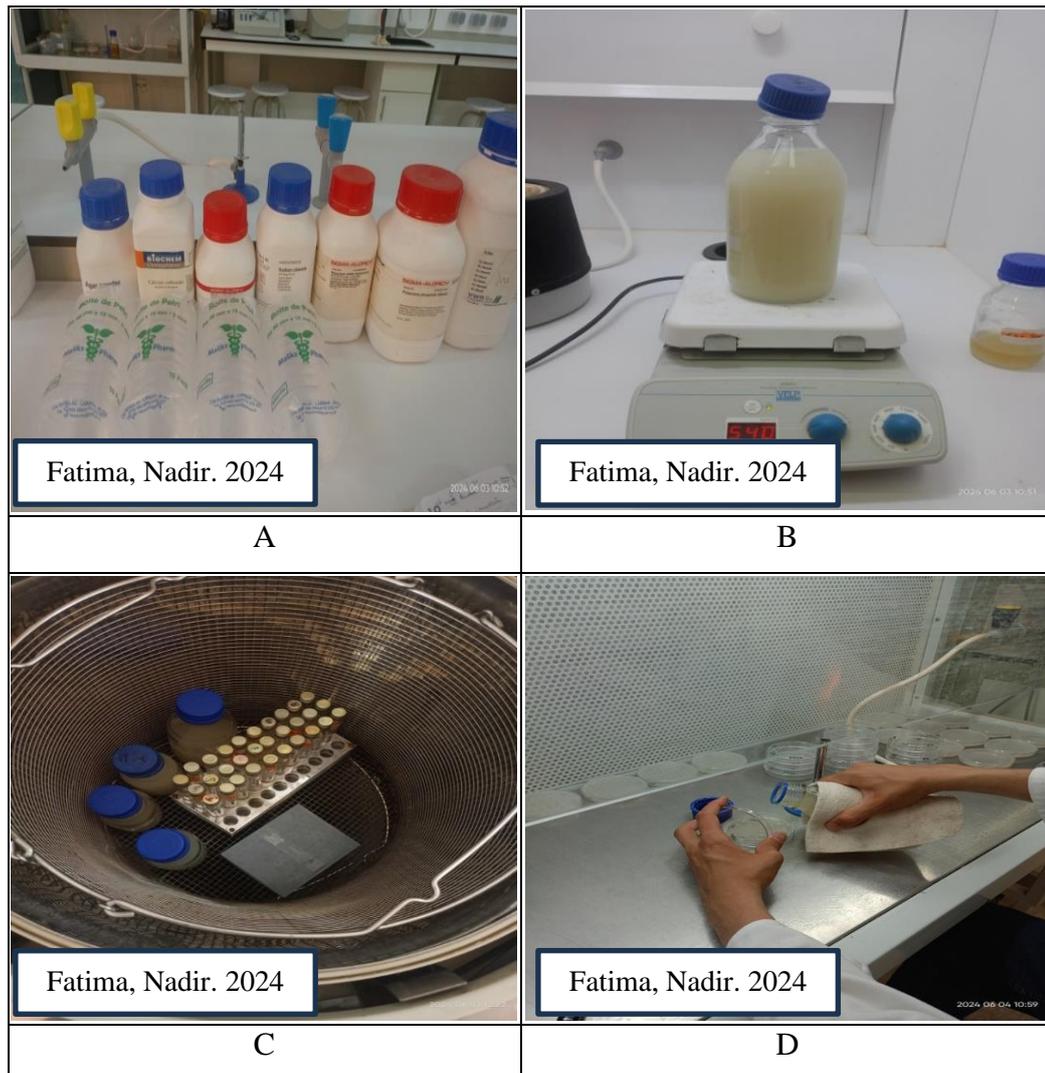


Figure 14 : Préparation du milieu d'isolement.

A : les produits nécessaires, **B :** homogénéisation du milieu sur l'agitateur magnétique à plaque chauffante, **C :** stérilisation (le milieu, les embouts et l'eau physiologique) dans l'autoclave, **D :** coulage du milieu dans une boîte de Petri dans l'hôte microbiologique.

1.3.2. Préparation de la suspension mère et des dilutions décimales :

La préparation de la suspension mère et des dilutions décimales a été réalisée selon la norme : NF EN ISO 6887-1, 2017 qui définit les règles générales pour la préparation de la suspension mère et des dilutions décimales en vue d'examens microbiologiques.

1.3.2.1. Préparation de la suspension mère :

Une quantité de 1 gramme de chaque échantillon de sol est pesée aseptiquement à l'aide d'une balance (KERN) puis déposée dans un tube à essai. Un volume de 9 ml d'eau physiologique

(Annexe 07) y est ajouté. Le mélange a été homogénéisé pendant 5 minutes pour obtenir la suspension mère.

I.3.2.2. Réalisation des dilutions décimales :

La dilution décimale consiste à diminuer la densité des micro-organismes dans l'échantillon, d'abord à 1/10 puis à 1/100 et ainsi de suite jusqu'à réduire la concentration microbienne de la suspension mère au facteur de 10^n . Pour ce faire, une quantité de 1mL de suspension mère est prélevée puis introduite dans un premier tube à essai contenant 9mL d'eau physiologique préalablement préparée et stérilisée. Une quantité de 1mL est prélevée de nouveau dans le tube précédent et introduite dans un second tube contenant aussi 9mL d'eau physiologique. Ainsi, cette opération va se poursuivre jusqu'à obtention de la dilution souhaitée pour la réalisation du travail (Fig 15).



Figure 15 : Préparation de la réalisation de suspension-dilution du sol.

1.3.3. Ensemencement, incubation et dénombrement :

Une quantité de 0,1mL de chaque dilution décimale concernée 10¹ à 10³ est déposée dans une boîte de Pétri contenant 20mL de milieu Ashby préalablement préparée et coulée. Puis les 0,1mL sont étalés à la surface du milieu à l'aide d'un étaloir stérile ; tout ce travail se fait dans un environnement stérile (hôte microbiologique). Les boîtes ensemencées sont incubées à 30°C pendant 5 à 7 j pour la recherche et le dénombrement des bactéries (Fig 16).



Figure 16 : Ensemencement en surface par étalement.

1.4. Expression des résultats du dénombrement :

Après le comptage des colonies microbiennes (**Fig 17**), le nombre N qui représente l'estimation de la population microbienne a été calculé selon l'équation suivante :

$$N \text{ (UFC / g)} = \frac{\sum Ci}{(N1 + 0,1N2) d.V}$$

N (UFC/g) : Nombre de germes par gramme de sol.

$\sum Ci$: Somme des colonies comptées sur toutes les boîtes retenues de dilutions successives

V : Volume de l'inoculum appliqué à chaque boîte (en mL)

N1 : Nombre de boîtes retenues à la première dilution considérée

N2 : Nombre de boîtes retenues à la deuxième dilution considérée

d : Facteur de dilution correspondant à la première dilution retenue.

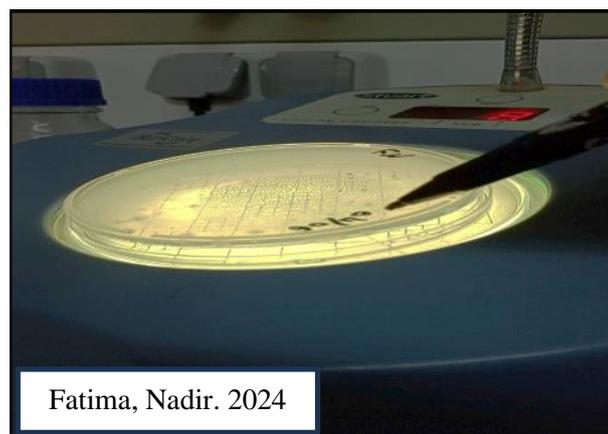


Figure 17 : Technique de comptage classique.

1.5. Isolement des microorganismes :

Cette étape consiste à isoler les microorganismes des échantillons de sol après dénombrement au préalable. Le milieu utilisé pour l'isolement est un milieu sélectif pour les microorganismes recherchés, il s'agit de milieu Ashby (**Fig 18**).

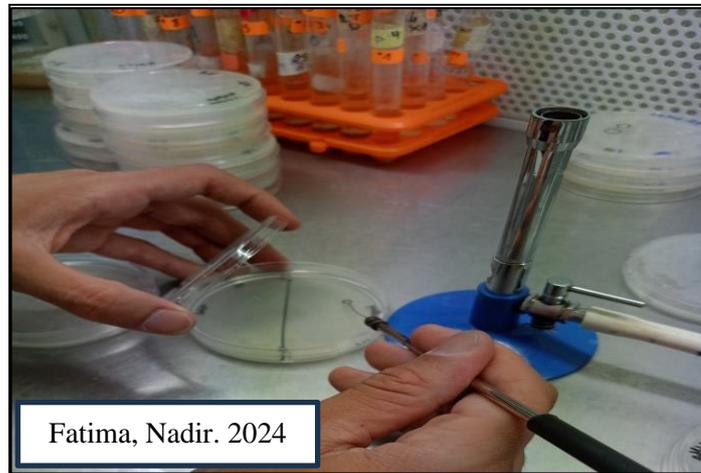


Figure 18 : Ensemencement des bactéries sur le milieu de culture.

1.6. Purification et conservation des isolats :

Les isolats obtenus sont ensemencés par strie sur le milieu à plusieurs reprises jusqu'à l'obtention des cultures pures.

1.7. Caractérisation phénotypique des souches :

1.7.1. Caractérisations macroscopiques :

Cette technique consiste à examiner les colonies à l'œil nu (Williams et Cross, 1971). Les caractéristiques macroscopiques sont basées sur la taille, la forme, la texture et les pigmentations diffusibles sur le milieu de culture (Wei et al., 2014).

1.7.2. Caractérisation microscopique des souches :

L'observation microscopique permet de faire une étude morphologique des cellules d'une espèce bactérienne. Elle comprend plusieurs tests ;

I.7.2.1. Examen à l'état frais :

C'est l'examen microscopique de bactéries vivantes en milieu liquide. Il permet d'apprécier leur mobilité (ou immobilité) et leur morphologie. A partir d'une culture sur milieu solide, une gouttelette de liquide (eau stérile) est déposée sur la lame. Une trace de culture est

prélevée à l'anse de platine et émulsionnée dans le liquide et finalement, elle est observée au microscope.

I.7.2.2. Coloration de Gram :

C'est une coloration différentielle de la paroi bactérienne qui permet la distinction entre deux groupes bactériens, Gram positifs retiennent la coloration violette du violet de Gentiane et Gram négatifs peuvent être décolorés par l'alcool et sont ensuite colorés en rose avec la safranine. L'observation des bactéries est faite sous microscope après coloration de Gram selon le protocole de Nicolle (1895). Un frottis est réalisé et fixé à la flamme. Ensuite, quelques gouttes de violet de Gentiane sont versées sur la lame, et il est laissé en contact pendant 1 minute. Après cela, le colorant est jeté, puis la solution de Lugol est utilisée pour chasser le colorant et est laissée agir environ 1 minute. Une fois le Lugol jeté, de l'alcool est fait couler sur la préparation, qui est immédiatement rincée à l'eau. Par la suite, la préparation est recouverte de la Safranine et laissée agir environ 1 minute, avant d'être lavée abondamment. Enfin, la préparation est séchée au-dessus de la flamme d'un bec Bunsen (**Fig 19**).

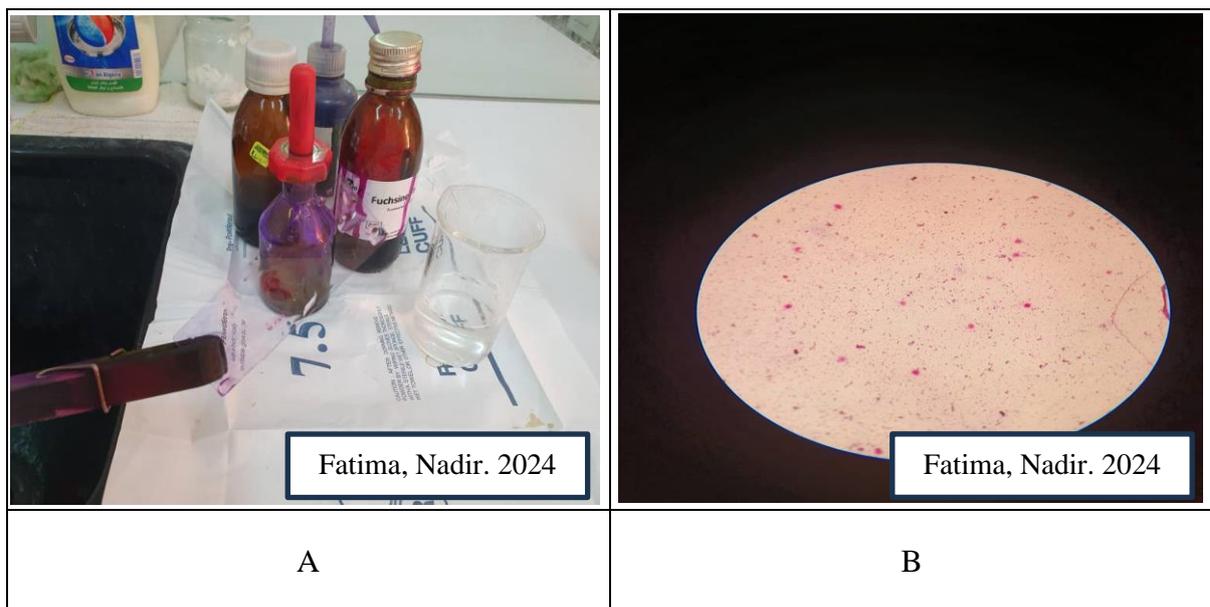


Figure 19 : Test coloration de Gram

(A) Préparation d'un frottis bactérien coloré au Gram, (B) observation microscopique

du frottis sous microscope optique au grossissement x100.

I.7.2.3. Etude des enzymes respiratoires terminales :

- **Test de l'oxydase :**

La recherche de l'oxydase est un test fondamental pour l'identification bactérienne. C'est une enzyme de la chaîne respiratoire bactérienne qui catalyse des réactions d'oxydation du type :

$\text{DH}_2 + \frac{1}{2} \text{O}_2 \text{D} + \text{H}_2\text{O}$. Sur un disque d'oxydase une colonie pure est déposée. La présence de l'oxydase se manifeste par une coloration violette ou bleue au bout de 10 secondes (**Fig 20**).

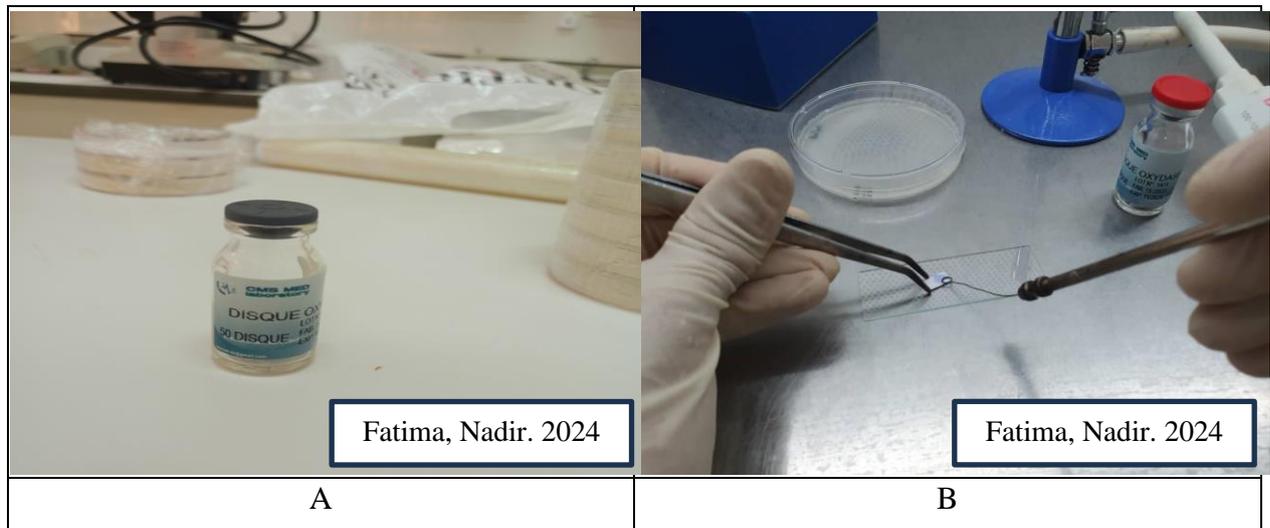


Figure 20 : Préparation de test oxydase.

(A) disques oxydases, (B) résultat positif de test oxydase.

- **Test de la catalase :**

La catalase est une enzyme respiratoire qui catalyse la libération de molécules d'eau et d'oxygène à partir de peroxyde d'hydrogène selon la réaction suivante :

$\text{H}_2\text{O}_2 \xrightarrow{\text{Catalase}} \text{H}_2\text{O} + \frac{1}{2} \text{O}_2$. Pour mettre en évidence cette enzyme, une partie de la colonie suspecte est diluée dans une goutte d'eau oxygénée (H_2O_2) sur une lame porte objet propre. La présence des bulles d'air traduit une réaction positive (**Figure 21**).

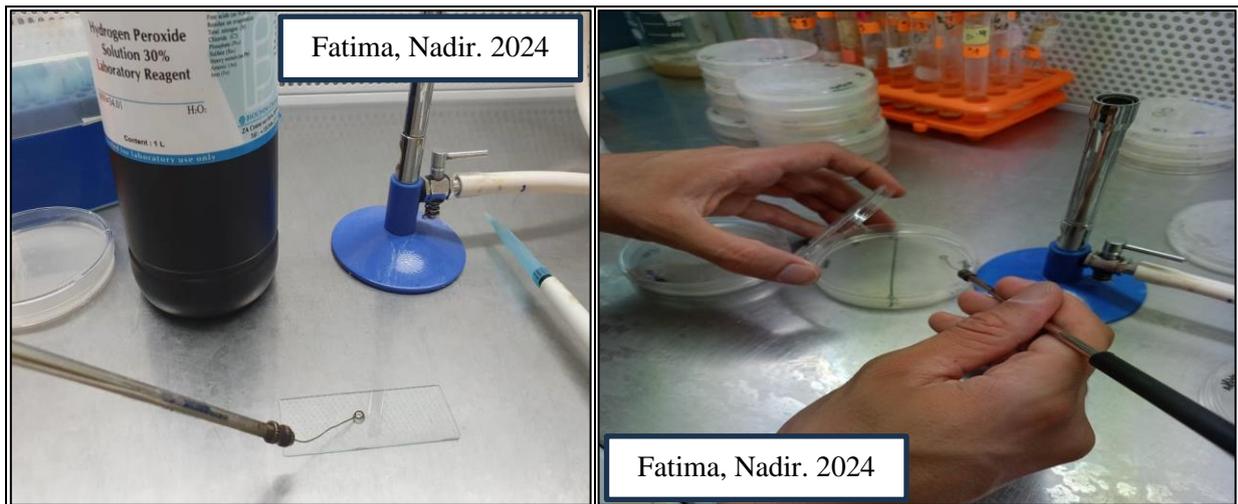


Figure 21 : Préparation de test catalase.

Partie II:
Résultats et discussions



Chapitre III
Résultats et discussions



1) Analyses physico-chimiques des sols :

Les caractéristiques physico-chimiques de la couche superficielle (0-20cm) des dix échantillons de sols analysés au laboratoire sont données dans le (Tableau 2).

Tableau 2 : Caractéristiques physico-chimiques des sols.

	pH	CE (ds /m)	MO (%)	CaCo3 total (%)	Texture		
					Argile	Limon	Sable
P1	8,3	2,35	1,8	8,5	10,32	4	85,68
P2	8,3	2,02	1,58	6,8	16,17	4,07	79,75
P3	8,5	2,49	0,94	9,3	13,96	2,36	83,68
P4	8,7	1,55	4,94	7,7	15,96	8,28	75,75
P5	8,6	3,95	1,62	10,1	17,96	4,28	77,75
P6	8,4	0,81	1,003	11,7	17,96	6,28	75,75
P7	9,0	0,95	1,04	3,12	29,96	4,28	65,75
P8	8,3	1,01	2,42	3,33	33,96	1,028	55,75
P9	8,7	6,31	1,006	3,33	27,96	2,28	69,75
P10	8,7	1,50	1,4	2,6	31,96	4,28	63,75

- Le triangle textural des sols est illustré dans la (Fig 22)

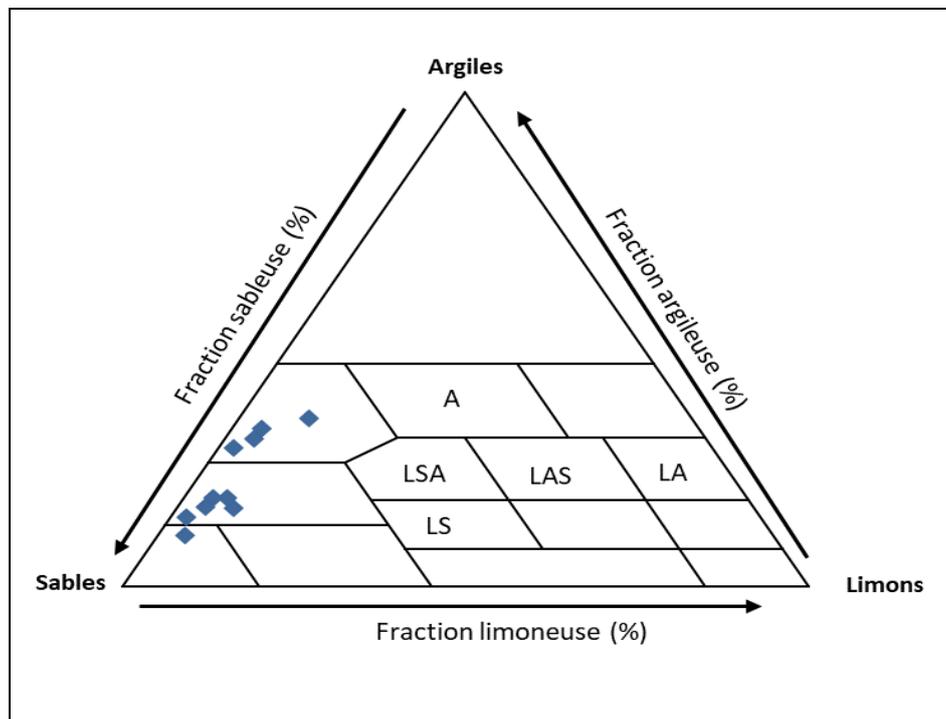


Figure 22 : Triangle texturale de couches superficiels du sol.

Selon la base de référence mondiale pour la ressource en sol (WRB, 2015), la majorité des sols ont une texture sableuse argileuse, tandis que le reste présente une texture argile sableuse.

L'analyse granulométrique révèle que la fraction dominante est le sable, suivi par l'argile, alors que la teneur en limon est très faible.

L'examen des caractéristiques physico-chimiques des dix sols (Fig 23) montre que nos sols sont moyennement alcalins ($8 \leq \text{pH} \leq 9$) (Mathieu et al, 2009).

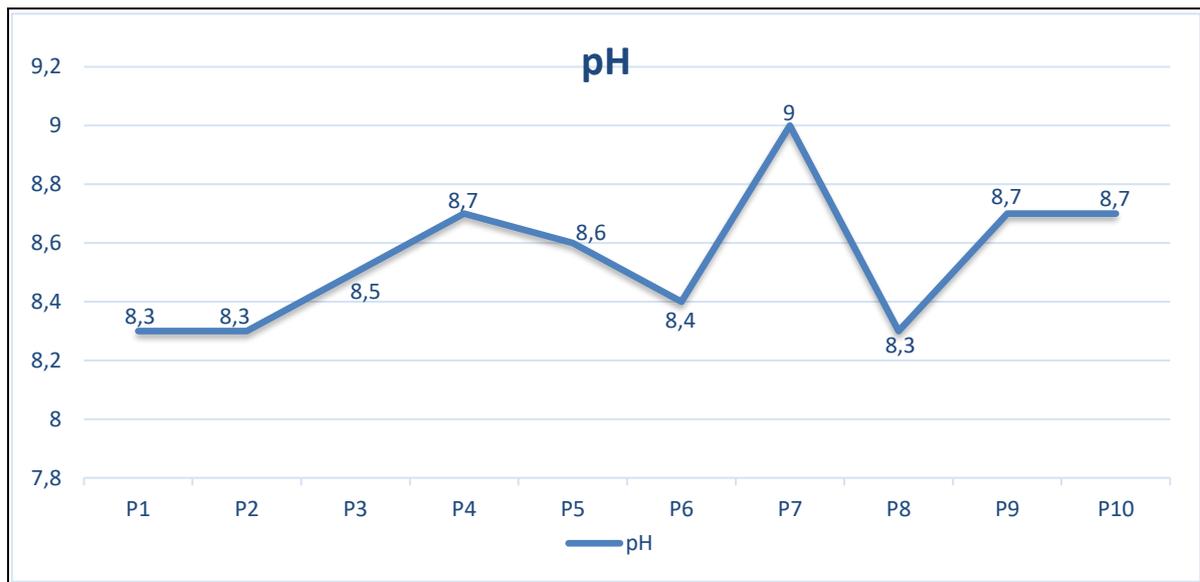


Figure 23 : Variation du pH de différents échantillons de sol.

Le pH est un facteur physico-chimique clé pour la caractérisation des sols. En fonction de son niveau, les sols sont classifiés en trois catégories : acides, neutres ou alcalins. Les sols cultivés affichent généralement des pH neutres, légèrement acides ou légèrement alcalins, avec des valeurs comprises entre 4 et 9. En particulier, la majorité des sols de jardin présentent un pH proche de 7, c'est-à-dire neutre (Abdslem et Latache, 2010).

Dans les régions arides, les sols tendent à être alcalins, avec des pH allant de 7,5 à 8,5 (Daoud et Halitim, 1994). La végétation joue également un rôle dans la régulation des niveaux de pH. Indirectement, elle enrichit le sol en biomasse, qui se transforme en composés humiques comprenant des acides organiques. Directement, elle absorbe davantage d'anions que de cations, ce qui entraîne une augmentation de la concentration en ions dans la solution du sol (HLITIM, 2006). Les variations du pH des sols sont également influencées par l'équilibre entre le calcium et le carbonate de calcium présents dans le sol.

La conductivité électrique des échantillons P4, P6, P7, P8 et P10 se situe entre 0,8 et 1,5 (ds/m), les classant parmi les sols peu salés selon Aubert (1978). En revanche, les sols P1, P2, P3

et P5 présentent des valeurs de conductivité électrique allant de 2,4 à 4 (ds/m), les classant comme très salés selon la même classification. Le sol P9 affiche une conductivité électrique supérieure à 6 (ds/m), le plaçant dans la catégorie des sols extrêmement salés (**Fig 24**).

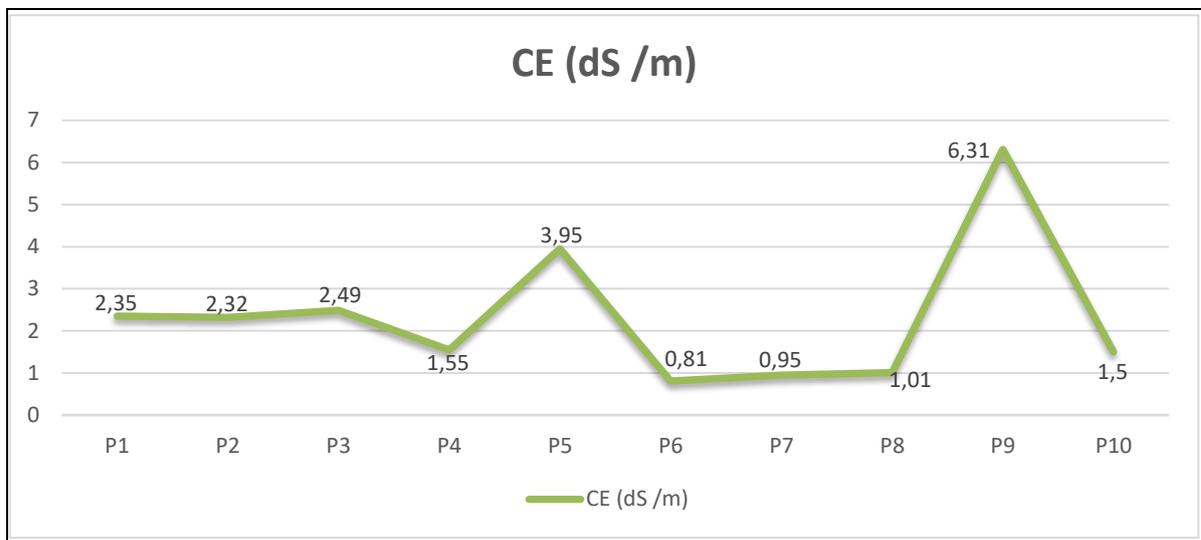


Figure 24 : Variation de la conductivité électrique de différents échantillons de sol.

Cette forte salinité est principalement due aux températures élevées et à l'importante évaporation de l'eau d'irrigation, ainsi qu'à la remontée des eaux souterraines. La salinisation des sols est souvent le résultat de l'irrigation de sols mal drainés dans des climats arides (**Fig 25**). La stagnation de l'eau dans les couches superficielles du sol, causée par un drainage insuffisant, entraîne une accumulation de sels dans les couches superficielles. Ce phénomène est exacerbé par l'évaporation intense due au climat chaud et aride, qui dépasse largement l'infiltration et le lessivage de l'eau (**Benbrahim, 2018**). L'irrigation constitue également un facteur significatif de contamination des sols (**Baize, 2000**).

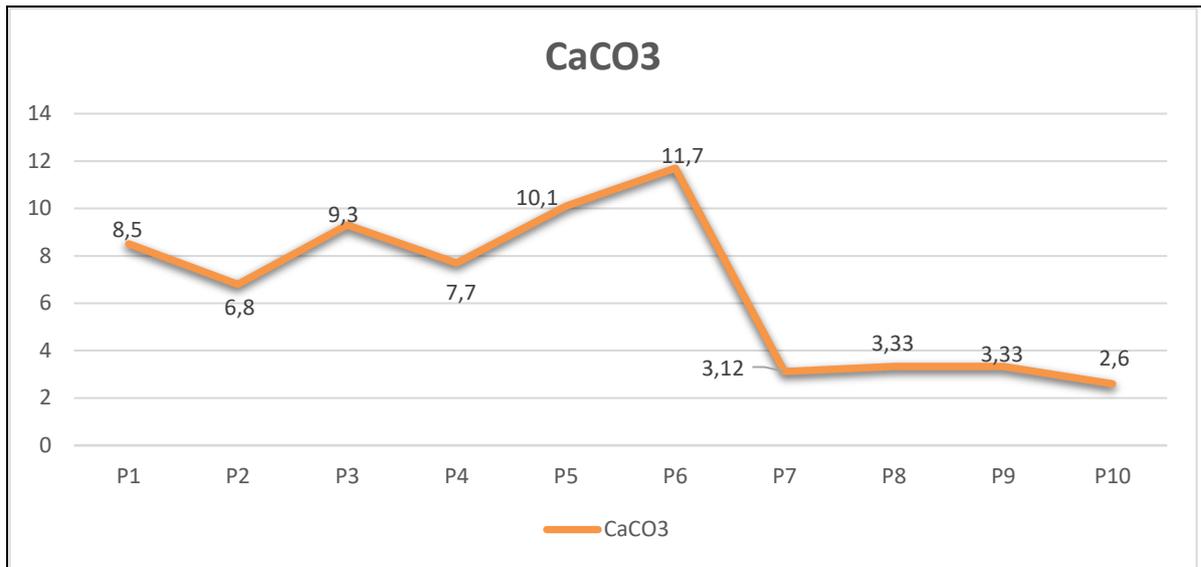


Figure 25 : Variation de la CaCO₃ de différents échantillons de sol.

Les sols présentent une variabilité en termes de teneur en calcaire. Les six premiers échantillons de sols sont modérément calcaireux, avec une teneur en CaCO₃ totale allant de 20% à 30,02%. En revanche, les derniers échantillons montrent une forte calcairisations, avec des teneurs en CaCO₃ total variant de 70% à 92% (**Baize, 2000**).

Le calcaire, étant soluble, subit des processus de dissolution et de précipitation du carbonate de calcium. Dans un premier temps, le calcaire se dissout, libérant des ions calcium dans le sol. Ces ions se déplacent ensuite par percolation ou diffusion, se répartissant à différentes distances au sein d'un même horizon ou entre les divers horizons du profil du sol (**Halitim, 2006**).

Le sol des parcelles étudiée sont très pauvre en matière organique et carbone organique (**Fig 27**) ($1\% \leq \text{M.O.}$) sauf pour le éch P4 qui a présenté un taux supérieur à 4%, alors ce sol est riche en matière organique selon (**Duchaufour, 1984**).

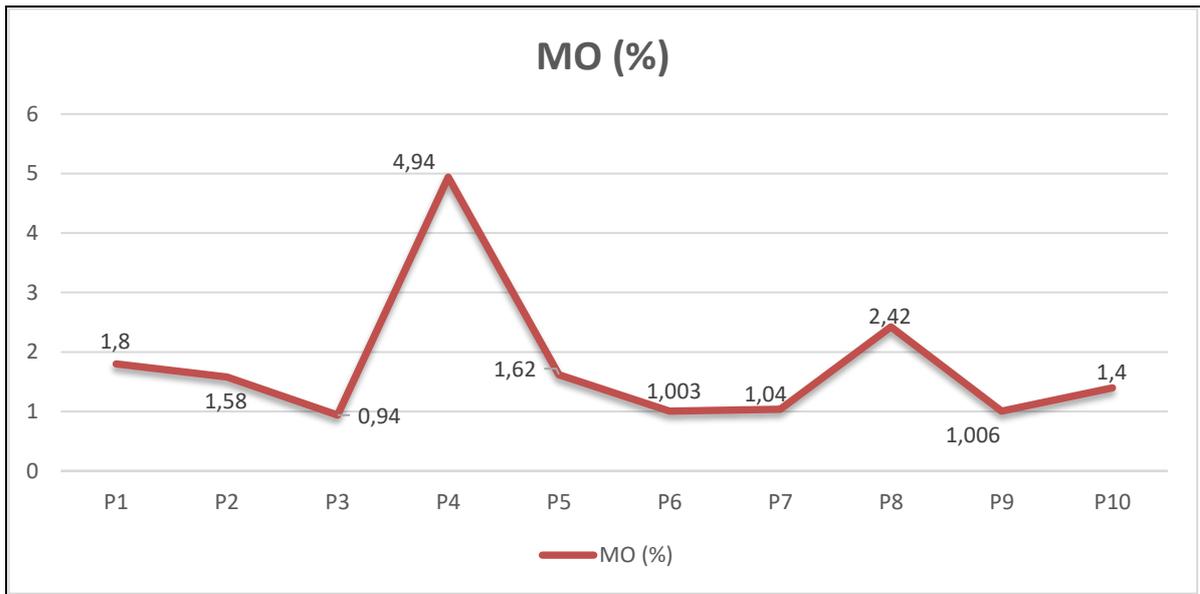


Figure 26 : Variation de la matière organique de différents échantillons de sol.

2) Résultats des analyses microbiologiques :

Les résultats des analyses microbiologiques des sols collectés sont montrés dans le Tableau suivant (**Tableau 3**) :

Tableau 3 : Dénombrement des microorganismes dans les sols étudiés.

Échantillon	Nombre de colonies	Résultats (10 ⁴ UFC/g s. s)
P1	161	14,6
P2	252	22,9
P3	152	13,8
P4	294	26,7
P5	152	13,8
P6	117	10,6
P7	61	05,5
P8	156	14,1
P9	195	17,7
P10	280	25,4

UFC : Unités formant colonies, **g. s. s** : germes par gramme du sol sec.

À partir des résultats obtenus, il ressort que le sol P4 est le plus riche en colonies bactériennes, avec une densité de 26,7 x 10⁴ UFC/g de sol. En revanche, le sol P7 présente la densité la plus faible, avec seulement 0,55 x 10⁴ UFC/g de sol. Les données du (**Tableau 3**) ; montrent que la charge bactérienne dans le milieu de Ashby varie de 5,5 à 26,7 x 10⁴ UFC/g, ce qui reflète une abondance significative de bactéries fixatrices d'azote dans le sol.

Selon **Dommergues et Mangenot (1970)**, les densités bactériennes dans les sols soumis à des conditions écologiques extrêmes, telles que celles des régions arides et polaires, sont généralement faibles, mais elles restent souvent au-dessus de 10⁴ à 10⁵ germes/g de sol sec dans les horizons superficiels, ce qui est corroboré par nos résultats. La légère supériorité numérique des bactéries dans certains sols peut être attribuée à la teneur relativement élevée en matière organique qui caractérise ces sols.

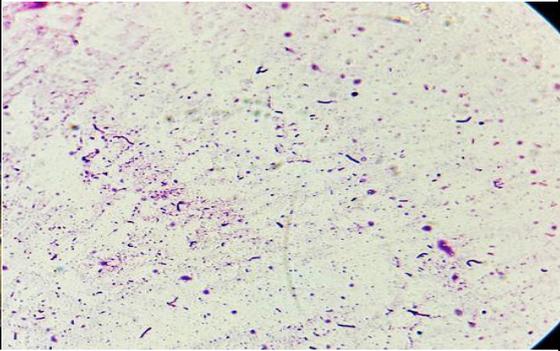
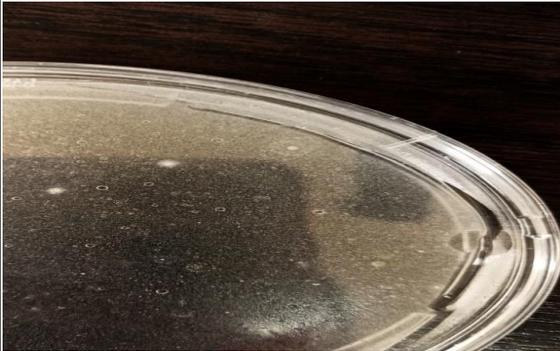
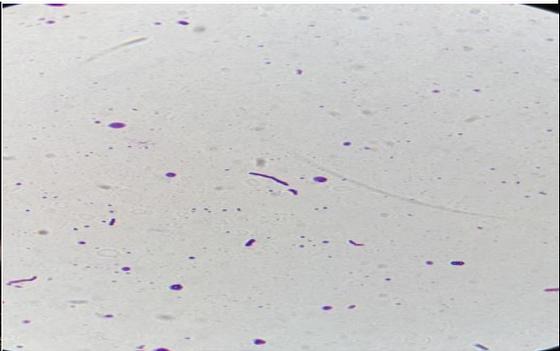
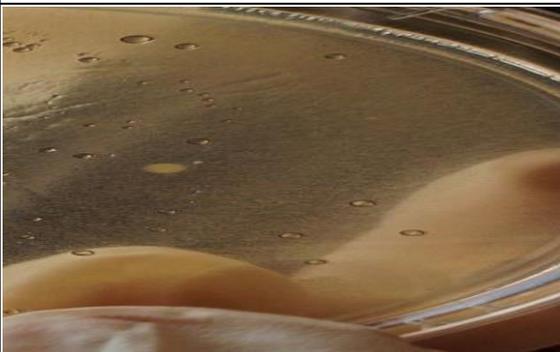
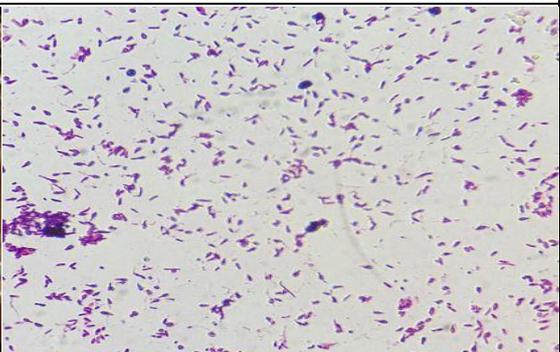
Ces variations de densité peuvent être attribuées à divers facteurs qui affectent les micro-organismes, notamment les conditions physiques et chimiques du sol, telles que l'humidité et la salinité, ainsi que les changements dans les facteurs biochimiques relatifs à la nutrition et à l'énergie fournie par la matière organique.

Dans les sols sahariens, la densité microbienne est encore plus réduite en raison de la diminution des substrats énergétiques et des nutriments, associée aux effets des conditions pédologiques et climatiques extrêmes, telles que des températures élevées et un pH du sol excessivement alcalin (**Karabi, 2017**).

À partir de ces échantillons, nous avons isolé neuf souches, dont les caractéristiques morphologiques et biochimiques sont présentées dans le (**Tableau 4**). Les caractéristiques morphologiques de certains de ces isolats sont illustrées dans la (**Fig 27**).

: Principaux résultats des caractères phénotypiques des isolats obtenus.4 Tableau

Isolat Test	Forme des colonies	Couleur Des colonies	Surface des colonies	Forme cellulaire	Gram	Mobilité	Catalase	Oxydase
P1	Circulaire contour régulier convexe	Transparentes	Lisse brillante	Coccobacille	-	+	+	+
P2	Circulaire contour régulier convexe	Blanche	Lisse	Coccobacille	-	+	+	+
P2'	Circulaire contour irrégulier convexe	Blanche	Sèche	Bacille	+	-	+	+
P3	Circulaire contour régulier convexe	Beige translucide	Lisse brillante	Coccobacille	-	-	+	+
P4	Circulaire contour régulier convexe	Blanche	Lisse Brillante	Coccobacille	-	+	+	+
P5	Circulaire contour irrégulier convexe	Blanche	Sèche	Cocci	+	-	-	-
P5'	Circulaire contour régulier convexe	Orange	Lisse	Cocci	+	-	+	-
P9	Circulaire contour régulier convexe	Jaunâtre	Crémeuse	Bacille	-	-	+	-

	Aspect macroscopique	Aspect microscopique
P1		
P2		
P2'		
P3		

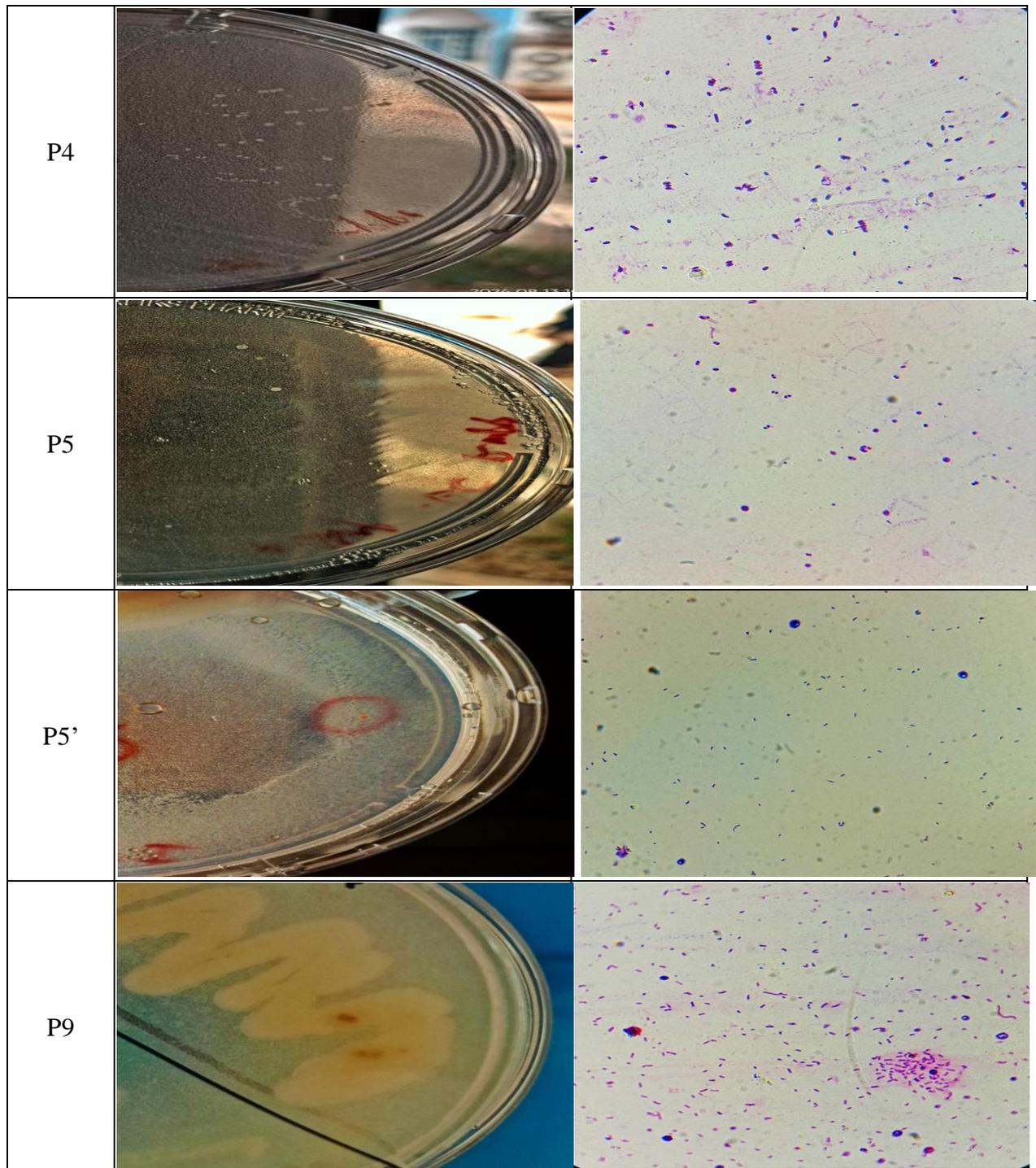


Figure 27 : Aspects macro et microscopiques de certains isolats obtenus.

Certains isolats ont été sélectionnés pour une analyse approfondie de leurs caractéristiques morphologiques. Les résultats révèlent une grande variabilité dans les colonies, tant en termes de forme que de taille. Les colonies observées varient de l'ovale à l'irrégulier, et leur apparence peut être visqueuse, rugueuse, lisse ou granulaire. En outre, certaines colonies présentent une brillance, une transparence, une couleur blanchâtre ou une texture crémeuse, sans détection des champignons grâce à la spécificité de milieu utilisé.

Les tests de Gram ont montré des résultats divergents. De plus, certains isolats sont mobiles, tandis que d'autres sont immobiles. Les analyses biochimiques ont révélé des variations dans l'activité de la catalase et de l'oxydase (**Tableau 4**).

Les observations de (**Grayston et al. 1998**) rapportées par (**Soufiane, 1998**) indiquent que la microflore rhizosphérique varie d'une espèce végétale à l'autre et même au sein d'une même espèce, ce qui est corroboré par nos résultats.

Dans le cadre de cette étude, l'analyse physico-chimique des sols a révélé que la croissance des souches isolées de la rhizosphère est favorisée par un sol faiblement alcalin. Selon **Dommergue et Mangenot (1970)**, *Azotobacter* est particulièrement abondant dans ces types de sols, où le nombre de cellules par gramme peut atteindre des densités considérables, allant de 10^6 à 10^7 UFC/g de sol. Leur présence est également favorisée par un pH élevé (**Silini, 2013**). Concernant la salinité, (**Sushkina, 1956**) a observé qu'*Azotobacter* peut se développer dans les sols salés et que la salinisation ne conduit ni à la disparition ni à la mort de cette bactérie.

Cependant, il est important de noter que les sols des régions arides sont souvent calcaires et présentent un pH largement supérieur à la neutralité. Ainsi, ce facteur ne semble pas être la principale cause de l'absence ou de la rareté d'*Azotobacter* (**Sasson, 1967**).

Conclusion et perspectives



Conclusion et perspectives :

Cette étude a approfondi l'analyse des caractéristiques physico-chimiques et biologiques des sols dans la région de Ghardaïa (N'tissa), en examinant des paramètres cruciaux tels que la conductivité électrique, le pH, la teneur en chaux totale et la matière organique. Ces paramètres ont été évalués en fonction des pratiques agricoles et de gestion des exploitations après plusieurs années de culture du palmier pérenne, une culture d'importance majeure pour l'agriculture en Algérie.

Les résultats montrent que les sols analysés sont principalement sableux avec une structure spécifique, comportant des niveaux variables de matière organique, et présentent des caractéristiques de forte salinité, un pH alcalin et une teneur en calcaire élevée.

La distribution des microorganismes dans ces sols varie considérablement : des concentrations plus élevées de microorganismes sont observées dans les sols plus riches en matière organique.

L'activité biologique et la population microbienne sont influencées par plusieurs facteurs clés, notamment l'humidité, la salinité et la teneur en matière organique.

Les analyses microscopiques et biochimiques suggèrent la présence de souches appartenant probablement au genre *Azotobacter*. Toutefois, cette identification est encore préliminaire. Une identification moléculaire plus précise, couplée à des techniques de biologie moléculaire avancées et à l'utilisation de galeries API, est nécessaire pour confirmer l'identité exacte des microorganismes au niveau de l'espèce.

Afin d'optimiser la gestion des sols et soutenir l'agriculture durable dans la région de Ghardaïa, plusieurs recommandations clés doivent être mises en œuvre.

Tout d'abord, il est essentiel d'améliorer les pratiques agricoles en augmentant la teneur en matière organique du sol. L'incorporation de compost ou de fumier peut enrichir les sols et améliorer leur capacité de rétention d'eau.

En outre, pour réduire la salinité, il est recommandé d'utiliser des techniques d'irrigation et de drainage contrôlées afin d'éviter une accumulation excessive de sel.

Par ailleurs, un contrôle régulier des paramètres physico-chimiques et biologiques du sol devrait être mis en place afin d'évaluer l'impact des pratiques agricoles et d'adapter les méthodes en conséquence.

Il est également conseillé de mesurer systématiquement le stockage du carbone afin d'évaluer les effets des pratiques agricoles sur la séquestration du carbone, contribuant ainsi à la lutte contre le changement climatique.

Enfin, il est important d'optimiser les amendements du sol et les techniques de fertilisation en testant différents types d'amendements et en utilisant des méthodes de fertilisation de précision pour répondre aux besoins spécifiques des sols et des cultures.

En vue de mieux comprendre les sols et d'améliorer les pratiques agricoles, plusieurs pistes de recherche doivent être explorées.

Premièrement, des études avancées de caractérisation moléculaire doivent être menées pour identifier précisément les micro-organismes présents dans les sols, en utilisant des outils de séquençage de l'ADN pour obtenir des informations détaillées sur la diversité microbienne et ses fonctions écologiques.

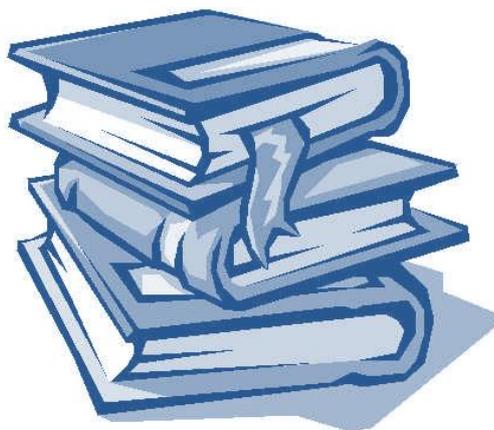
Deuxièmement, des recherches spécifiques sur le stockage du carbone doivent être menées pour évaluer comment les différentes pratiques agricoles influencent la capacité des sols à séquestrer le carbone, en quantifiant le carbone organique stocké et en analysant les changements dans la matière organique du sol.

Troisièmement, des études longitudinales sont nécessaires pour observer les effets à long terme des pratiques de culture et de gestion sur la qualité des sols et la productivité des cultures.

Enfin, la recherche sur les impacts environnementaux des pratiques agricoles, en particulier sur la biodiversité et les ressources en eau, est essentielle pour développer des stratégies de gestion intégrée qui soutiennent à la fois la productivité agricole et la santé de l'environnement.

Pour conclure, en intégrant ces recommandations et en poursuivant ces recherches, nous pouvons améliorer la gestion des sols dans la région de Ghardaïa, promouvoir des pratiques agricoles plus durables et renforcer la capacité des sols à contribuer à la séquestration du carbone, tout en optimisant les rendements agricoles et la résilience de l'environnement.

Références bibliographiques



- **Atlas, R.M. (2005).** Handbook of media for environmental microbiology. 2nd ed. Crc Press. Boca Raton. USA.
- **AUBERT.G, (1978).** Méthode d'analyse s des sols. Edit : C.R.D.P. Marseille, 191 P.
- **Bai, Z. G., Dent, D. L., Olsson, L., & Schaepman, M. E. (2008).** Global Assessment of Land Degradation and Improvement. World Soil Information, Wageningen.
- **BAISE, (2000).** Guide des analyses en pédologie. Choix. Expression Présentation. Interprétation. 2ème Ed. INRA, Paris. 257p.
- **BAIZE D, (2000).** Guide des analyses en pédologie. 2eme Ed. Rev et augmentée. INRA, Paris. 255p.
- **Baize D., (1988).** Guide des analyses courantes en pédologie Edition. Inra. Paris.
- **Baize D., (2000).** Teneurs totales en «métaux lourds» dans les sols français: résultats généraux du programme ASPITET. Le Courrier de l'Environnement de l'INRA, (40), 39-54.
- **Baize, D. (2000).** Guide des analyses en pédologie. INRA Éditions.
- **Ben Semaoune Y., (2008).** Les parcours sahariens dans la nouvelle dynamique spatiale: contribution à la mise en place d'un schéma d'aménagement et de gestion de l'espace (SAGE)-cas de la région de Ghardaïa. Mémoire Magister, Université Kesdi Merbah, Ouargla, 54-57.
- **Benbrahim F., (2018).** Variabilité spatiale de la qualité du sol dans les agrosystèmes du Sahara Algérien. Thèse de doctorat. Université Badji mokhtar-Annaba, 140p.
- **Chenini S. Elgaraoui F., (2019).** variabilité spatiale et analyse physico-chimique des solset des eaux de dayat Oum-souid (comune d'El-Mansoura). Mémoire Master. Université de Ghardaïa, p 11-49-50.
- **Citeau, L., Bispo, A., Bardy, M., & King, D. (2008).** Gestion durable des sols. Versailles, éditions Quae.
- **Coquet, Y., & Ruellan, A. (2010).** Les sols du monde pourront-ils nourrir 9 milliards d'humain.
- **Daoud Y., Halitim A., (1994).** Irrigation et salinisation au Sahara algérien. Sécheresse 5 (3), 151-160.
- **Direction de Pacification et Aménagement de Territoires (DPAT), (2021).** Statistique wilaya de Ghardaïa.

- **Djili B., (2018).** Contribution à l'étude des sols alluviaux des bassins du M'zab : Approche morpho-analytique, organisation spatiale et intérêt environnemental. Thèse de doctorat. Université Kasdi Merbah- Ourgla.210p.
- **Dommergues Y. and Mangenot F. (1970).** Écologie Microbienne du sol. Masson, Paris.
- **DOMMERGUES. Y et MANGENOT. F, (1970).** Ecologie microbienne du sol. Masson et Cie Editeurs, paris ,796p.
- **DSA, (2021).** Direction des Services Agricoles ; Rapport des Cultures en Wilaya.
- **Duchauffour, (1984).** Abrégés de Pédologie. Ed. Masson, Paris, 214p.
- **Duchauffour, P. (2001).** Introduction à la science du sol : sol, végétation, environnement. Paris, Dunod.
- **FAO, (2017).** Les multiples rôles du sol au Proche-Orient et en Afrique du Nord.
- **FAO. (2015).** Les sols et leur gestion durable. Consulté à l'adresse FAO.
- **Gardi, C., & Pimentel, D. (2012).** "Soil biodiversity and its role in ecosystem services." In Soil Ecology and Ecosystem Services (pp. 1-23). Oxford University Press. DOI: 10.1093/acprof:oso/9780199568447.003.0001.
- **Gobat, J.-M., Aragno, M., & Matthey, W. (2010).** Le sol vivant. Presses polytechniques et universitaires romandes.
- **Gouaidia L., (2008).** Influence de la lithologie et des conditions climatiques sur la variation des paramètres physico-chimiques des eaux d'une nappe en zone semi-aride, cas de la nappe de Meskiana Nord-Est Algerien. Thèse doctorat. Université de Badji Moukhtar Annaba, 130 p.
- **Graystone S. J., Vaughan D. et Jones D., (1996).** Rhizosphere carbon flow in trees, in comparison with annual plants: the importance of root exudation and its impact on microbial activity and nutrient availability. Applied Soil Ecology, 5,29-56.
- **Halitim A., (2006).** Les sols des zones arides d'Algérie, édit CRSTRA, Biskra, 29-35.
- **Halitim S., (2006).** Contribution à l'étude de la réserve utile en eau des sols de CEDRAIES dans les AURES : Influence des facteurs édaphiques. Mémoire de Magister en Sciences Agronomiques. Université EL HADJ LAKHDAR de Batna.138p.
- **Houichiti R., (2009).** Caractérisation d'un agrosystème saharien dans une perspective de développement durable : Cas de l'Oasis de SEBSEB (Wilaya de GHARDAIA). Mémoire de Magister en Sciences Agronomiques. Université Kasdi Merbah-Ouargla, 90 p.

Annexes

Échelles utilisées à l'interprétation des résultats

Annexe 01. Tableau : Granulométrie

Taille	>2 μ m	2à20 μ m	20à50 μ m	50à200 μ m	0.2à2mm
classes	argile	limon fin	limon grossier	sable fin	sable grossier

Annexe 02. Echelle de la salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait 1/5 (AUBERT, 1978).

CE (ds/m) à25°C	Degré de salinité
Sol non salé	≤ 0.6
Sol peu salé	$0.6 < CE \leq 2$
Sol salé	$2 < CE \leq 2.4$
Sol très salé	$2.4 < CE \leq 6$
Sol extrêmement salé	> 6

Annexes 03. Tableau : Calcaire total (BAISE, 1988)

CaCO ₃ %	Horizon
≤ 1	Non calcaire
≤ 5	Peu calcaire
$5 < CaCO_3 \leq 25$	Modérément calcaire
$25 < CaCO_3 \leq 50$	Fortement calcaire
$50 < CaCO_3 \leq 80$	Très calcaire
> 80	Excessivement calcaire

Annexe 04. Tableau N° : Classement de la Matière organique (I.T.A., 1975)

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

Annexe 05. Tableau : Normes d'interprétation du pH-eau du sol (MATHIEU *et al*, 2009)

pH	Normes
0 à 3	Extrême acide
3 à 4	Très fort acide
4 à 5	Forte acidité
5 à 6	Modérée acidité
6 à 7	Faible acidité
7 à 8	Faible alcalinité
8 à 9	Modérée alcalinité
9 à 10	Fort alcalinité
10 à 11	Très fort alcalinité

Annexe 06. milieu Ashby (Ashby's Nitrogen-Free Mannitol Agar)

Glucose.....	10g
K ₂ HPO ₄	0.2g
MgSO ₄	0.2g
K ₂ SO ₄	0.1g
CaCO ₃	5g
Gélose ou l'Agar.....	15g
Eau distillée.....	1000ml

Annexe 07. Eau physiologique

9g NaCl →1 L d'eau distillé