



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique Et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère De L'enseignement Supérieur Et De La Recherche Scientifique



Université Constantine 1 Frères Mentouri
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

جامعة قسنطينة 1 الإخوة منتوري
كلية علوم الطبيعة والحياة

Département : Microbiologie

قسم : ميكروبيولوجيا

Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Microbiologie Appliquée

N° d'ordre :

N° de série :

Intitulé:

Effet de l'herbicide oxyfluorène sur les bactéries, les champignons et les micro-algues d'un sol agricole Saharien

Présenté par : Benghachi Ibtihel Hibet Errahmane

Le : 19/06/2024

Hamlaoui Malak

Jury d'évaluation :

Président : Pr. BOUDEMAGH Allaoueddine (Professeur - U Constantine 1 Frères Mentouri).

Encadrante : Dr. BOUFERCHA Oumeima (MCB- U Constantine 1 Frères Mentouri.).

Examinatrice: Dr. ZAAMOUCHE Ahlem (MAB- U Constantine 1 Frères Mentouri).

Année universitaire
2023 - 2024

Avant tout, nous remercions Allah Tout-Puissant de nous avoir accordé la force, le courage et les moyens nécessaires pour pouvoir accomplir ce modeste travail.

*Nos remerciements les plus sincères s'adressent à notre honorable encadrante, **Dr. Boufercha Oumeima**, pour ses orientations, son aide, sa rigueur scientifique et pour la confiance qu'elle nous a accordée tout au long de cette étude.*

*Nous remercions également **Pr. Boudemagh Allaoueddine** pour le grand honneur de présider le jury, ainsi que **Dr. Zaamouchi Ahlem** pour avoir bien voulu examiner ce travail.*

*Nous exprimons notre gratitude à **Pr. Benhizia Yacine**, directeur du laboratoire de Biologie Moléculaire et Cellulaire, pour nous avoir permis de réaliser cette étude dans ce laboratoire.*

Enfin, un grand merci à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Merci à Allah, et prières et paix soient sur le Messager d'Allah.

Je dédie ce modeste travail à :

À mon cher père et guide dans cette vie,

Aucun mot ne peut exprimer pleinement mon respect, mon amour et ma reconnaissance pour tes sacrifices. Tu as toujours été un père exemplaire.

À ma chère mère, qui m'a appris la fermeté et l'espérance,

*Tes prières m'ont toujours accompagné où que je sois. Ta présence a toujours été ma source de force. Tu as toujours été une mère exemplaire.
Que Allah vous protège et prolonge votre vie.*

À mon cher frère Ahmed,

Aucun mot ne peut rendre justice à ma gratitude. Merci pour ton soutien et ta gentillesse. Ta présence m'a donné une force infinie.

À mes chères sœurs Assil et Israa,

Qui apportent constamment de la joie dans mon cœur, merci de me soutenir à chaque instant.

*À la famille de mon père, dirigée par mon grand-père et ma grand-mère,
et à la famille de ma mère, dirigée par ma grand-mère et mon cher grand-père qui nous a quittés pour toujours, rahimaho Allah.*

À ma collègue et binôme Malak dans ce travail,

Avec qui j'ai partagé les défis et les réussites de ce projet.

Ibtihel Hibet Errahmane

*Je dédie ce travail à toutes les personnes qui m'ont soutenu jour et nuit,
tout au long de mon parcours.*

*À mon père, **Abde El Baki**, qui a œuvré pour ma réussite par son amour,
son soutien et sa présence constante dans ma vie.*

*À ma mère, **Boucenna Fatima**, qui peut être fière de voir ici le résultat
de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer
dans la vie.*

*À mon adorable sœur **Sara**, pour son soutien moral et son affection,
ainsi qu'à son mari **Khaled**.*

*À mes chers frères : **Aymen, Chouaib et Akrame**.*

À toute ma famille, chacun en son nom.

*À tous mes amis, en particulier **Anouar**.*

*À mon binôme, **Ibtihel**.*

*À tous les enseignants qui m'ont accompagné tout au long de mon cursus
universitaire.*

Malek

Résumé

Abstract

المخلص

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction1

Revue bibliographique

Chapitre 1 : Sol désertique

1. Définition du désert.....	2
2. Caractères physiques, chimiques et climatiques des sols désertiques.....	3
2.1. Caractères physiques.....	3
2.1.1. Structure du sol.....	3
2.2. Caractères chimiques.....	3
2.2.1. Le pH.....	3
2.2.2. La salinité.....	3
2.3. Caractères climatiques.....	4
2.3.1. La précipitation.....	4
2.3.2. La température.....	4
2.3.3. Le vent.....	4
2.3.4. L'humidité.....	5
3. Biodiversité microbienne des sols désertiques.....	5
3.1. Microflore du sol désertique.....	5
3.1.1. Champignons.....	5
3.1.2. Bactéries.....	6
3.1.3. Algues.....	6

3.1.4. Protozoaires.....	7
3.1.5. Actinomycètes.....	7
3.2. Rôle des microorganismes dans le sol.....	8
Chapitre 2 : L’agriculture saharienne et l’utilisation des pesticides	
1. Définition.....	10
2. Historique.....	11
3. Utilité et utilisation des pesticides dans le monde et en Algérie.....	12
3.1. Utilisation mondiale.....	12
3.2. Utilisation en Algérie.....	13
4. Formulation.....	14
5. Classification des pesticides.....	15
5.1. Classification selon le type de l’organisme cible.....	15
5.1.1 Les fongicides	15
5.1.2. Les herbicides.....	15
5.1.3. Les insecticides.....	16
5.2. Classification selon la structure chimique.....	17
5.2.1. Les organochlorés.....	17
5.2.2. Les organophosphorés.....	17
5.2.3. Les carbamate.....	17
5.2.4. Les pyréthrinoïdes	17
5.3. Classification selon l’usage.....	18
5.4. Biopesticides.....	18
6. Effets des pesticides.....	18
6.1. Effets sur les eaux et la faune aquatique.....	18
6.2. Effets des pesticides sur les sols.....	19
6.3. Effets des pesticides sur la microflore du sol	19
6.4. Effets des pesticides sur la faune sauvage.....	19
6.5. Effets des pesticides sur les humains.....	20

6.6. Effets des pesticides sur la biodiversité.....	20
6.7. Effets sur les aliments.....	20
7. Comportement des pesticides dans l'environnement.....	21
7.1. La rétention.....	21
7.2. Dégradation des pesticides.....	22
7.2.1. Dégradation abiotique.....	22
7.2.2. Dégradation biotique.....	22
7.3. Transfert des pesticides.....	22
7.3.1. Transfert des pesticides vers les eaux souterraines.....	22
7.3.2. Transfert des pesticides vers l'atmosphère.....	23
8. Problème de Persistance des pesticides.....	23

Matériel et Méthodes

1. Echantillonnage.....	25
1.1. Situation géographique.....	25
1.2. Prélèvement des échantillons.....	24
2. Analyse physicochimique des échantillons de sol.....	26
2.1. Mesure du pH.....	26
2.2. Mesure de la conductivité électrique (CE) et de la salinité.....	26
2.3. Pourcentage d'humidité (Estimation de la matière sèche).....	27
2.4. Taux de la matière organique et minérale.....	27
3. Analyse de la biodiversité microbienne cultivable des échantillons de sol.....	27
3.1. Isolement.....	27
3.1.1. Préparation des dilutions.....	27
3.1.2. Ensemencement.....	28
3.2. Dénombrement.....	28
3.2. Purification.....	29

3.3. Conservation des isolats.....	29
4. Caractérisation morphologique.....	30
4.1. Etude macroscopique et caractères cultureux.....	30
4.2. Etude microscopique	30
Résultats et discussion	
1. Analyse physicochimique des échantillons de sol.....	32
2. Analyse de la biodiversité microbienne cultivable des échantillons de sol.....	35
2.1. Isolement et dénombrement.....	35
2.2. Caractérisation morphologique des isolats	39
2.2.1. Etude macroscopique et microscopique	39
Conclusion.....	52
Références bibliographiques.....	53
Annexes	

Résumé

L'oxyfluorène est un herbicide largement utilisé en pré- et post-émergence pour le contrôle des mauvaises herbes. Cette étude vise à examiner l'effet de cet herbicide sur la microflore microbienne des sols agricoles Sahariens. Une analyse physico-chimique a été menée pour évaluer la qualité et les caractéristiques de deux échantillons de sol de la région d'Oued Souf, l'un traité avec l'herbicide et l'autre non traité. Les résultats ont révélé que les deux échantillons possèdent un pH légèrement alcalin, une faible humidité, un faible taux de matière organique, et sont non salés. Le dénombrement sur milieu solide a montré une diminution du nombre de microorganismes dans le sol traité, avec la disparition de certains microorganismes, soulignant l'effet négatif de l'herbicide sur la biodiversité microbienne. Au total, 18 souches ont été isolées et purifiées : cinq bactéries, neuf actinobactéries et quatre moisissures, identifiées sur la base de leurs caractéristiques morphologiques.

Mots clés : Biodiversité microbienne, dénombrement, herbicide, isolement, oxyfluorène.

Abstract

Oxyfluorfen is a widely used herbicide for pre- and post-emergence weed control. This study aims to examine the effect of this herbicide on the microbial microflora of Saharan agricultural soils. A physico-chemical analysis was conducted to evaluate the quality and characteristics of two soil samples from the Oued Souf region, one treated with the herbicide and the other untreated. The results revealed that both samples have a slightly alkaline pH, low moisture content, low organic matter content, and are non-saline. Enumeration on solid media showed a decrease in the number of microorganisms in the treated soil, with the disappearance of certain microorganisms, highlighting the negative effect of the herbicide on microbial biodiversity. In total, 18 strains were isolated and purified: five bacteria, nine actinobacteria, and four fungi, identified based on their morphological characteristics.

Keywords: Microbial biodiversity, enumeration, herbicide, isolation, oxyfluorfen.

الملخص

الأوكسي فلورفين هو مبيد أعشاب يُستخدم على نطاق واسع للتحكم في الأعشاب الضارة قبل وبعد الإنبات. تهدف هذه الدراسة إلى فحص تأثير هذا المبيد على الميكروفلورا الميكروبية للتربة الزراعية الصحراوية. تم إجراء تحليل فيزيائي-كيميائي لتقييم جودة وخصائص عينتي تربة من منطقة وادي سوف، إحداهما معالجة بالمبيد والأخرى غير معالجة. أظهرت النتائج أن العينتين تتمتعان بدرجة حموضة قلوية قليلاً، ومحتوى منخفض من الرطوبة، ونسبة منخفضة من المادة العضوية، ولا تحتويان على ملح. أظهر التعداد على الوسط الصلب انخفاضاً في عدد الكائنات الدقيقة في التربة المعالجة، مع اختفاء بعض الكائنات الدقيقة، مما يبرز التأثير السلبي للمبيد على التنوع البيولوجي الميكروبي. في المجموع، تم عزل وتنقية 18 سلالة: خمس بكتيريا، تسع أكتينوبكتيريا، و أربع فطريات، تم تحديدها بناءً على خصائصها المورفولوجية.

الكلمات المفتاحية: التنوع البيولوجي الميكروبي، التعداد، مبيد الأعشاب، العزل، الأوكسي فلورفين.

BBM :	Milieu Bold's Basal
CE :	Conductivité électrique
DDT :	Dichloro-Diphényle-Trichloroéthane
dS/m :	décisiemens par mètre
E1 :	Sol non traité
E2 :	Sol traité
FAO :	Organisation Mondiale pour l'Alimentation et l'Agriculture
FTAM :	Flore Totale Aérobie Mésophile
g :	gramme
GC%:	Pourcentage de la guanine et la cytosine
GN :	Milieu Gélose Nutritive
ISP2 :	Milieu International <i>Streptomyces</i> Project 2
méq / 100g :	milliéquivalents pour 100 grammes
MO% :	Pourcentage de la matière organique
OMT :	Organisation Mondiale du Tourisme
pH :	Potentiel d'Hydrogène
POP :	Polluant organique persistant
UFC/g :	Unité Formant Colonie par gramme
µm :	Micromètre

Figure 1 : Dunes de Sable dans le désert du Sahara, Algérie (www.larousse.fr).....	2
Figure 2 : Historique de l'évolution des grandes classes de pesticides depuis les années 1900 (Severin, 2002).....	12
Figure 3 : Comportement des pesticides dans l'environnement (Atmo, 2017).....	21
Figure 4 : Carte représentant la situation géographique de la Wilaya d 'El-Oued Souf (Kadri et Chaouch, 2018).....	25
Figure 5 : Photographie représentant les échantillons du sol Saharien agricole non traité et traité par l'herbicide oxyfluorène.....	26
Figure 6 : Photographie représentant les dilutions décimales pour les deux échantillons du sol Saharien agricole.....	28
Figure 7 : Photographie représentant l'observation microscopique à l'état frais de quelques bactéries (Grossissement×40).....	41
Figure 8 : Photographie représentant l'observation microscopique des bactéries après coloration de Gram (Grossissement×100).....	42
Figure 9 : Photographie représentant l'aspect macroscopique des souches d'actinobactéries cultivé sur milieu ISP2.....	44
Figure 10 : Photographie représentant l'observation microscopique de quelques actinobactéries après coloration de Gram (Grossissement×100).....	45
Figure 11 : Photographie représentant l'observation microscopique de quelques actinobactéries après une culture sur lamelle (Grossissement ×100).....	46

Tableau 1 : Besoins normatifs et taux d'utilisation des pesticides en Algérie (MADR, 2015).....	14
Tableau 2 : Principaux codes internationaux et formulations correspondantes (Batsch, 2011).....	14
Tableau 3 : Classification des pesticides selon l'organisme nuisible ciblé (Yusoff et al., 2016).....	16
Tableau 4 : Résultats des analyses physico-chimiques des sols.....	32
Tableau 5 : Dénombrement des microorganismes dans le sol traité et non traité par l'herbicide oxyfluorfène.....	35
Tableau 6 : Répartition des isolats par type de microorganisme.....	35
Tableau 7 : Répartition des isolats dans les échantillons de sol et les milieux de culture.....	36
Tableau 8 : Caractéristiques macroscopiques des colonies des bactéries isolées.....	40
Tableau 9 : Caractéristiques microscopiques des bactéries à l'état frais.....	41
Tableau 10 : Caractéristiques microscopiques des bactéries après coloration de Gram	41
Tableau 11 : Caractéristiques macroscopiques des colonies des actinobactéries isolées.....	43
Tableau 12 : Aspect macroscopique et microscopique des moisissures	48
Tableau 14 : Echelle d'interprétation du pH des sols (Li et al., 2016).....	Annexe 3
Tableau 15 : Type de sol en fonction de la salinité et de la conductivité électrique (Richards, 1969).....	Annexe3
Tableau 16 : Classification des sols selon le pourcentage d'humidité et de matière organique (Lee et Hwang, 2002).....	Annexe 3

INTRODUCTION

Le Sahara, le plus grand désert du monde, se distingue par son aridité extrême, représentant des conditions désertiques parmi les plus rigoureuses (**Chehema, 2008**). Les sols arides, qui couvrent une vaste partie de la planète, se caractérisent par une pauvreté en éléments nutritifs (**Mathieu, 2009**). Ces sols des régions arides forment des habitats d'une complexité singulière. Ils contribuent à la production alimentaire et à la qualité des cultures (**Berkal, 2006**), mais leur faible teneur en nutriments essentiels rend la croissance des plantes difficile. Malgré ces défis, l'Algérie a entrepris de développer l'agriculture dans ces conditions difficiles (**Talhi, 2024**).

Pour soutenir l'agriculture dans le désert, des pesticides, également connus sous le nom de produits phytosanitaires, sont utilisés. Ces composés chimiques servent à éliminer les parasites tels que les insectes, les rongeurs, les champignons et les mauvaises herbes. Les pesticides offrent des avantages tels que la protection des cultures, la préservation des matières alimentaires et la prévention des maladies transmissibles (**Akashé et al., 2018**). Cependant, ils peuvent aussi avoir des effets néfastes sur les organismes non ciblés et peuvent aussi contaminer le sol, perturbant ainsi ses processus naturels à long terme. Les impacts des pesticides dépendent de leur concentration, de leur type, de leur durabilité et de leurs métabolites (**Margni et al., 2002**). Ils peuvent altérer les microorganismes du sol en réduisant leur quantité, leur fonction biochimique et leur diversité, tout en modifiant la composition de la communauté microbienne (**Cycon et Piotrowska-Seget, 2007**).

La microflore du sol, comprenant les bactéries, les champignons et les actinobactéries, joue un rôle crucial dans le contrôle des pesticides dans le sol et d'autres environnements naturels, principalement à travers des processus de biotransformation (**Djelouat et Mahdeb, 2019**).

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer l'effet de l'herbicide oxyfluorène sur la microflore d'un sol Saharien agricole. Pour ce faire, deux échantillons ont été prélevés dans la région d'Oued Souf: l'un traité avec le pesticide et l'autre non traité. L'analyse des caractéristiques morphologiques des isolats a été réalisée à travers des observations macroscopiques et microscopiques.

**REVUE
BIBLIOGRAPHIQUE**

1. Définition du désert

À l'origine, le terme "désert" désignait uniquement l'absence de vie biologique. Progressivement, cette notion a été associée à un environnement caractérisé par l'aridité et la sécheresse (Chaibou, 2005 ; Alismail, 2018). Le mot "Sahara" évoque, dans son sens originel, des régions inexplorées et désertiques. Pour certains, il représente un vaste paysage vide, composé de dunes interminables et de rares oasis perdues dans l'immensité (Martin et Faure, 1980). Ce paysage est caractérisé par un assemblage de formations naturelles comprenant essentiellement des oasis, ergs, regs, sebkhas et montagnes.

Selon le dictionnaire Webster, le mot "désert" provient du latin "*desertum*", signifiant un lieu déserté, une étendue de terre inhabitée, une région à l'état naturel et sauvage, sèche et aride, principalement dépourvue d'arbres et souvent sablonneuse. Les régions arides ou semi-arides correspondent aux zones de la surface terrestre où les précipitations sont nulles ou insuffisantes, entraînant une végétation inexistante ou clairsemée. Ces terres produisent une végétation insuffisante pour subvenir aux besoins de la population humaine. L'insuffisance des précipitations par rapport à l'évaporation conduit à la formation de véritables déserts (Logan, 1968).

Les déserts sont décrits comme des régions particulièrement dépourvues de vie, où les conditions climatiques et les facteurs environnementaux sont extrêmes (Berkal, 2006 ; Makhalanyane *et al.*, 2015). Ils se caractérisent par une couverture végétale limitée, voire inexistante, et une faune rare (OMT, 2006).



Figure 1 : Dunes de Sable dans le désert du Sahara, Algérie (www.larousse.fr).

2. Caractères physiques, chimiques et climatiques des sols désertiques

Les sols sahariens peuvent abriter une grande variété de communautés microbiennes. Cependant, diverses caractéristiques physiques, chimiques et climatiques influencent le profil de ces communautés (Naoum, 2016).

2.1. Caractères physiques

2.1.1. Structure du sol

La structure des sols sahariens est stable, colloïdale et argileuse. Ces sols sont pauvres en éléments minéraux solubles, qui sont soit concentrés en surface, soit partiellement lessivés et accumulés (Aubert *et al.*, 1960).

La qualité structurale du sol est fortement influencée par son potentiel d'oxydoréduction. Ce potentiel détermine la nature et l'intensité de la population microbienne présente (Dommergues et Mangenot, 1970).

2.2. Caractères chimiques

2.2.1. Le pH

Le pH des sols désertiques est proche de la neutralité (Hatimi et Tahrouch, 2007). Il a un impact sur la composition microbienne, chaque type de microorganisme ayant des préférences de pH spécifiques. Par exemple, les bactéries et les actinomycètes prospèrent dans des sols neutres ou légèrement alcalins, tandis que les champignons préfèrent les sols acides (Dari, 2013). Ainsi, les bactéries, en particulier les actinomycètes, sont plus susceptibles d'être présentes dans les sols sahariens. De plus, le pH du sol influence les propriétés physico-chimiques du sol, ce qui modifie la biodisponibilité des éléments nutritifs (Calvet, 2013).

2.2.2. La salinité

Le taux de salinité a une grande influence sur l'évolution de la microflore du sol. En effet, une faible salinité favorise la prolifération des microorganismes (Dari, 2013). À l'inverse, une concentration élevée de sel augmente la pression osmotique, inhibant ainsi la croissance des microorganismes. Par conséquent, l'activité microbienne diminue dans les sols salins, entraînant une accumulation de matière organique non dégradée, ce qui affecte négativement la disponibilité des nutriments essentiels à la croissance des plantes (Karabi, 2017).

2.3. Caractères climatiques

2.3.1. La précipitation

Les précipitations constituent un facteur écologique d'importance fondamentale pour le fonctionnement et la répartition des écosystèmes terrestres (**Elhai, 1968**). Dans les régions sahariennes, les précipitations sont très faibles et irrégulières, mais parfois très violentes, surtout durant les saisons estivales orageuses (**Mediouni, 1997**). Les zones arides sont des régions où les précipitations sont inférieures à l'évapotranspiration pendant une période plus ou moins longue de l'année (**Robert, 1996**). Lorsque les précipitations augmentent, la biomasse microbienne augmente également (**Nielsen et Ball, 2015**).

2.3.2. La température

Le climat du Sahara se caractérise par des températures extrêmement élevées en journée et très basses la nuit (**Ben Dhia, 1998**). Bien que la surface du sol puisse dépasser les 70°C, les températures diminuent rapidement en profondeur pour atteindre un équilibre (**Chehma, 2005**). Dans les régions arides, la température du sol joue un rôle crucial dans la régulation de la croissance des microorganismes. Chaque espèce a un seuil en dessous duquel son activité est nulle, un optimum de température où son activité est maximale, et une température létale au-delà de laquelle elle est détruite. En général, la plupart des bactéries et des actinomycètes se développent entre 25 et 40 °C, tandis que les champignons préfèrent une température d'environ 26 °C (**Dari, 2013**).

2.3.3. Le vent

Le vent est la troisième composante du climat. C'est un facteur particulièrement actif et fréquent dans les régions arides désertiques, jouant un rôle considérable dans le façonnement, la formation et le modelage du relief saharien (**Capot-Rey, 1958**). Selon **Dajoz (1996)**, il a une action indirecte en modifiant la température et l'humidité, et il accroît la transpiration des plantes (**Elhai, 1968**). Les tempêtes de sable se produisent notamment dans les régions du Sahara et du Sahel en Afrique du Nord, ainsi que dans les déserts de Gobi et de Taklamakan en Asie (**An, 2012**). Ces effets se traduisent par le transport et l'accumulation de sable, le façonnement du relief saharien et l'évolution des sols en accentuant le déficit hydrique (**Chehma, 2005**). De plus, le vent peut avoir un impact important sur la qualité de l'air et la propagation des microorganismes en raison des petites particules qu'il transporte, notamment le sel, les bactéries et les spores fongiques (**An, 2012**).

2.3.4. L'humidité

La disponibilité de l'eau est le principal facteur de contrôle de l'activité, de la diversité et de la structure des communautés microbiennes dans les sols désertiques (An, 2012). Au Sahara, l'humidité est faible, ce qui se traduit par une activité microbienne limitée dans les sols secs. Cette activité augmente progressivement avec l'augmentation de la teneur en eau du sol (Morel, 1989 ; Chehema, 2005). Dari (2013) souligne que le manque chronique d'eau favorise la sélection de certains groupes microbiens, notamment les bactéries sporulantes, tandis que d'autres microorganismes parviennent à survivre à la dessiccation du sol (Karabi, 2017).

3. Biodiversité microbienne des sols désertiques

3.1. Microflore du sol désertique

La plupart des microorganismes se concentrent dans la couche supérieure du sol, bénéficiant d'une meilleure aération et d'une plus grande richesse en substances nutritives. Leur abondance décroît progressivement avec la profondeur. Ces microorganismes jouent un rôle crucial dans des processus clés tels que la régulation des cycles biogéochimiques, notamment ceux de l'azote, du carbone et du soufre (Dari, 2013).

Les organismes vivant dans le sol comprennent des bactéries, des champignons, des algues, les parties souterraines des plantes ainsi que divers animaux. Tous jouent un rôle essentiel dans la formation et l'évolution du sol (Gobat *et al.*, 2003).

L'activité des microorganismes dans les sols désertiques est grandement influencée par des éléments tels que la température, l'humidité et la présence de carbone organique. Parmi ces facteurs, l'humidité est particulièrement cruciale, limitant la variété, la configuration et l'activité des communautés microbiennes (Bhatnagar, 2005).

3.1.1. Champignons

Les champignons constituent un vaste groupe d'organismes, appartenant au règne des Fungi (du latin *fungus*, champignon) ou Mycètes (Macangro, 2012). Ils sont des organismes eucaryotes, thallophytes hétérotrophes et immobiles (Naam et Ferhat, 2019), désormais classés dans un règne distinct des procaryotes, des plantes et des animaux, connus sous le nom de Fungi. Ce règne comprend cinq phyla : *Basidiomycota*, *Ascomycota*, *Zygomycota*, *Glomeromycota* et *Chytridiomycota* (Brock *et al.*, 2007 ; Calvez, 2009).

Les champignons présentent deux formes d'organisation distinctes : les levures, qui sont unicellulaires, et la majorité des autres champignons, qui se développent sous forme de filaments microscopiques pluricellulaires, connus sous le nom d'hyphes. Ces hyphes croissent à partir de leurs extrémités, se ramifient de manière périodique et s'interconnectent occasionnellement, formant ainsi un réseau étendu appelé mycélium.

Les populations fongiques sont souvent hébergées dans les sols riches en matière organique (Ameur, 2014 ; Naam et Ferhat, 2019). Dans le Sahara, de nombreux genres fongiques ont été signalés, tels que *Penicillium*, *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Helminthosporium* et *Alternaria* (Marone et al., 2018).

3.1.2. Bactéries

Les bactéries sont le principal groupe de microorganismes présents dans les sols désertiques, tant en termes de nombre que de rôle fonctionnel (Messaoud, 2018). Elles se divisent en deux catégories principales : les bactéries autotrophes, qui utilisent le carbone sous forme minérale, et les bactéries hétérotrophes, qui utilisent le carbone sous forme organique (Clement et Lozet, 2011).

Les bactéries sont des organismes unicellulaires de formes variées. Leur classification est habituellement basée sur divers critères phénotypiques tels que la morphologie cellulaire (bâtonnets, coques, bacilles), la composition de la paroi cellulaire (Gram positif, Gram négatif), la présence d'endospores, la motilité et la disposition des flagelles, ainsi que sur des critères moléculaires (Lavelle et Spain, 2001).

Plusieurs études ont observé que les principaux phyla bactériens prédominants dans les sols désertiques sont les *Actinobactéries*, les *Protéobactéries* et les *Bacteroidetes* (Hatimi et Tahrouch, 2007 ; Bakelli, 2014 ; Wang, 2015).

3.1.3. Algues

Les algues, également appelées *Phycophytes*, tirent leur nom du grec "*phukos*" signifiant algue et "*phuton*" signifiant plante. Ce sont des organismes chlorophylliens de la classe des Thallophytes, caractérisés par leur capacité à effectuer la photosynthèse, les rendant ainsi autotrophes. Majoritairement présentes dans les milieux aquatiques (Roland et Vian, 1999), elles peuvent être mobiles ou attachées à un support. Leur taille varie considérablement, allant de moins d'un micromètre pour des espèces telles que

Prochlorococcus (0.5 µm) à plusieurs dizaines de mètres pour des géants comme *Macrocystis* (60 mètres) (**Leclerc, 2010**).

Les algues sont des organismes autotrophes, souvent unicellulaires (colonies filamenteuses) et abondantes dans le sol (**Soltner, 2005**). Elles sont localisées à la surface ou dans les larges fissures du sol (**Gobat et al., 2003**).

3.1.4. Protozoaires

Les protozoaires, mot dérivé du grec signifiant premier animal, sont des organismes unicellulaires microscopiques mesurant de 1 à 100 µm de diamètre. Ce sont des eucaryotes hétérotrophes qui ne possèdent pas de chlorophylle et se nourrissent soit par osmose dans le cas des formes parasites, soit par phagocytose pour les formes libres. Malgré leur unicellularité, ces organismes sont hautement spécialisés, capables d'accomplir toutes les fonctions vitales telles que le déplacement, la digestion, la respiration, l'excrétion des déchets et la reproduction. Les protozoaires habitent exclusivement dans les sols humides ou à l'intérieur d'autres organismes, tels que le mucus pulmonaire, l'intestin ou la panse de certains animaux (**Beaumont et al., 2004**).

3.1.5. Actinomycètes

Les Actinobactéries, également connues sous le nom d'Actinomycètes, sont des bactéries Gram-positif caractérisées par un contenu élevé en guanine-cytosine (GC%), généralement compris entre 60 et 70%. Cette particularité les distingue des autres types de bactéries (**Kitouni, 2007 ; Saker, 2015**). Elles se présentent généralement sous forme de filaments ramifiés, formant des colonies circulaires constituées d'hyphes. Ces microorganismes sont particulièrement notables pour leur capacité à produire des antibiotiques et la synthèse de nombreuses molécules bioactives (**Bourguignon et Bourguignon, 2015**).

Les déserts algériens abritent un potentiel important en Actinobactéries, notamment des genres peu fréquemment trouvés ailleurs, comme *Planomonospora*, *Planobispora*, *Nocardiopsis*, *Actinomadura* et *Saccharothrix*. Ces derniers se distinguent par leur capacité à produire une variété de nouvelles molécules antimicrobiennes (**Habibche, 2013**).

3.2. Rôle des microorganismes dans le sol

Les microorganismes présents dans le sol jouent un rôle majeur dans les cycles biogéochimiques, influençant l'efficacité des processus impliqués dans l'utilisation de la matière organique du sol (**Bowles *et al.*, 2014; Huang *et al.*, 2014**). Dans les sols désertiques, les microorganismes sont cruciaux pour capturer l'azote et le carbone atmosphériques (**Dommergues, 1999**). De plus, en l'absence de biomasse végétale significative, les microorganismes sont essentiels pour la production de carbone organique dans ces écosystèmes (**Macalady, 1996**).

Les champignons, grâce à la taille et à la structure de leur mycélium, peuvent transporter activement de grandes quantités d'eau et de substances d'une partie du sol à une autre (**Gobat, 2003**). Ils jouent un rôle crucial dans l'amélioration de la structure des sols, étant particulièrement efficaces dans la stabilisation des agrégats. Les champignons parviennent à lier les particules du sol par divers mécanismes (**Robert et Chenu, 1992**).

Les bactéries jouent un rôle important dans la formation des micro-agrégats et constituent une part significative de l'humine microbienne, la composante organique stable du sol. Leur longue durée de vie les rend essentielles dans divers processus biogéochimiques, tels que la minéralisation des matières organiques, la précipitation minérale et la conversion de certains composants organiques en humine (**Gobat *et al.*, 2003**).

D'après **Jeffery *et al.* (2013)**, les algues jouent un rôle significatif dans la composition microbienne du sol. Grâce à la photosynthèse, les algues colonisent rapidement les surfaces minérales non traitées, accélérant ainsi leur décomposition grâce à des substances qui les dissolvent. De plus, elles introduisent du carbone organique dans le sol, contribuant ainsi à sa structuration écologique. En formant de véritables croûtes protectrices contre l'érosion et l'évaporation, elles favorisent également l'installation des plantes (**Robert et Chenu, 1992**).

Les actinomycètes jouent un rôle essentiel dans la décomposition des substances organiques complexes et la production de vitamines (**Clement et Lozet, 2011**). Leur capacité à dégrader des composés difficiles, tels que la lignine et certains tannins présents dans la matière organique fraîche, est bien documentée (**Duchaufour, 2001**). Leur présence est souvent associée à un sol bien structuré et aéré (**Clement et Lozet, 2011**). Les actinomycètes sont bénéfiques pour une agriculture durable car elles peuvent être utilisées comme biofertilisants. Elles favorisent la croissance des plantes en améliorant la santé du sol grâce à divers mécanismes, tels que la solubilisation du phosphore et du potassium, la production de

composés chélateurs de fer, de phytohormones, et la fixation biologique de l'azote (**Jain et al., 2020**). De plus, les actinomycètes jouent un rôle protecteur en préservant les racines des plantes des attaques fongiques. Elles possèdent également la capacité de décomposer ou de réutiliser les toxines générées par les champignons toxiques, ce qui réduit la présence de ces substances dans les produits agricoles et alimentaires (**Lamari, 2006**).

Le désert représente un défi naturel majeur, avec l'Algérie abritant plus de 80 % de sa superficie totale sous forme de désert. Connue comme la région désertique la plus chaude du monde, cette étendue couvre plus de 3,5 millions de miles carrés. Les nutriments essentiels du sol y sont rares, rendant la croissance des plantes difficile. Malgré ces conditions ardues, l'Algérie n'a pas reculé face à ce défi et a entrepris de développer l'agriculture dans ces terres arides (**Talhi, 2024**).

Il est possible d'observer que, malgré les conditions climatiques difficiles du Sahara algérien, certaines régions, comme la wilaya d'El Oued, affichent un développement agricole remarquable. Cette réalité contredit l'idée préconçue selon laquelle le Sahara n'est pas propice à une agriculture florissante.

L'espace agricole dans la région d'El Oued se divise principalement en deux systèmes : le premier, ancien et répandu, appelé "Ghout", est caractéristique des palmeraies traditionnelles. Le second est un système plus récent où des terres sont attribuées collectivement ou privément pour leur mise en valeur. Cependant, depuis le développement de ce dernier, la production biologique a considérablement diminué, entraînant une expansion des superficies agricoles et un essor de l'agriculture conventionnelle. Cette transition a également accru l'utilisation de pesticides et d'engrais chimiques (**Saighi et al., 2022**).

1. Définition

Le mot "pesticide" provient de l'anglais "pest", qui englobe tout organisme nuisible à l'homme et à son environnement, tels que les virus, bactéries, champignons, vers, mollusques, insectes, rongeurs, oiseaux et mammifères, ainsi que du suffixe "-cide" du latin "*caedere*", signifiant tuer ou éliminer (**Louchahi, 2014**).

L'Organisation Mondiale pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO) décrit un pesticide comme étant toute substance ou combinaison de substances conçue pour prévenir, éliminer ou contrôler les ravageurs (végétaux ou animaux nuisibles, vecteurs de maladies humaines ou animales), ainsi que pour protéger les récoltes contre la détérioration lors du stockage et du transport, qu'elles soient appliquées avant ou après la récolte (**Bouhekouk, 2019**). Les pesticides sont composés d'éléments actifs ciblant les organismes visés, ainsi que d'adjuvants qui jouent le rôle de solvants, diluants ou émulsifiants. Il est à noter que ces adjuvants peuvent parfois être plus nocifs que les ingrédients actifs (**Viala et Botta, 2005**).

2. Historique

La lutte contre les organismes nuisibles aux cultures a toujours été une préoccupation majeure des agriculteurs. Historiquement, les méthodes prédominantes étaient principalement physiques, telles que le ramassage des larves, des œufs et des insectes adultes, ainsi que la destruction des plantes malades par le feu, le désherbage manuel et mécanique. Malgré cela, l'utilisation de produits chimiques remonte à loin, comme en témoignent les références à l'emploi du soufre par Homère et à celui de l'arsenic par Pline l'Ancien (**Calvet *et al.*, 2005**).

Au 15^{ème} siècle, en Chine et en Europe, des substances chimiques nocives et non dégradables, telles que le cuivre utilisé dans la bouillie bordelaise, l'arsenic, le mercure et le plomb, étaient employées pour éliminer les nuisibles et les maladies fongiques des cultures (**Riche, 1982**). À partir du 17^{ème} siècle, les agriculteurs ont adopté des pesticides naturels issus de plantes aux propriétés insecticides puissantes, comme le sulfate de nicotine extrait du tabac (**Riche, 1982**).

Un moment crucial dans l'histoire des pesticides est la découverte du dichloro-diphényle-trichloroéthane (DDT) comme potentiel pesticide organique synthétique par Paul Hermann Müller en 1939, ce qui lui a valu plus tard le prix Nobel. Pendant la Seconde Guerre mondiale (1939-1945), le développement des pesticides a été accéléré pour améliorer la production alimentaire et trouver des agents de guerre chimique potentiels. En conséquence, des pesticides synthétiques comme le DDT, l'aldrine, la dieldrine, l'endrine, le parathion et l'acide 2,4-dichlorophénoxyacétique (2,4-D) ont été largement utilisés dans les années 1940 (**Gyawali, 2018**).

Après 1950, l'utilisation des produits phytosanitaires a connu une expansion significative, principalement en raison de la recherche de rendements agricoles plus élevés et de meilleure qualité. Des insecticides particulièrement efficaces, tels que le malathion et le parathion, appartenant aux familles chimiques des organophosphorés et des carbamates, ont été découverts. La même période a également vu l'émergence de nombreux fongicides organiques, incluant diverses familles chimiques comme les strobilurines et les benzimidazoles. De plus, les herbicides ont connu un développement majeur avec l'introduction d'urées substituées telles que le linuron et le diuron. Dans les années 1970-80, une nouvelle classe d'insecticides, les pyréthrinoïdes, est apparue, dominant ainsi le marché des insecticides (**Louchahi, 2014**).

	HERBICIDES	FONGICIDES	INSECTICIDES
Avant 1900	Sulfate de cuivre Sulfate de fer	Soufre	Nicotin
1900-1920	Acide sulfurique	Sels de cuivre	Sels d'arsenic
1920-1940	Colorants nitrés		
1940-1950	Phytohormones...		Organochlorés Organophosphor
1950-1960	Triazines, urées Substituées,	Dithiocarbamates Phtalimides	
1960-1970	Dipyridyles, Toluidines...	Benzimidazoles	
1970-1980	Amino-phosphonates Propionates	Triazoles Dicarboximides Phosphites Morpholines Phénylamides	Pyréthroïdes Benzoyl-urées (régulateurs de croissance)
1980-1990	Sulfanyl urées...	Diéthofencarbés	Imidaclopride
1990-2000	Isoxaflutole Carfentrazone	Strobilurines	Fipronil

Figure 2 : Historique de l'évolution des grandes classes de pesticides depuis les années 1900 (Severin, 2002).

3. Utilité et utilisation des pesticides dans le monde et en Algérie

Les pesticides sont largement considérés comme un outil crucial dans la lutte contre les parasites agricoles, permettant ainsi de réduire les dommages aux cultures et d'augmenter la productivité agricole. Leur utilisation s'étend également à diverses industries pour protéger les produits manufacturés tels que le papier et le textile, ainsi que pour prévenir la détérioration du bois par les insectes xylophages. De plus, les pesticides jouent un rôle important dans la maîtrise des vecteurs de maladies telles que le paludisme et le typhus, notamment les moustiques anophèles (Abubakar *et al.*, 2020).

3.1. Utilisation mondiale

Au cours des dernières années, l'utilisation des pesticides est devenue incontournable dans la majorité des pratiques agricoles, indépendamment du niveau de développement économique des pays. De 1945 jusqu'à la fin du siècle, la demande mondiale de pesticides a augmenté de manière significative dans tous les pays (Bouziani, 2007).

Le marché mondial des pesticides, d'une valeur d'environ 40 milliards de dollars, a maintenu une stabilité depuis les années 2000. Les États-Unis dominent en tant que premier consommateur mondial, suivis par l'Inde, la France (le principal consommateur européen) et l'Allemagne (**Bousta et al., 2018**).

En 2019, le revenu généré par le marché des pesticides s'élevait à 84,5 milliards de dollars et devrait atteindre 130,7 milliards de dollars d'ici 2023, selon une étude de The Business Research Company réalisée en 2020. Chaque année, environ 2 millions de tonnes de pesticides sont utilisées à l'échelle mondiale, avec une estimation de 3,5 millions de tonnes d'ici 2021. La répartition de la consommation mondiale de pesticides est la suivante : environ 47,5 % pour les herbicides, 29,5 % pour les insecticides, 17,5 % pour les fongicides, et les 5,5 % restants pour d'autres types de produits. Les dix principaux pays consommateurs de pesticides comprennent la Chine, les États-Unis, l'Argentine, la Thaïlande, le Brésil, l'Italie, la France, le Canada, le Japon et l'Inde (**Sharma et al., 2019**).

3.2. Utilisation en Algérie

Au cours de la dernière décennie, l'agriculture en Algérie a enregistré une croissance notable en termes de production et de rendement, ainsi que dans l'utilisation de pesticides. Bien que ces produits chimiques soient réglementés et approuvés par le ministère de l'Agriculture algérien, certains agriculteurs les utilisent de manière plus fréquente et intensive que ce qui est recommandé afin d'optimiser leur production (**Saidel et al., 2017**).

Les enquêtes menées auprès des agriculteurs et des revendeurs en Algérie ont révélé que l'utilisation de pesticides est faible par rapport aux pays développés. Les fongicides et les insecticides sont les types de pesticides les plus couramment utilisés, contrairement aux pays développés où les herbicides sont plus répandus. Malgré cette faible utilisation, un taux relativement élevé de cas d'allergie a été observé parmi les utilisateurs de pesticides, en raison du non-respect des mesures de protection et des recommandations d'utilisation (**Djellouli, 2013**).

Tableau 1 : Besoins normatifs et taux d'utilisation des pesticides en Algérie (MADR, 2015).

Type de pesticides	Besoins normatifs	Ventes moyennes annuelles	Taux d'utilisation des pesticides
Fongicides	30 000 Tonnes	4 663 Tonnes	15 %
Insecticides	186 000 Tonnes	3 685 Tonnes	20 %
Herbicides	3 208 Tonnes	577 Tonnes	18%

4. Formulation

La formulation d'un pesticide désigne la présentation physique sous laquelle le produit phytosanitaire est commercialisé. Elle résulte de la combinaison des substances actives avec des adjuvants, prenant diverses formes solides ou liquides selon les besoins d'utilisation (Amara, 2013).

La formulation des pesticides est généralement prête à l'emploi. Le fonctionnement de cette formulation dépend de plusieurs facteurs tels que la nature de la cible, la persistance de la substance dans l'environnement, la facilité d'application et, surtout, la minimisation de la toxicité du produit (Fardjallah, 2018). Les principaux types de formulation sont présentés dans le **tableau 2**.

Tableau 2: Principaux codes internationaux et formulations correspondantes (Batsch, 2011).

Code international	Type de formulation
D	Poussière ou poudre
DF	Pâte granulée
E ou EC	Concentré émulsifiable
F	Suspension concentrée
GR	Granulé
P	Pastille
SN	Solution
SC	Concentré pulvérisable
SP	Poudre soluble
WDG	Granulé soluble

WP	Poudre mouillable
WS	Concentré soluble dans l'eau

5. Classification des pesticides

Les pesticides sont catégorisés en fonction de plusieurs critères, incluant leur toxicité (effets nocifs), les organismes ciblés, leur composition chimique, leur mode d'entrée, d'action, de fonctionnement, ainsi que leurs formulations et leurs origines (**Akashe et al., 2018**).

5.1. Classification selon le type de l'organisme cible

5.1.1. Les fongicides

Les fongicides sont des substances utilisées pour lutter contre les champignons, en particulier les moisissures, qui sont des parasites des plantes et causent des maladies cryptogamiques. Leur objectif est de protéger les cultures, les récoltes et même les semences (**Arkoub, 2012**). Ils se divisent principalement en deux groupes : les fongicides organiques, généralement des produits synthétiques avec une variété de structures chimiques, et les fongicides minéraux, comprenant ceux à base de cuivre et de soufre (**Boland et Florijn, 2004**).

Les fongicides agissent de différentes manières, telles que l'altération des processus respiratoires, l'inhibition de la division cellulaire, la perturbation de la biosynthèse des stérols, l'inhibition de la biosynthèse des acides aminés ou des protéines, ainsi que l'impact sur le métabolisme des glucides et des polyols (**Louchahi, 2015**).

5.1.2. Les herbicides

Les produits herbicides, parfois désignés sous le terme de désherbants, consistent en des substances actives ou des formulations spécifiques ayant pour effet de détruire les plantes ou de restreindre leur croissance, qu'elles soient ligneuses ou herbacées. Au cours des cinquante dernières années, les herbicides de synthèse ont connu une augmentation remarquable de leur utilisation, devenant les pesticides les plus couramment employés dans les pays développés, dépassant ainsi les insecticides en termes de volume utilisé (**Tahar, 2016**).

Les herbicides sont les pesticides les plus largement utilisés dans le monde pour lutter contre les plantes concurrentes avec les cultures principales. Leur fonction principale est de

ralentir la croissance des plantes non désirées en agissant de différentes manières, telles que la perturbation de la régulation hormonale, de la photosynthèse, de la division cellulaire, ou encore de la synthèse des lipides, de la cellulose ou des acides aminés (Aloui, 2019).

5.1.3. Les insecticides

Les insecticides sont des substances actives ou des préparations conçues pour éliminer les insectes (Cruz, 1989). Ils se regroupent généralement en trois catégories principales : les organophosphorés, les carbamates et les pyréthrinoïdes de synthèse. Leur mode d'action repose sur la perturbation du système nerveux, de la respiration cellulaire, de la formation de la cuticule ou de la perturbation de la mue (Tahar, 2016).

Outre ces trois grandes familles de pesticides mentionnées ci-dessus, il existe d'autres catégories, comme indiqué dans le **tableau 3**.

Tableau 3 : Classification des pesticides selon l'organisme nuisible ciblé (Yusoff *et al.*, 2016).

Type de pesticide	Exemple	Organisme cible/Fonction
Avicide	Avitrol	Tue les oiseaux
Acaricide	Bifenazate	Tue les acariens
Attractant	Phéromone	Attire un large éventail de parasites
Algaecide	Sulfate de cuivre	Contrôle la croissance des algues
Bactéricide	Complexe de cuivre	Agit contre les bactéries
Lampricide	Trifluorométhyl	Cible les larves de lamproies
Larvicide	Méthoprène	Inhibe la croissance des larves
Molluscicide	Métaldéhyde	Inhibe ou tue les mollusques
Nematicide	Aldicarb, Ethoprop	Tue les nématodes
Piscicide	Roténone	Agit contre les poissons
Prédacide	Strychnine	Prédateur de mammifères
Rodenticide	Warfarin	Lutte contre les souris et autres rongeurs
Termiticide	Fipronil	Tue les termites
Virucide	Scytovirin	Agit contre les virus

5.2. Classification selon la structure chimique

Les pesticides sont souvent catégorisés en fonction de leur substance active, c'est-à-dire leur groupe chimique. On peut les diviser en pesticides organochlorés, organophosphorés, carbamates et pyréthrinoïdes (Garcia *et al.*, 2012).

5.2.1. Les organochlorés

Également appelés hydrocarbures chlorés, les pesticides organochlorés sont principalement constitués de carbone, de chlore et d'hydrogène (Satish *et al.*, 2017). Ils représentent parmi les premiers pesticides synthétisés et sont largement employés dans l'agriculture. Ces produits chimiques ont tendance à persister dans l'environnement sur le long terme et sont utilisés pour contrôler une grande variété d'insectes (El Nemr et El-Sadaawy, 2016). Quelques exemples de ces pesticides incluent le DDT, le lindane, l'endosulfan, l'aldrine, la dieldrine, l'heptachlore, le toxaphène et le chlordane (Glayaraj *et al.*, 2016).

5.2.2. Les organophosphorés

Les organophosphorés sont des pesticides dérivés de l'acide phosphorique, connus pour leur efficacité contre un large éventail de ravageurs, de mauvaises herbes et de maladies des plantes. Ils agissent en tant qu'inhibiteurs de l'acétylcholine cholinestérase, perturbant ainsi la transmission des impulsions nerveuses à travers les synapses. Cette perturbation entraîne une contraction rapide des muscles volontaires, conduisant éventuellement à la paralysie et à la mort des organismes ciblés. Parmi les insecticides organophosphorés couramment utilisés, on trouve le parathion, le malathion, le dichlorvos, le diazinon et le glyphosate (Abubakar *et al.*, 2020).

5.2.3. Les carbamates

Les carbamates sont des composés organiques contenant une fonction ester ou un amide substitué de l'acide carbamique. Ils agissent en tant qu'inhibiteurs du cholinestérase, fonctionnant de manière similaire aux organophosphorés. Contrairement à d'autres classes de pesticides, ils présentent une biodégradabilité plus élevée, ce qui réduit leur persistance dans l'environnement (Ben Salem, 2015).

5.2.4. Les pyréthrinoïdes

Les pyréthrinoïdes sont des composés synthétiques ou des analogues des alcaloïdes naturels comme les pyréthrines 1 et 2, la cénérine 1 et 2, ainsi que la jasmoline 1 et 2, qui

peuvent être extraits de la fleur jaune du *Chrysanthemum cinerariaefolium*. Leur utilisation remonte en Chine dès le premier siècle de notre ère (**Testud et Giellet, 2007**).

Les pyréthrinés subissent un processus de broyage afin de générer les principaux composants actifs, notamment la pyréthrine I, la pyréthrine II, ainsi que des quantités moindres de cinérines et de jasmolines associées (**Yadav et Devi, 2017**).

5.3. Classification selon l'usage

Les pesticides se répartissent en six catégories en fonction de leur utilisation spécifique : Pour les cultures agricoles ; Pour les installations d'élevage ; Pour les espaces de stockage des récoltes ; Pour les zones non agricoles ; Pour les bâtiments résidentiels ; Pour la protection de la santé humaine et animale (**Calvet et al., 2005**).

5.4. Biopesticides

Les biopesticides sont des produits naturels qui agissent comme des pesticides, mais sont biodégradables et ne nuisent pas aux organismes non ciblés. Ils peuvent provenir de sources biochimiques, végétales ou microbiennes (**Meleiro Porto et al., 2011**).

6. Effets des pesticides

6.1. Effets sur les eaux et la faune aquatique

La pluie joue un rôle majeur dans l'introduction des pesticides dans les cours d'eau. En effet, elle transporte ces produits à travers les différentes couches de sol jusqu'aux nappes phréatiques, entraînant ainsi la détection simultanée de plusieurs pesticides. De ce fait, on observe deux modes de contamination : la contamination diffuse, due à une dispersion sur une large zone, et la contamination ponctuelle (**Agoussar, 2017**).

L'utilisation excessive ou inappropriée de produits phytosanitaires peut entraîner une contamination des cours d'eau, ce qui peut avoir des effets néfastes sur les écosystèmes aquatiques, notamment en entraînant la mort ou la diminution des populations de poissons, de mollusques, de crustacés, d'algues et de plantes aquatiques. Cette contamination peut perturber l'équilibre écologique et avoir des répercussions sur la biodiversité et la qualité de l'eau (**Aissaoui, 2013**).

6.2. Effets des pesticides sur les sols

Les pesticides exercent un impact significatif sur les sols, qui comptent parmi les écosystèmes les plus vulnérables à leur propagation. Leur présence dans cet environnement est conditionnée par leur forme physique. Sous forme solide, ils adhèrent au sol, persistant parfois pendant des années et entraînant ainsi la contamination des sols (**Berrah, 2011**).

Lors de la pulvérisation des pesticides, plus de 90 % de la quantité utilisée ne parvient pas à atteindre les ravageurs ciblés. La majeure partie de ces produits finit ainsi par se retrouver dans les sols, où ils subissent diverses transformations. Les sols jouent ainsi un rôle crucial dans l'environnement en servant de principale voie de transfert pour ces contaminants agricoles, influant grandement sur leur devenir. Les risques environnementaux sont amplifiés lorsque ces produits sont utilisés en grandes quantités sur de vastes surfaces, qu'ils sont persistants et qu'ils se déplacent facilement dans les sols (**Ais et Ouamrane, 2018**).

6.3. Effets des pesticides sur la microflore du sol

L'activité de la microflore du sol revêt une importance cruciale pour maintenir sa fertilité. Elle opère la conversion des composés organiques en formes inorganiques d'azote, essentielles à la croissance des plantes, tout en favorisant la fixation de l'azote atmosphérique par les bactéries. Cependant, l'utilisation de pesticides peut perturber cette activité, engendrant une diminution de la fertilité du sol et compromettant ainsi sa santé. Certains pesticides, tels que le rynaxypyr, le cartap rochlorure, le fipronil et le chlorpyrifos, semblent avoir peu d'effet sur les populations de collemboles, mais d'autres, comme le carbofuran et le phorate, ont été associés à des réductions significatives pouvant aller jusqu'à 27,65 % dans les cultures de riz et de maïs (**Sujatha et al., 2021**).

6.4. Effets des pesticides sur la faune sauvage

Les pesticides et les rodenticides sont des outils efficaces pour contrôler les populations de nuisibles tels que les souris, les rats, les termites et les mauvaises herbes, mais leur utilisation comporte des risques pour la faune. Des espèces non ciblées telles que les faucons, les hiboux, les écureuils, les mouffettes, les cerfs, les coyotes, les renards, les pumas et les lynx roux peuvent être tués par ces produits chimiques, soit en les ingérant directement, soit en consommant des proies contaminées. De plus, les pesticides peuvent perturber les systèmes hormonaux des animaux, affectant ainsi leur comportement et leur

capacité de reproduction. Certains pesticides persistants demeurent longtemps dans l'environnement, ce qui accroît les risques pour la faune (**Dolan et Mannan, 2009**).

6.5. Effets des pesticides sur les humains

Les hommes peuvent être exposés aux pesticides de deux manières : directement lors de leur utilisation ou indirectement par la présence de résidus dans divers environnements tels que l'air, l'eau, le sol, et dans les aliments (**Dugeny, 2010**). Cette exposition peut se faire par inhalation, contact cutané ou ingestion d'aliments contaminés (**Mari, 2018**).

L'infiltration des pesticides dans les sols et les sources d'eau représente une menace pour l'homme, étant donné leur implication présumée dans diverses maladies telles que l'asthme, la maladie de Parkinson et certains cancers. Ces produits chimiques sont également soupçonnés de perturber le système hormonal, affectant le système nerveux et la fertilité. De plus, leur présence a été détectée dans divers tissus corporels humains, notamment le cerveau, le sang, le lait maternel, le foie, le sperme, ainsi que dans le sang du cordon ombilical (**Conso et al., 2002**).

6.6. Effets des pesticides sur la biodiversité

Les pesticides sont devenus le principal agent de contamination environnementale en raison de leur utilisation massive. Après leur dispersion dans l'environnement, certains pesticides se dégradent rapidement, tandis que d'autres persistent sur une période prolongée, s'accumulant dans le sol et l'eau, ce qui nuit à la biodiversité (**Arya, 2021**).

6.7. Effets sur les aliments

L'utilisation généralisée des pesticides dans l'agriculture moderne vise à protéger les cultures des ravageurs et des maladies, ce qui contribue à améliorer la productivité. Cependant, cette pratique a des implications au-delà de la lutte antiparasitaire, affectant la qualité des récoltes et la sécurité alimentaire. Les recherches menées par Smith et ses collègues illustrent les effets divers d'une exposition prolongée aux pesticides sur les cultures. Leur étude met en évidence la sensibilité de la qualité des cultures à certains pesticides, tels que les organophosphates, qui altèrent les profils aromatiques et gustatifs. Par exemple, les tomates traitées avec ces pesticides présentaient des altérations de saveur perceptibles et une diminution des nutriments, soulevant des préoccupations quant à la valeur nutritionnelle des produits traités (**Boleng, 2023**).

7. Comportement des pesticides dans l'environnement

La plupart des pesticides utilisés dans le traitement des cultures finissent par atteindre le sol, que ce soit par une application directe ou par le lessivage des feuilles des plantes par la pluie. Par conséquent, le sol joue un rôle crucial dans la régulation de la dispersion des pesticides dans l'environnement, agissant à la fois comme un réservoir et un système d'épuration pour ces substances chimiques (**Barriuso et al., 1996**).

En règle générale, le destin des pesticides dans le sol implique trois processus principaux : la rétention, la dégradation et les transferts (**Calvet et Charnay, 2002**).

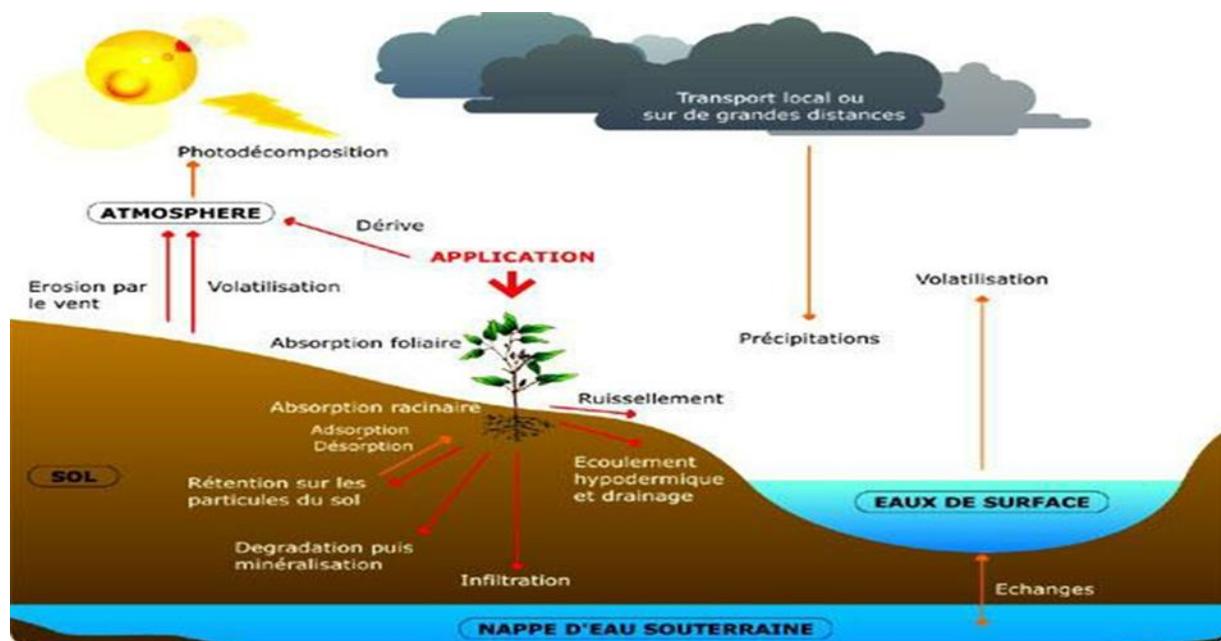


Figure 3 : Comportement des pesticides dans l'environnement (Atmo, 2017).

7.1. La rétention

La rétention des pesticides dans le sol est un processus qui immobilise les molécules, qu'elles proviennent de la phase gazeuse ou de la phase liquide, réduisant ainsi leur mobilité et limitant leur transfert vers l'air ou l'eau, ce qui peut être considéré comme une forme d'immobilisation (**Aubertot et al., 2011**).

La rétention des pesticides sur la phase organo-minérale du sol joue un rôle crucial dans la réduction des risques de pollution par les transferts hydriques. Elle conditionne également la disponibilité des pesticides pour leur dégradation. En effet, la forte rétention par

les matières organo-minérales diminue la mobilité des substances et favorise leur dégradation (Aubertot, 2005).

7.2. Dégradation des pesticides

La dégradation des pesticides représente un processus essentiel dans leur évolution dans le sol au fil du temps, contribuant significativement à leur dispersion et à leur élimination des environnements naturels (Calvet *et al.*, 2005). Ce phénomène résulte de multiples réactions chimiques qui altèrent la composition et la configuration moléculaire des substances introduites dans le sol (Louchahi, 2014).

Toutefois, dans les processus de dégradation, on peut faire une distinction entre la dégradation abiotique, qui n'est pas liée à des organismes vivants, et la dégradation biologique, qui est la dégradation par des organismes vivants (Louchahi, 2014).

7.2.1. Dégradation abiotique

La dégradation abiotique implique les processus qui se produisent dans la solution du sol ou à la surface des colloïdes. Ces réactions se produisent sous l'influence des rayons solaires (réactions photochimiques) dans le sol ou par hydrolyse dans l'eau. Elles entraînent la perte de l'activité biocide spécifique de la substance active et la formation de nouvelles structures chimiques dans l'environnement (Scheunert, 1992 ; Arias-Esévez, 2008).

7.2.2. Dégradation biotique

La dégradation biotique implique la décomposition des matières organiques par des micro-organismes tels que les bactéries et les champignons, grâce à leur activité enzymatique dans le sol. Des conditions favorables telles qu'une bonne aération, une teneur élevée en matière organique et une humidité adéquate stimulent le développement des micro-organismes, accélérant ainsi ce processus (Bérard et Pelte, 1999).

7.3. Transfert des pesticides

7.3.1. Transfert des pesticides vers les eaux souterraines

Certains pesticides présentent une stabilité notable, et lorsqu'une quantité importante de ces produits est utilisée, une partie significative finit souvent par se retrouver dans le sol. Ils peuvent alors s'accumuler avant d'être transportés vers les nappes d'eaux souterraines, les lacs et les cours d'eau (Lindquist, 2000).

- **La lixiviation**

Dans un contexte où l'eau n'est pas complètement saturée, la lixiviation permet le transfert des pesticides vers les nappes souterraines lors de l'infiltration. Son importance varie en fonction de la répartition entre l'écoulement superficiel et l'infiltration. Les méthodes d'infiltration de l'eau sont influencées par les propriétés du sol, ce qui explique les disparités observées entre les échantillonnages des piézomètres adjacents (Calvet *et al.*, 2005).

- **Le transport particulaire**

Le transport particulaire des molécules de pesticides est un phénomène qui peut être facilité par leur association avec des particules colloïdales minérales ou organiques. Ces substances peuvent être transportées jusqu'aux nappes phréatiques, où elles peuvent être fixées par des composés organiques colloïdaux présents dans le sol ou provenant d'autres sources telles que les lixiviats de décharges. Cela peut accroître leur solubilité apparente dans l'eau et faciliter leur transfert vers les eaux souterraines (Amadou, 2013).

7.3.2. Transfert des pesticides vers l'atmosphère

Le déplacement des molécules dans l'atmosphère peut se produire lors de l'application, influencé par les techniques, les formulations et les conditions météorologiques. De plus, la volatilisation joue un rôle majeur, touchant d'abord les substances en surface du sol et des plantes, mais pouvant également affecter les substances dans le sol si elles sont hautement volatiles (Calvet et Chamay, 2002). Ce transfert se déroule en deux temps et peut être consécutif à un processus de volatilisation ou par érosion éolienne (Amadou, 2013).

8. Problème de Persistance des pesticides

La persistance d'un pesticide dans le sol est une préoccupation environnementale majeure, car elle peut entraîner des effets néfastes sur les organismes vivants et l'écosystème dans son ensemble (Calvet *et al.*, 2005).

La persistance des pesticides est évaluée en fonction de leur demi-vie de dégradation (DT50), qui représente le temps nécessaire pour que la moitié de la quantité initiale soit dégradée. Les pesticides peu persistants ont une DT50 de moins de six mois, tandis que les pesticides persistants, classés comme des polluants organiques persistants (POP), ont une DT50 de plus de six mois. Les pesticides persistants posent des risques plus élevés pour la biosphère et les êtres vivants, car ils sont plus mobiles. La température et la teneur en eau du

sol influent sur le taux de dégradation, ce dernier étant généralement plus élevé à des températures plus élevées et avec une plus grande teneur en eau du sol. En revanche, la persistance des pesticides peut être prolongée dans un sol sec (**Hayo, 1996 ; Mamy *et al.*, 2008**).

MATÉRIEL ET MÉTHODES

1. Echantillonnage

1.1. Situation géographique

Les échantillons de sol sableux agricoles ont été prélevés dans la région d'El-Oued Souf, située au sud-est de l'Algérie, plus précisément dans la commune de Hassi Khelifa, entre Al-Dabila et Al-Talib Al-Arabi. Elle est délimitée par les coordonnées géographiques suivantes : longitudes 05°30' et 07°00' Est et latitudes 35°30' et 37°00' Nord.

La zone d'étude est l'une des principales oasis du Sahara septentrional algérien. Elle se trouve à une distance de 650 km de la capitale, au nord-est du Sahara septentrional, et à 350 km à l'ouest de Gabès (Tunisie). Elle occupe une superficie de 44 586 km², représentant 1,87 % de la superficie du territoire national (ANDI, 2014).

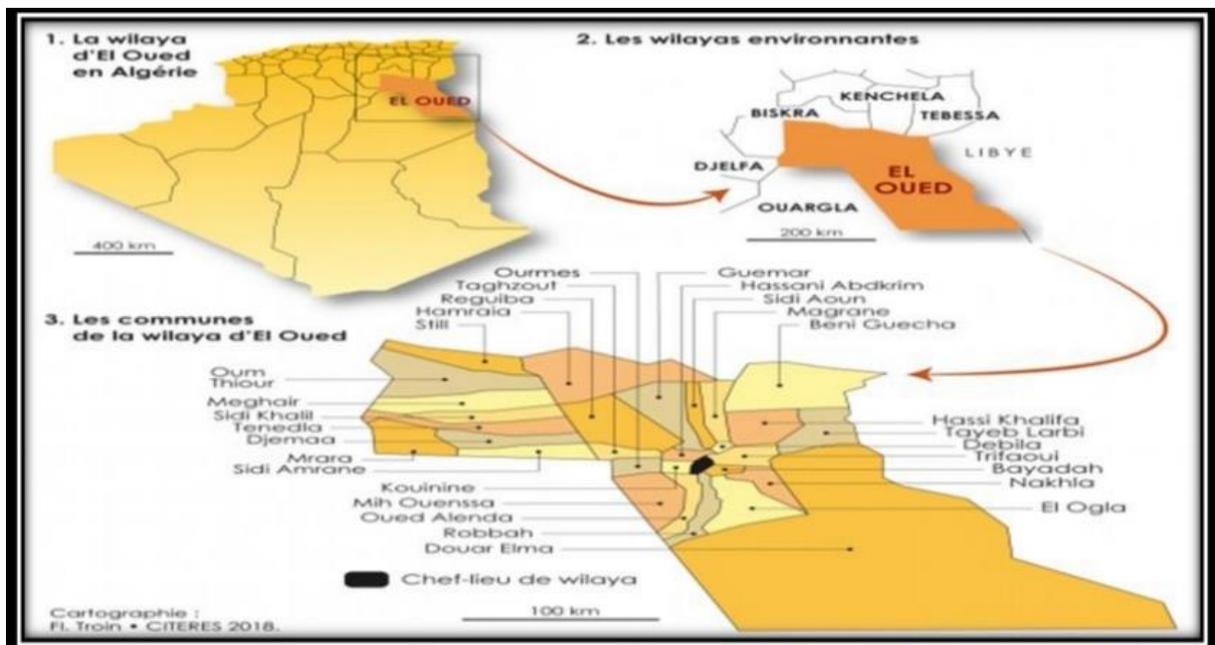


Figure 4: Carte représentant la situation géographique de la Wilaya d'El-Oued Souf (Kadri et Chaouch, 2018).

1.2. Prélèvement des échantillons

Deux échantillons de sol Saharien agricole ont été prélevés : le premier provient d'un sol non traité par les pesticides (E1), tandis que le second provient d'un sol traité avec le pesticide Hadaf dont la matière active est l'oxyfluorène (E2). Les prélèvements ont été effectués à l'aide d'une spatule stérile. Les cinq premiers centimètres de la couche superficielle ont été écartés, et les échantillons ont été prélevés dans la couche sous-jacente, entre 5 et 30 centimètres de profondeur, en éliminant les gros débris tels que les pierres et les racines. Le prélèvement a eu lieu le 10 novembre 2023.

Les échantillons ont été placés dans des sacs en polyéthylène stériles pour minimiser les pertes d'humidité pendant le transport. Les sacs ont été hermétiquement fermés, étiquetés, puis transportés et conservés à une température de 4 °C jusqu'à leur analyse ultérieure (Mokrane *et al.*, 2020). Ensuite, les échantillons ont été transférés de manière aseptique dans des bocaux en verre stériles et hermétiquement fermés.



Figure 5 : Photographie représentant les échantillons du sol Saharien agricole non traité et traité par l'herbicide oxyfluorfen.

2. Analyse physicochimique des échantillons du sol

2.1. Mesure du pH

Vingt grammes de sol sont mélangés avec 50 ml d'eau distillée. Après une agitation de 30 minutes à l'aide d'un agitateur magnétique, le pH est mesuré à l'aide d'un pH-mètre (Smati, 2020).

2.2. Mesure de la conductivité électrique (CE) et de la salinité

Vingt grammes de sol sont mis en suspension dans 100 ml d'eau distillée, puis agités dans un agitateur culbuteur pendant une heure, suivis de 30 minutes de repos pour permettre la sédimentation. Le liquide surnageant est ensuite transféré dans un bécher, où sa conductivité est mesurée à l'aide d'un conductimètre de type WTW. La salinité est évaluée en multipliant la conductivité par cinq (Smati, 2020).

2.3. Pourcentage d'humidité (Estimation de la matière sèche)

Les échantillons de sol sont chauffés dans un four Pasteur à une température constante de $105 \text{ °C} \pm 5 \text{ °C}$ jusqu'à ce qu'ils atteignent un poids stable. La différence de poids avant et après le séchage indique la quantité d'eau présente dans l'échantillon initial. Le poids après le

séchage correspond à la matière sèche. Le pourcentage d'humidité est calculé selon la relation suivante (Lee et Hwang, 2002) :

$$H = (PH - PS) / PH \times 100$$

H: humidité en pour cent (%).

PH: poids humide de l'échantillon.

PS : poids sec de l'échantillon.

2.4. Taux de la matière organique et minérale

Après avoir déterminé l'humidité, chaque échantillon de sol est incinéré à 450 °C dans un four à moufle pendant 16 heures (Lee et Hwang, 2002). Ensuite, le taux de matière organique est calculé en utilisant la formule suivante :

$$MO = (PS - PC) / PS \times 100$$

MO : matière organique en pour cent (%).

PS : poids sec de l'échantillon.

PC : poids des cendres de l'échantillon.

3. Analyse de la biodiversité microbienne cultivable des échantillons du sol

3.1. Isolement

3.1.1. Préparation des dilutions

Pour préparer les dilutions, la préparation d'une solution mère a été entreprise en ajoutant 1 g du sol à un tube à essai contenant 9 ml d'eau physiologique stérile. Après homogénéisation de cette solution par vortex, 1ml de la solution mère a été transféré dans un premier tube contenant 9 ml d'eau physiologique stérile pour obtenir une dilution de 10^{-2} . Ce processus a été répété jusqu'à atteindre la dilution 10^{-5} , tout en respectant les conditions d'asepsie et en manipulant toujours dans la zone stérile.



Figure 6 : Photographie représentant les dilutions décimales pour les deux échantillons du sol Saharien agricole.

3.1.2. Ensemencement

Dans des conditions d'asepsie rigoureuses, des prélèvements de 100 μ l des dilutions 10^{-3} , 10^{-4} et 10^{-5} ont été effectués, suivis de leur ensemencement par étalement sur des boîtes de Pétri contenant des milieux de culture préalablement coulés et solidifiés.

- Pour l'isolement de la flore mésophile aérobie totale (FTAM), le milieu gélose nutritif (GN) (**Annexe 1**) a été utilisé. Les boîtes ensemencées ont ensuite été incubées à 37 °C pendant 24 à 48 heures.
- Concernant l'isolement des actinobactéries, le milieu International *Streptomyces* Project-2 Medium (ISP2) (**Annexe 1**) (**Goodfellow et al., 1996**) et Olson (**Annexe 1**) (**Bensultana et al., 2010**) ont été utilisés, auxquels a été ajouté de l'antifongique fungizone (10%) après filtration à travers un filtre Millipore de 0.22 μ m de porosité. Les boîtes ensemencées ont été incubées à 30 °C pendant 3 à 4 semaines.
- Pour l'isolement des champignons, le milieu gélose Sabouraud (**Annexe 1**) a été employé. Les boîtes ensemencées ont été incubées à 28° C pendant 4 à 7 jours.
- Concernant l'isolement des micro-algues, le milieu Bold's Basal (BBM) (**Annexe 1**) (**Ghobrini et al., 2020**) a été utilisé. Les boîtes ensemencées sont incubées à une température de 25 C°, sous la lumière avec un cycle lumière/obscurcit 16/8h.

3.2. Dénombrement

Après la période d'incubation, les boîtes de Pétri sont examinées pour dénombrer la flore visible de chaque microorganisme. Les colonies des bactéries, des actinobactéries et des

champignons, sont dénombrées en fonction de leurs caractéristiques macroscopiques, et estimées en unités formant colonies par gramme (UFC/g).

Pour ne dénombrer que les boîtes contenant entre 30 et 300 colonies, nous avons utilisé la loi suivante :

$$N=M / (d \times v)$$

N : nombres de cellules (UFC/g)

M : nombre moyen de colonies comptées dans trois boîtes de Pétri de la même dilution.

d : dilution à laquelle le dénombrement est réalisé.

V : volume de l'inoculum.

3.2. Purification

Pour obtenir des souches pures de bactéries, les colonies obtenues sont repiquées et ensemencées à l'aide de la méthode des cadrans dans des boîtes de Pétri contenant le milieu GN. Par la suite, elles sont incubées à 37 °C pendant 24 à 48 heures.

Pour obtenir des souches pures d'actinobactéries, les colonies obtenues sont repiquées et ensemencées à l'aide de la méthode des stries dans des boîtes de Pétri contenant le milieu ISP2. Ensuite, elles sont incubées à 30 °C pendant 3 à 4 semaines.

Après l'incubation des moisissures, les souches obtenues sont repiquées par touche sur le milieu gélose Sabouraud jusqu'à l'obtention de souches pures, puis incubées à 28 °C pendant 4 à 7 jours.

3.3. Conservation des isolats

Pour la conservation à court terme, les souches pures d'actinobactéries sont maintenues sur milieu ISP2 incliné dans des tubes à essai, stockés dans un réfrigérateur à 4 °C. La même méthode est utilisée pour conserver les bactéries sur le milieu GN et les moisissures sur le milieu Sabouraud.

Pour une conservation à long terme, les souches pures d'actinobactéries sont ensemencées dans des tubes eppendorf contenant un mélange de milieu ISP2 liquide et de glycérol stérile à 50%. Elles sont ensuite maintenues à -20 °C. Cette méthode est également utilisée pour conserver les bactéries dans du bouillon nutritif et les moisissures dans le milieu Sabouraud liquide.

4. Caractérisation morphologique

4.1. Etude macroscopique et caractères cultureux

L'observation macroscopique constitue la première étape du diagnostic microbien. Les caractères cultureux des bactéries, des actinobactéries et des moisissures purifiées sont déterminés respectivement sur les milieux de culture GN, ISP2 et Sabouraud. Des ensemencements par stries sont réalisés en surface des milieux. Les boîtes sont ensuite incubées : à une température de 28 ± 2 °C pendant 7 jours pour les actinobactéries et les moisissures, et à 37 °C pendant 24 heures pour les bactéries. Après incubation, les différentes caractéristiques sont enregistrées après un examen à l'œil nu.

4.2. Etude microscopique

- **Observation à l'état frais des bactéries**

Pour l'observation des bactéries, une goutte de la suspension a été prélevée avec une pipette Pasteur et déposée sur une lame propre. La lame a ensuite été recouverte d'une lamelle. L'observation a été effectuée à l'objectif x40.

- **Technique de scotch pour les moisissures**

Pour les moisissures, un morceau de ruban adhésif transparent est appliqué à la surface de la moisissure. L'observation est réalisée à sec à l'objectif x40.

- **Coloration de Gram pour les bactéries et les actinobactéries**

La coloration de Gram est une méthode utilisée pour identifier les bactéries en les classant en deux grands groupes : Gram positif et Gram négatif. Elle permet également de distinguer leur morphologie et leur mode de regroupement (**Annexe 2**) (**Joffin et Leyral, 2006**).

- **Culture sur lamelle pour les actinobactéries**

Les caractéristiques des mycéliums du substrat et aériens, ainsi que les spores, ont été étudiées au microscope à l'aide de la technique de culture sur lamelle. Cette méthode consiste à insérer une lamelle stérile à un angle de 45° dans le milieu gélosé ISP2. Une goutte d'inoculum général est déposée à l'endroit de l'insertion de la lamelle, puis incubée à 30 °C pendant 7 jours. Après l'incubation, la lamelle de couverture est délicatement retirée à l'aide

d'une pince stérile et placée sur une lame de verre propre. Enfin, la lamelle est observée sous un microscope optique à un grossissement élevé (**Williams et Cross, 1971**).

RÉSULTATS ET DISCUSSION

1. Analyse physicochimique des échantillons du sol

Nous avons mené une étude détaillée des paramètres physico-chimiques des échantillons du sol, traités par le pesticide oxyfluorène et non traités, provenant de la région d'El Oued, caractérisée par un climat aride de type Saharien désertique. Les résultats de cette analyse sont regroupés dans le **tableau 4**.

Tableau 4 : Résultats des analyses physico-chimiques des sols.

Paramètres	Sol non traité (E1)	Sol traité (E2)
pH	7,96	7,78
Conductivité électrique (dS/m)	0,56	0,47
Salinité en (még/100g de sol)	2,8	2,35
Humidité(%)	1,5	3,15
Matière organique(%)	6,29	5,98

Les propriétés physico-chimiques ont un impact significatif sur les caractéristiques biologiques des sols. En effet, des liens étroits ont été établis entre ces propriétés physico-chimiques et biologiques, tant pour la microflore que pour la faune (**Itab, 2002**).

Le pH du sol est une mesure de son acidité ou de son alcalinité, correspondant à la concentration en ions hydrogène (**Chaudhary et al., 2022**). L'activité microbienne est fortement influencée par le pH, ce qui affecte par conséquent le processus de biodégradation. La majorité des microorganismes se développent dans une plage de pH de 4,5 à 8,0, avec des conditions optimales situées entre 5,5 et 7,5 (**Aimeur, 2017**). Le pH du sol influence également la composition des populations microbiennes : dans les sols acides, les champignons sont plus présents et la biomasse microbienne est moins importante à mesure que l'acidité du sol augmente (**Itab, 2002**). Les valeurs de pH pour les deux échantillons, E1 et E2, sont respectivement de 7,96 et 7,78. Selon l'échelle d'interprétation du pH indiquée par **Li et al. (2016) (Annexe 3)**, nos sols sont légèrement alcalins.

La conductivité électrique d'une solution de sol est un indicateur de la concentration en sels solubles dans ce sol, ce qui représente son niveau de salinité. Elle reflète approximativement la quantité de solutés ionisables présents dans l'échantillon (**Benmahdi, 2008**). La salinisation des sols entraîne une détérioration de leurs propriétés biologiques, chimiques et physiques. Cette dégradation se traduit par une baisse de la fertilité des sols, ce qui réduit les rendements agricoles. L'influence des sels solubles sur les propriétés physiques

des sols est bien documentée depuis longtemps (**Saidi et al., 2004**). Dans cette étude, les valeurs de conductivité des échantillons E1 et E2 sont toutes les deux inférieures au seuil (**Annexe 3**).

La salinité du sol est une mesure cruciale qui influence la croissance des plantes et la structure du sol. Elle est déterminée par la concentration de sels minéraux dissous, tels que le chlorure de sodium, le sulfate de calcium, et d'autres ions. La salinité peut avoir des effets négatifs sur la germination des graines, la croissance des plantes et la fertilité globale du sol. Elle est généralement évaluée par la conductivité électrique (CE) du sol, une mesure de la capacité du sol à conduire un courant électrique, qui augmente avec la concentration en sels dissous (**Barbouchi et al., 2013**). En se référant à l'échelle de salinité en relation directe avec la CE de **Richards (1969)** (**Annexe 3**), les deux échantillons de sol E1 et E2 sont classés comme non salés. Dans des sols non salés comme E1 et E2, on peut s'attendre à une microflore plus diverse et active, ce qui est favorable pour la décomposition de la matière organique et le cycle des nutriments. Même si les échantillons sont classés comme non salés, il est important de comprendre que même de faibles concentrations de sels peuvent s'accumuler au fil du temps, surtout dans des conditions arides ou semi-arides où l'évaporation dépasse les précipitations. Cette accumulation peut progressivement augmenter la salinité du sol et devenir problématique (**Rengasamy, 2006**). La salinité peut également affecter la composition et la diversité de la microflore du sol. Certains microorganismes sont plus tolérants aux sels que d'autres, ce qui peut modifier l'équilibre écologique du sol (**Smith et al., 2015**).

En se basant sur les résultats de l'humidité présentés dans le **tableau 4** et d'après l'échelle d'interprétation de l'humidité présentée dans l'**annexe 3** (**Lee et Hwang, 2002**), on remarque que l'humidité de l'échantillon E1, qui est de 1,5 %, est inférieure aux normes. On peut donc le classer comme très faible. Quant au deuxième échantillon, E2, dont l'humidité est de 3,15 %, nous pouvons le classer comme faible. Cette faible teneur en eau peut s'expliquer par deux facteurs : d'une part, l'aridité du climat, où le taux d'évaporation dépasse celui des précipitations ; d'autre part, la faible capacité de rétention d'eau de ce sol, en raison de sa texture sableuse qui ne peut stocker qu'une petite quantité d'eau, le reste s'infiltrant rapidement vers le sous-sol (**Bedjadj, 2011**).

La matière organique du sol (MO) est un élément crucial pour la santé et la productivité des sols agricoles. Elle influence la structure du sol, sa capacité à retenir l'eau, la

disponibilité des nutriments, et la biodiversité microbienne. Dans les sols sahariens, qui sont typiquement pauvres en matière organique en raison de conditions climatiques extrêmes et d'une faible végétation (**Djidel et al., 2017**). D'après l'échelle d'interprétation de la matière organique indiquée par **Lee et Hwang (2002)** (**Annexe 3**), les deux échantillons peuvent être classés comme faibles en matière organique, avec des valeurs de 6,29 % pour E1 et 5,98 % pour E2. Nous en concluons que le sol Saharien contient un faible taux de matière organique. Cette faible teneur en matière organique peut limiter la diversité et l'abondance des microorganismes du sol, affectant ainsi la décomposition de la matière organique et le cycle des nutriments.

La comparaison des résultats des analyses physico-chimiques du sol non traité et traité indique que l'herbicide oxyfluorène n'a aucun effet sur la qualité physico-chimique du sol.

Les résultats des paramètres physico-chimiques de nos échantillons de sol sont en corrélation avec ceux trouvés par **Hadjmmar (2018)**. Celui-ci a observé que les sols d'Oued Souf, notamment dans la commune de Hassi Khelifa, sont caractérisés par un pH alcalin et une absence de salinité, indiquée par une conductivité électrique inférieure à 1 dS/m. Ces sols présentent également une très faible humidité, inférieure à 1 %, et un faible taux de matière organique de 2,59 %.

Les conclusions de **Zaater (2020)** vont dans le même sens, indiquant une faible capacité de rétention d'eau et un faible taux de matière organique pour les sols de la région d'Oued Souf.

Le travail de **Zaiz et Boutoutao (2022)** sur la mesure du pH dans trois régions d'Oued Souf confirme également ces observations, avec une majorité des sols présentant un pH basique à tendance alcaline, compris entre 7,04 et 8,20. En ce qui concerne la salinité, leur étude a révélé qu'une des zones n'était pas salée, avec des résultats de conductivité électrique variant entre 0,19 et 0,58 dS/m.

De plus, les travaux antérieurs de **Kouli (2007)** et **Bedjadj (2011)** confirment que les sols arides sont généralement alcalins, avec un pH compris entre 7,5 et 8,5.

2. Analyse de la biodiversité microbienne cultivable des échantillons du sol

2.1. Isolement et dénombrement

Les résultats du dénombrement de la FTAM, des actinobactéries, des moisissures et des micro-algues dans le sol agricole Saharien, traité et non traité par l'herbicide oxyfluorène, sont regroupés dans le **tableau 5**. Cette analyse microbiologique fournit des informations cruciales sur l'impact de l'utilisation de l'herbicide oxyfluorène sur la diversité et l'abondance des microorganismes du sol.

Tableau 5 : Dénombrement des microorganismes dans le sol traité et non traité par l'herbicide oxyfluorène.

Les microorganismes	Dilution	Sol	Sol traité
Bactéries	10^{-5}	290×10^4 UFC/g	180×10^4 UFC/g
Actinobactéries	10^{-3}	63×10^4 UFC/g	34×10^4 UFC/g
Moisissures	10^{-5}	1 colonie	3 colonies
Micro-algues	$10^{-3}, 10^{-4}, 10^{-5}$	0	0

Un total de 18 isolats présumés morphologiquement distincts a pu être récupéré à partir des deux échantillons étudiés. Ils ont été sélectionnés sur la base de leurs aspects macroscopiques et microscopiques (**Tableau 6**). Les souches pures sont classées en fonction des différents types de microorganismes, à savoir les bactéries FTAM, les actinobactéries, les moisissures et les micro-algues. Les données montrent que cinq isolats ont été obtenus pour les bactéries, neuf pour les actinobactéries, et quatre pour les moisissures, tandis qu'aucun isolat microalgual n'a été trouvé.

Tableau 6 : Répartition des isolats par type de microorganisme.

Les microorganismes		Bactéries	Actinobactéries	Moisissures	Micro-algues
Le nombre des isolats	Pour chaque type de microorganisme	5	9	4	0
	Total	18			

Le **tableau 7** présente la répartition des microorganismes isolés dans chaque échantillon de sol ainsi que sur chaque milieu de culture utilisé pour leur isolement. Après purification, les isolats bactériens sont désignés par les noms SNTR1, SNTR2, SNTR3, STR1 et STR2. Les isolats d'actinobactéries sont identifiés sous les appellations ST, ST2, ST4, ST5, S1, S2, S3 et S4. Quant aux moisissures, elles sont nommées M1, MR1, MR2 et MR3.

Tableau 7 : Répartition des isolats dans les échantillons de sol et les milieux de culture.

Microorganismes	Milieu d'isolement	E1	E2
Bactéries	GN	SNTR1, SNTR2, SNTR3, STR2	STR1, STR2, SNTR1
Actinobactéries	Olson	S1, S2, S3, S4, ST1, ST2	S2, ST3, ST4, ST5
	ISP2	/	S2, ST1
Moisissures	Sabouraud	M1	MR1, MR2, MR3

Le sol, une ressource naturelle cruciale, est au cœur de notre étude. Outre son importance pour l'agriculture (**Fartas et al., 2022**), il abrite un écosystème diversifié menacé par la pollution croissante, notamment due aux hydrocarbures, aux métaux lourds et aux pesticides issus des activités humaines et industrielles (**Pascucci, 2022**).

Les microorganismes du sol : bactéries, moisissures, algues, protozoaires et actinomycètes jouent un rôle vital dans le maintien de la productivité du sol, la biomasse microbienne étant considérée comme une source active et continue de nutriments nécessaires à la croissance et au développement des plantes. L'application d'herbicides peut affecter le développement des espèces bactériennes, actinomycètes, fongiques et protozoaires. La diminution des populations de microorganismes peut être due à la compétition pour la nourriture, à l'effet toxique des herbicides appliqués ou à la persistance des herbicides dans l'écosystème terrestre. Par conséquent, l'équilibre entre les agents pathogènes et les microorganismes bénéfiques est perturbé, favorisant le développement d'organismes opportunistes capables de provoquer des maladies (**Filimon et al., 2021**).

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'effet de l'herbicide oxyfluorène sur la biodiversité microbienne des sols agricoles Sahariens.

L'oxyfluorène (2-chloro-1-(3-éthoxy-4-nitrophénoxy)-4-(trifluorométhyl) benzène) est largement utilisé comme herbicide de pré- et post-émergence pour contrôler les mauvaises herbes annuelles à feuilles larges et les graminées dans les cultures de cacahuètes, de soja, de légumes et de riz. En tant qu'herbicide éther diphénylique, l'oxyfluorène inhibe la photosynthèse en bloquant la synthèse de la chlorophylle. Par conséquent, les résidus d'oxyfluorène dans l'environnement présentent un risque pour les algues et les plantes. De plus, il a été démontré que l'oxyfluorène induit des dommages à l'ADN et présente une toxicité envers les organismes aquatiques tels que *Paramisgurnus dabryanus*, et qu'il a des effets délétères au niveau génomique sur les poissons, entraînant une croissance squelettique retardée. Un rapport récent suggère que l'exposition prénatale à l'oxyfluorène pourrait provoquer des déficiences des membres transverses ou une craniosynostose chez les nouveau-nés, et l'Agence de protection de l'environnement des États-Unis (EPA) a classé l'oxyfluorène comme un cancérigène potentiel pour l'homme. De plus, la persistance de l'oxyfluorène dans le sol varie de 72 à 150 jours, ce qui suggère un risque accru de bioaccumulation à long terme chez les humains via la consommation de cultures alimentaires contenant des résidus d'oxyfluorène (Wu *et al.*, 2019).

Les résultats du dénombrement nous a permis de constater la présence d'un grand nombre de bactéries et d'actinobactéries dans le sol non traité par rapport au sol traité par le pesticide.

En ce qui concerne les moisissures, il n'a pas été possible de les quantifier conformément à la loi applicable en raison de leur faible nombre, qui ne permettait pas de les inclure dans les calculs. Mais leur nombre est inférieur dans le sol non traité (une moisissure) comparé au sol traité (trois moisissures). Cette augmentation est probablement due au fait que les champignons ont trouvé une source de nutriments. En effet, les champignons du sol montrent une plus grande résistance aux pesticides, bien que les fongicides affectent significativement leur population ainsi que divers processus de minéralisation et de décomposition qu'ils contrôlent (Kalia et Gosal, 2011). En général, la plupart des herbicides n'ont pas d'impact négatif majeur sur les champignons du sol, bien que certains insecticides puissent initialement inhiber leur croissance, suivie d'un effet stimulant. Les champignons font partie des microorganismes qui, après une réaction sensible initiale à la présence de pesticides dans le sol, parviennent rapidement à rétablir un métabolisme normal, leur permettant même de se multiplier, notamment en réponse à l'application de fongicides et d'insecticides (Mandic *et al.*, 2005).

Aucune micro-algue n'est apparue dans le milieu BBM pour les deux types d'échantillons, car les algues prospèrent principalement dans les milieux aquatiques marins, les eaux douces ou saumâtres (**Pencreach et al., 2004**).

Les résultats du dénombrement ont montré une sensibilité accrue à l'herbicide, comme en témoignent les bactéries SNTR2 et SNTR3, les actinobactéries S1, S3, S4 et ST2, ainsi que la moisissure M1. Cela signifie que l'herbicide oxyfluorène a eu un effet négatif et a empêché leur croissance. Ces observations corroborent les conclusions d'autres études sur les effets négatifs des pesticides sur la biodiversité microbienne du sol.

Selon la recherche de **Filimon et al. (2021)** sur le traitement du sol avec l'herbicide oxyfluorène, une légère croissance des microorganismes a été constatée, mais cette croissance diminue à mesure que la concentration du pesticide augmente. De plus, **Adhikary et al. (2014)** ont étudié l'effet de trois types de pesticides (pendiméthaline, oxyfluorène et propaquizafop) sur les microorganismes du sol. Leur étude a révélé une obstruction significative de la croissance microbienne et une diminution notable de leur nombre, avec un impact plus prononcé de l'oxyfluorène par rapport aux autres pesticides. Par ailleurs, **AL-Ani et al. (2019)** ont étudié l'effet de l'herbicide Glyset I.P.A (Glyphosate 48%) et des insecticides Miraj (Alphacyperméthrine 10%) et Malathion (50% WP) sur les microorganismes du sol. Ils ont observé une diminution des activités microbiennes ainsi que du nombre de bactéries, champignons et actinomycètes, montrant ainsi leur impact négatif sur ces organismes.

En revanche, d'autres microorganismes sont résistants à l'effet du pesticide, tels que les bactéries SNTR1 et STR2, ainsi que les actinobactéries S2 et ST1. Un travail mené par **Afrah et al. (2011)** indique que dans un délai de 21 jours, *Bacillus* spp. avaient la capacité de dégrader 80-95,6 % de l'oxyfluorène, suivies par *Pseudomonas* sp. (82,2 %), *Arthrobacter* spp. (82,2 %), *Aspergillus* sp. (77,8 %), *Mycobacterium* sp. (75,6 %), *Micrococcus* sp. (73,3 %) et *Streptomyces* sp. (68,9 %).

De manière intéressante, nous avons observé l'apparition de nouvelles bactéries (STR1) et actinobactéries (ST3, ST4, ST5), ainsi que de certaines moisissures (MR1, MR2, MR3) dans le sol traité avec le pesticide. Cela suggère une possible réponse adaptative des microorganismes à la présence de l'herbicide.

En somme, notre étude met en lumière l'impact significatif de l'herbicide oxyfluorène sur la biodiversité microbienne des sols agricoles sahariens, soulignant la nécessité de développer des pratiques agricoles durables et respectueuses de l'environnement.

Concernant l'isolement des actinobactéries, les milieux sélectifs montrent un autre critère de sélection et d'isolement de ces bactéries. Nous avons remarqué que le milieu de culture Olson favorisait grandement leur croissance par rapport au milieu ISP2. En effet, le milieu Olson contient du caséinate de sodium et de l'asparagine, qui favorisent la croissance des actinomycètes, tandis que le propionate de sodium agit comme antifongique et fournit une source de carbone et de minéraux (Hillali *et al.*, 2002 ; Belyagoubi, 2014 ; Hocinet, 2018).

2.2. Caractérisation morphologique des isolats

La morphologie des microorganismes joue un rôle crucial dans leur identification. Dans le cadre de cette étude, les 18 isolats provenant de la région de Souf ont été soumis à une analyse de leur diversité taxonomique en se basant sur des critères morphologiques.

2.2.1. Etude macroscopique et microscopique

➤ Les bactéries

Les caractéristiques macroscopiques des différentes souches bactériennes ont été examinées sur le milieu GN, incluant des aspects tels que la forme, la taille et la surface. Les résultats détaillés de cette analyse sont présentés dans le **tableau 8**.

Tableau 8 : Caractéristiques macroscopiques des colonies des bactéries isolées.

Isolats	STR1	STR2	SNTR1	SNTR2	SNTR3
Photographie des isolats					
Critères					
Forme	Circulaire	Circulaire	Irrégulière	Circulaire	Circulaire
Relief	Bombé	Plate	Plate	Convexe	Convexe
Contour	Régulier	Régulier	Ondulé	Régulier	Régulier
Taille	1 mm	2 mm	3 mm	4 mm	2 mm
Surface	lisse	Lisse	Rugueuse	lisse	lisse
Couleur	Crevette	Beige foncé	blanche	Beige	Beige
Opacité	Translucide	Très transparente	Opaque	Opaque	Translucide
Consistance	Crémeuse	Sèche	Sèche	Crémeuse	Crémeuse

D'après les données du **tableau 8**, une observation minutieuse révèle que la plupart des bactéries présentent une forme circulaire, à l'exception de SNTR1 qui adopte une forme irrégulière. Leur taille varie entre 1 et 4 mm. De plus, la surface des colonies est généralement lisse, à l'exception de SNTR1 qui montre une surface rugueuse. Concernant le contour, toutes les bactéries présentent un contour régulier, sauf SNTR1 qui présente un contour ondulé.

En ce qui concerne le relief, les bactéries sont classées en trois catégories : bombées (STR1), plates (STR2, SNTR1) et convexes (SNTR2, SNTR3).

Quant à l'opacité des colonies, deux bactéries se révèlent translucides, ce qui signifie qu'elles laissent passer la lumière (STR1 et SNTR3), tandis que deux autres sont opaques (SNTR1, SNTR2). Une seule bactérie, STR2, est particulièrement transparente.

Enfin, en ce qui concerne la consistance, certaines bactéries sont crémeuses (STR1, SNTR2, SNTR3), tandis que d'autres sont sèches (STR2 et SNTR1).

L'observation des souches bactériennes étudiées à l'état frais sous un grossissement de x 40 nous a permis de constater qu'elles présentent principalement une forme en cocci ou coccobacille. Ces observations détaillées sont répertoriées dans le **tableau 9** et illustrées dans la **figure 7**.

Tableau 9 : Caractéristiques microscopiques des bactéries à l'état frais.

Les souches	La forme	La mobilité
STR1	Cocci	Immobile
STR2	Cocci	Immobile
SNTR1	Coccobacille	Immobile
SNTR2	Coccobacille	Immobile
SNTR3	Cocci	Mobile

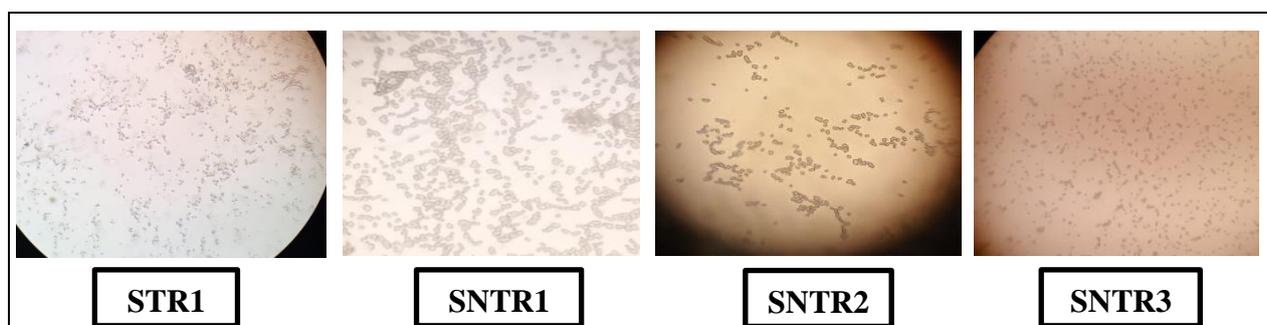


Figure 7 : Photographie représentant l'observation microscopique à l'état frais de quelques bactéries (Grossissement×40).

L'observation des souches bactériennes étudiées après coloration de Gram a révélé que la majorité d'entre elles sont Gram positif. Les résultats détaillés de cette observation sont présentés dans le **tableau 10** et illustrés dans la **figure 8**.

Tableau 10 : Caractéristiques microscopique des bactéries après coloration de Gram.

Les souches	Gram	Forme	Mode de regroupement
STR1	+	Cocci	En paire
STR2	-	Cocci	Isolé, En paire
SNTR1	+	Coccobacille	En chainette
SNTR2	-	Coccobacille	Isolé, En paire
SNTR3	+	Cocci	En chainette

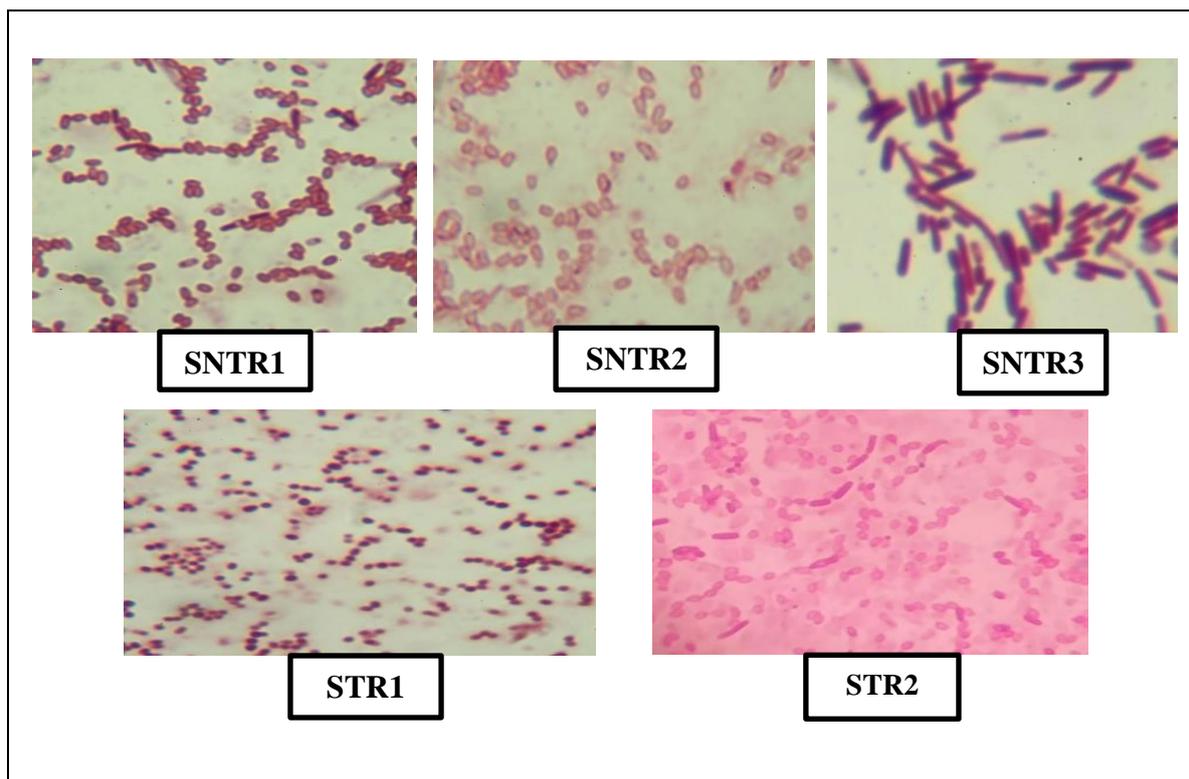


Figure 8: Photographie représentant l'observation microscopique des bactéries après coloration de Gram (Grossissement×100).

Selon le **tableau 10** et la **figure 8**, ainsi que les résultats des observations microscopiques à l'état frais, les distinctions suivantes ont été faites :

- La souche STR1 a une forme cocci regroupée en paires, est Gram positif et immobile.
- La souche STR2 se présente sous forme de cocci isolées et en paires, est Gram négatif et immobile.
- La souche SNTR1 a une forme coccobacille regroupée en chaînettes, est Gram positif et immobile.
- La souche SNTR2 se présente sous forme de coccobacilles isolés et en paires, est Gram négatif et immobile.
- La souche SNTR3 a une forme cocci regroupée en chaînettes, est Gram positif et mobile.

L'étude des caractères morphologiques, tant macroscopiques que microscopiques, n'a pas permis d'assigner les souches isolées à un genre spécifique. Des analyses complémentaires sont donc nécessaires. Cependant, selon **Djbbar et Bensebbane (2020)**, les sols des déserts chauds contiennent principalement des bactéries Gram-positives, avec une

prédominance du genre *Bacillus* à 97,5%. De plus, **Nebbak et Yacine (2021)** ont trouvé que les sols de la région de Laghouat abritent également des bactéries Gram-positives appartenant au genre *Bacillus*, capables de croître et de sporuler dans les conditions extrêmes des zones arides.

➤ Les actinobactéries

Les caractéristiques macroscopiques des diverses souches d'actinobactéries ont été examinées sur le milieu ISP2, tenant compte de leur forme, leur taille, leur texture, leur pigmentation, et d'autres aspects. Les résultats complets de cette étude sont présentés dans le **tableau 11** et la **figure 9**.

Tableau 11 : Caractéristiques macroscopiques des colonies des actinobactéries isolées.

Les isolats	Pigmentation			Forme	Taille	Texture
	Mycélium aérien	Mycélium de substrat	Pigment diffusible			
S1	Gris fenêtre	Jaune ocre	-	Ronde	2 mm	Non incrusté, poudreuse
S2	Gris agate	Beige nacré	+	Ronde	3 mm	Non incrusté, poudreuse
S3	Blanc trafic	Blanc crème	-	Dentelées	2 mm	Incrusté, sèche
S4	Télé gris 2	Beige gris	-	Dentelées	2 mm	Non incrusté, poudreuse
ST1	Gris béton	Jaune olive	-	Ronde	2 mm	Non incrusté, poudreuse
ST2	Rose poudre	Ivoire claire	-	Ronde	2 mm	Non incrusté, poudreuse
ST3	Beige makuria	Jaune citron	-	Ronde	3 mm	Incrusté, sèche
ST4	Gris clair	Beige	-	Ronde	3 mm	Incrusté
ST5	Gris	Gris jaune	-	Ronde	2 mm	Non incrusté, poudreuse

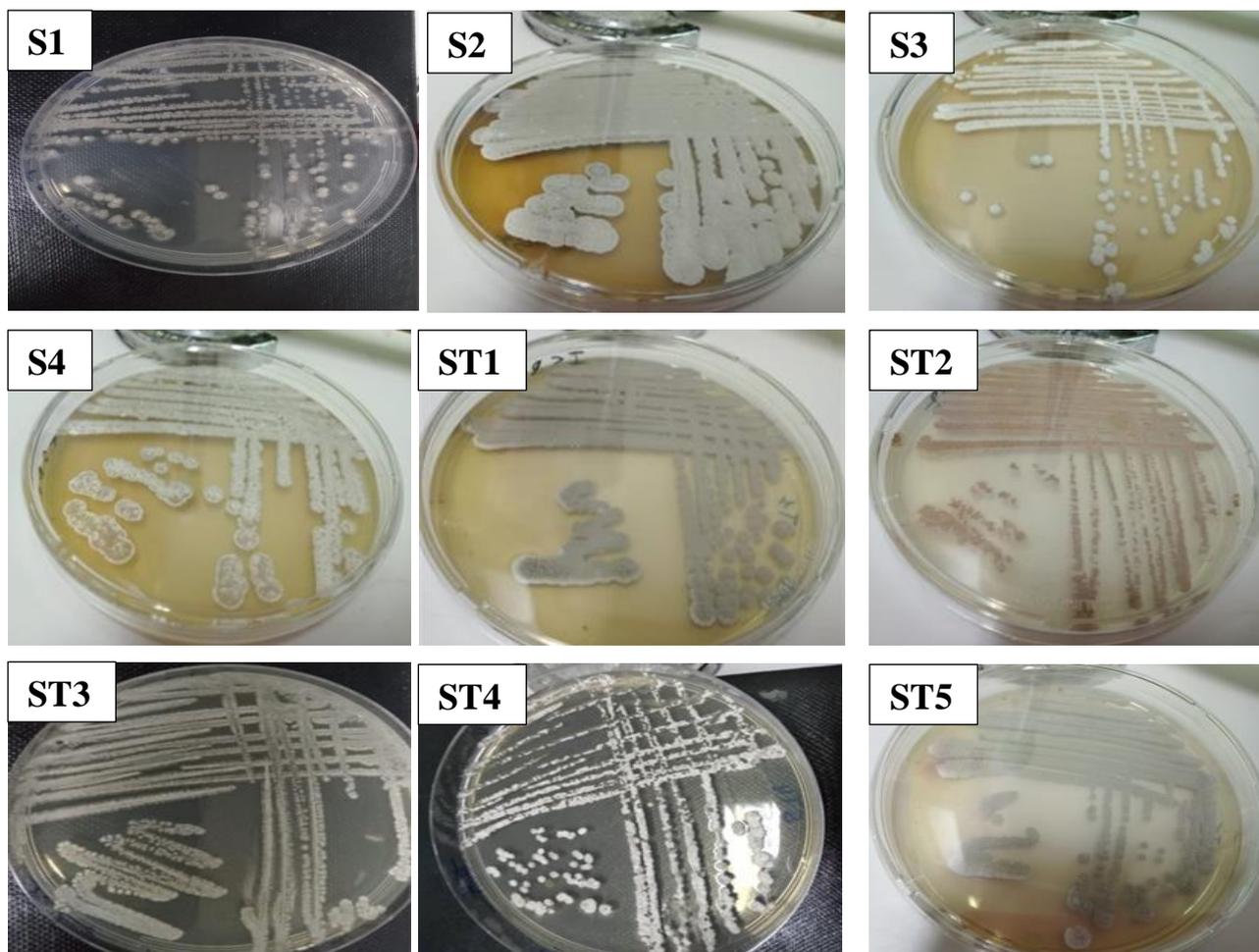


Figure 9: Photographie représentant l'aspect macroscopique des souches d'actinobactéries cultivées sur milieu ISP2.

Les données du **tableau 11** et de la **figure 9** révèlent que certaines colonies sont incrustées dans la gélose tandis que d'autres ne le sont pas, mais toutes présentent un mycélium de substrat sous-tendu par un mycélium aérien. La forme prédominante des colonies d'actinobactéries est ronde, à l'exception des souches S3 et S4 qui sont dentelées et ont une texture poudreuse, tandis que les souches S3 et ST3 ont une texture sèche. Les dimensions des colonies d'actinobactéries sont généralement comprises entre 2 mm et 3 mm, et elles ne montrent pas de pigments diffusibles, à l'exception de la souche S2.

En ce qui concerne la couleur du mycélium aérien, une diversité est observée : gris fenêtré (S1), gris agate (S2), blanc trafic (S3), télé gris 2 (S4), gris béton (ST1), rose poudré (ST2), beige makuria (ST3), gris clair (ST4) et gris (ST5).

L'observation du revers des colonies dans la boîte de Pétri permet de déterminer la couleur du mycélium de substrat, qui varie également : jaune ocre (S1), beige nacré (S2),

blanc crème (S3), beige gris (S4), jaune olive (ST1), ivoire clair (ST2), jaune citron (ST3), beige (ST4), gris jaune (ST5). Ces mêmes caractéristiques ont été relevées par **Balasubramaniam *et al.* (2011)** et **Belabed (2014)**.

L'observation microscopique après coloration de Gram révèle que tous les isolats d'actinobactéries apparaissent en violet, indiquant qu'ils sont Gram positifs (**Figure 10**). Ces actinobactéries présentent des filaments, et la culture sur lamelle permet d'observer clairement leur structure mycélienne.

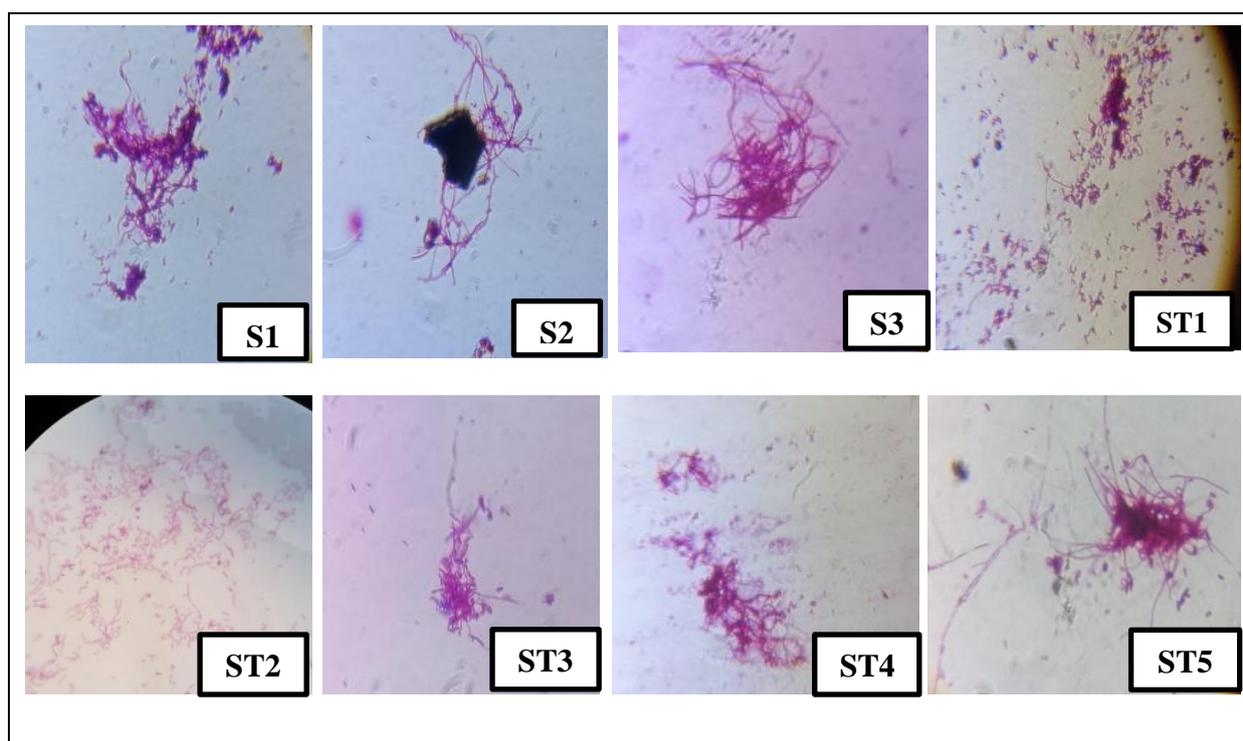


Figure 10 : Photographie représentant l'observation microscopique de quelques actinobactéries après coloration de Gram (Grossissement×100).

Les résultats de l'observation microscopique des cultures sur lamelle pour les isolats d'actinobactéries sont présentés dans la **figure 11**.

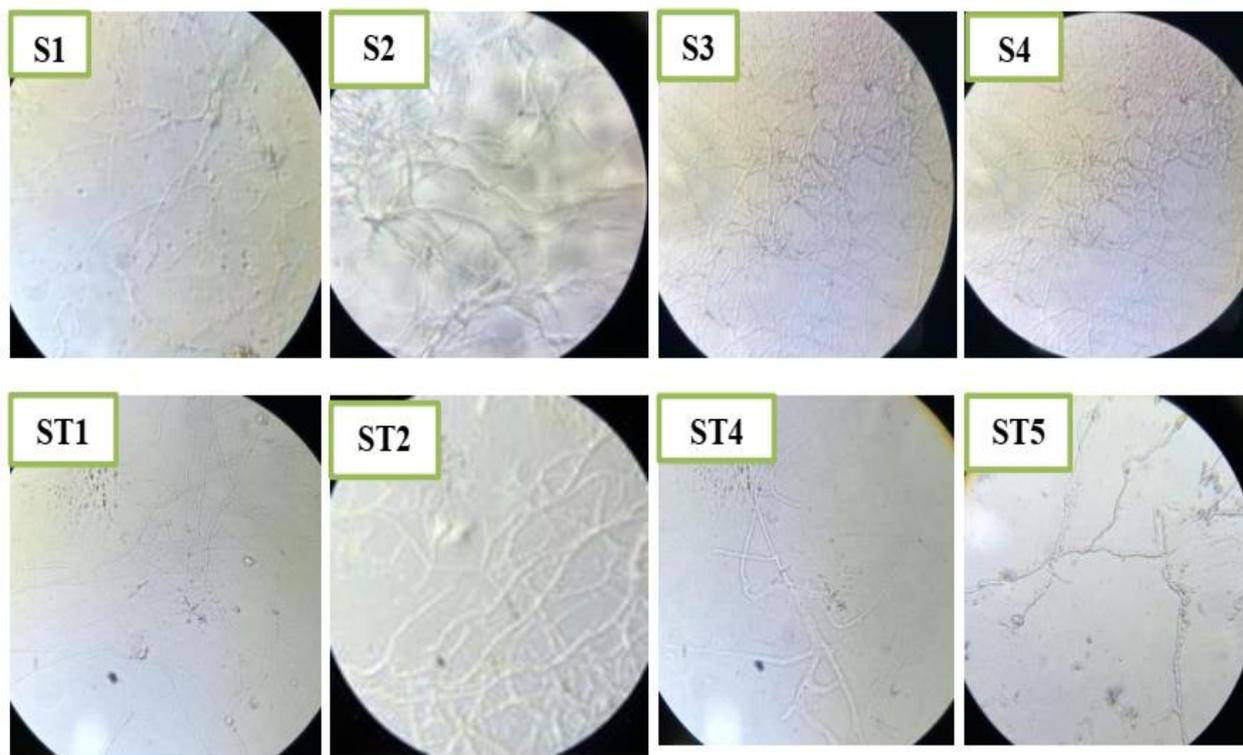


Figure 11 : Photographie représentant l'observation microscopique de quelques actinobactéries après une culture sur lamelle (Grossissement $\times 100$).

D'après la **figure 11**, les souches d'actinomycètes sont filamenteuses, comme mentionné par **Zerizer et al. (2006)**. Les souches d'actinobactéries S1, S2, S3, S4, ST1, ST2, ST3 et ST5 possèdent des filaments non fragmentés et ramifiés, avec une ramification particulièrement importante chez S3. En revanche, ST4 présente des filaments non fragmentés et non ramifiés.

L'identification des actinobactéries repose en grande partie sur les caractéristiques morphologiques, considérées comme des traits stables (**Belyagoubi, 2014**). Nous avons conclu que la plupart des souches d'actinobactéries appartiennent au genre *Streptomyces* .sp, tandis que la souche ST2 appartient au genre *Nocardia* sp. et la souche S3 au genre *Actinomadura* sp.

Les actinobactéries jouent un rôle crucial en raison de leur large distribution dans le sol et de leur capacité remarquable à dégrader une vaste gamme de composés organiques. Elles sont particulièrement efficaces dans la minéralisation de la matière organique telle que la lignine, la cellulose et la kératine. De plus, elles contribuent significativement à la fertilité

du sol en produisant diverses enzymes lytiques extracellulaires telles que les amylases, les xylanases et les lipases (**Prescote et al., 2010**).

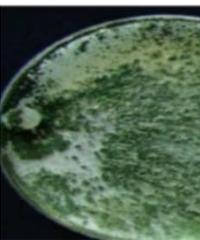
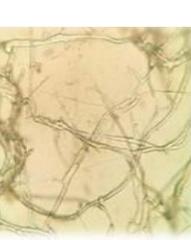
Le genre dominant dans le sol est *Streptomyces*, qui appartient à l'ordre des Actinomycetales, groupe des Streptomycètes. Ces bactéries, avec un taux de C+G élevé (78%) (**Goodfellow et al., 2012**), sont saprophytes, assurant leur croissance à partir de la dégradation des matières organiques du sol. *Streptomyces* est le genre le mieux étudié en termes de cycle de vie ; ces bactéries sont des antagonistes des champignons telluriques et ont la capacité de coloniser les racines des plantes hôtes (**Eltarabily et al., 2006**).

Les résultats de notre étude sont en cohérence avec ceux de **Khirennas et al. (2023)**, qui ont isolé 32 actinomycètes à El Atteuf (Ghardaïa), Algérie. Les isolats obtenus ont été caractérisés morphologiquement, révélant 5 genres : *Streptomyces* sp. (65,63 %), *Nocardia* sp. (9,38 %), *Streptosporangium* sp. (9,38 %), *Nocardiopsis* sp. (9,38 %) et *Actinomadura* sp. (6,25 %). Selon **Messaoudi (2020)**, des actinobactéries isolées à partir de sols sahariens indiquent la présence de 9 genres subdivisés en six genres différents : *Streptomyces* sp., *Nocardiopsis* sp., *Saccharopolyspora* sp., *Actinomadura* sp., *Actinocorallia* sp., *Micromonospora* sp., *Verrucosipora* sp. et *Couchioplanes* sp.

➤ Les moisissures

Les moisissures purifiées sont identifiées par un examen macroscopique effectué après une incubation de 7 jours sur le milieu Sabouraud. Les résultats détaillés de cette identification sont consignés dans le **tableau 12**.

Tableau 12 : Aspect macroscopique et microscopique des moisissures.

Moisissures	Le genre	Aspect macroscopique	Photo de référence	Aspect microscopique	Photo de référence
M1	<i>Aspergillus</i> sp.		 (Zellagui, 2022).		 (Marijon <i>et al.</i> , 2020).
MR1	<i>Trichoderma</i> sp.		 (Mukherjee <i>et al.</i> , 2014).		 (Chouibi et Foughali, 2021).
MR2	<i>Penicillium</i> sp.		 (Chouibi et Foughali, 2021).		 (Morales-Garcia <i>et al.</i> , 2016).
MR3	<i>Cladosporium</i> sp.		 (Iulina <i>et al.</i> , 2021).		 (Levin <i>et al.</i> , 2004).

D'après le **tableau 12**, les caractéristiques macroscopiques et microscopiques suivantes sont notées :

- **Moisissure M1** : Se présente sous forme de colonies initialement blanches et duveteuses, devenant jaunes et cotonneuses. Le revers des colonies est jaune avec une croissance moyenne. En surface, les colonies sont plates et plissées. Au microscope, la tête aspergillaire se caractérise par une structure radiée formant une vésicule, et les hyphes sont septés et non ramifiés.
- **Moisissure MR1** : Se présente sous forme de colonies initialement blanches et duveteuses, devenant vertes et poudreuses. Le revers des colonies est jaune avec une croissance moyenne. En surface, les colonies sont surélevées et plissées. Au microscope, on observe un mycélium septé et ramifié, avec des conidiophores coniques portant des phialides en forme de quilles.
- **Moisissure MR2** : Se présente sous forme de colonies initialement blanches et duveteuses, devenant vert olive et poudreuses. Le revers des colonies est beige avec une croissance moyenne. En surface, les colonies sont plates et plissées. Au microscope, on observe un mycélium septé, plus ou moins ramifié, avec des conidiophores isolés en pinceaux.
- **Moisissure MR3** : Se présente sous forme de colonies marron et poudreuses. Le revers des colonies est marron avec une croissance lente. En surface, les colonies sont surélevées et plissées. Au microscope, on observe un mycélium cloisonné, avec des conidies généralement de forme elliptique à cylindrique, produites en chaînes ramifiées.

Après l'analyse des caractères macroscopiques et microscopiques de la flore fongique du sol de la région d'El Oued Souf, nous avons constaté une grande richesse et diversité d'espèces fongiques. Les moisissures jouent un rôle crucial et diversifié dans le sol, principalement lors de la décomposition de la matière organique fraîche avant son humification. La plupart peuvent décomposer la cellulose, tandis que certains sont capables d'hydrolyser des composés phénoliques plus résistants tels que la lignine et les tanins (**Gobat et al., 2003**).

Certaines moisissures établissent une association symbiotique avec les racines des plantes supérieures, notamment les arbres, formant des mycorhizes qui favorisent la croissance et la nutrition des plantes hôtes (**Bousseboua, 2005**). En raison de leur taille et de

leur structure, les réseaux de mycélium sont capables de transporter efficacement de grandes quantités d'eau et de substances à travers le sol d'un endroit à un autre (**Gobat et al., 2003**).

Dans la présente étude, nous avons identifié la présence de quatre souches : M1 est *Aspergillus* sp., MR1 est *Trichoderma* sp., MR2 est *Penicillium* sp., et MR3 est *Cladosporium* sp. Selon **Touati et Chelhi (2016)**, qui ont isolé des moisissures à partir d'une zone aride, les résultats d'identification ont révélé 28 souches réparties en huit genres, avec *Penicillium* sp. dominant à 25%, suivi par *Onychocola* sp. et *Scopulariopsis* sp. à 7,14%, et enfin *Trichoderma* sp., *Auriobasidium* sp., *Bipolaris* sp., *Cladosporium* sp. et *Mucor* sp. à 3,57% chacun.

Le genre *Aspergillus* est constitué de moisissures filamenteuses caractérisées par une tête aspergillaire et une distribution ubiquitaire. Le genre *Trichoderma* comprend certaines espèces largement utilisées comme agents de lutte biologique contre les phytopathogènes. Le genre *Penicillium* regroupe des moisissures filamenteuses saprophytes, mais elles peuvent devenir des parasites d'humidité au cours du stockage. Enfin, le genre *Cladosporium* comprend des moisissures filamenteuses cloisonnées, parmi les champignons environnementaux les plus communs trouvés dans le monde entier.

Nous constatons que les méthodes d'isolement classiques ne permettent pas d'évaluer pleinement la biodiversité microbienne présente dans un échantillon de sol. Ces méthodes traditionnelles, bien que utiles, sont limitées car elles reposent sur la culture de microorganismes dans des conditions de laboratoire spécifiques, qui ne reflètent pas toujours les conditions naturelles du sol. Par conséquent, seulement une fraction des microorganismes, souvent ceux qui peuvent facilement être cultivés, est détectée et étudiée, laissant de côté une grande diversité de microorganismes non cultivables ou difficiles à cultiver (**Hugenholtz et al., 1998**).

Pour surmonter ces limitations, il est préférable d'utiliser des méthodes moléculaires telles que la métagénomique. La métagénomique permet l'analyse directe du matériel génétique extrait de l'environnement, sans nécessiter la culture préalable des microorganismes (**Handelsman, 2004; Riesenfeld et al., 2004**). Grâce à cette approche, il est possible de séquencer l'ADN de l'ensemble des microorganismes présents dans un échantillon, offrant ainsi une vision plus complète et précise de la diversité microbienne (**Schloss et Handelsman, 2005**). Cette technique permet non seulement d'identifier les

espèces présentes, y compris celles qui sont rares ou difficiles à cultiver, mais aussi de comprendre leurs fonctions et interactions au sein de l'écosystème.

En utilisant la métagénomique, les chercheurs peuvent explorer des aspects de la biodiversité microbienne qui étaient auparavant inaccessibles, ouvrant la voie à de nouvelles découvertes et à une meilleure compréhension des écosystèmes microbiens (**Prosser, 2010**). Ainsi, pour une évaluation plus exhaustive et précise de la biodiversité microbienne, il est crucial d'intégrer des méthodes moléculaires comme la métagénomique aux techniques traditionnelles d'isolement et de culture.

CONCLUSION

L'objectif de cette étude était d'évaluer l'effet de l'herbicide oxyfluorène sur la microflore (bactéries, actinobactéries, moisissures et micro-algues) d'un sol agricole Saharien. Pour ce faire, deux échantillons de sol agricole de la région d'Oued Souf ont été prélevés : l'un traité par l'herbicide et l'autre non traité. Nous avons examiné les paramètres physico-chimiques du sol, notamment le pH, la conductivité électrique, la salinité, l'humidité et la matière organique. Ensuite, nous avons isolé des microorganismes à partir des deux échantillons et les avons étudiés. Un dénombrement a été effectué pour évaluer l'effet de l'herbicide, suivi d'une étude morphologique des isolats.

Les résultats des analyses physico-chimiques ont montré que le pH des sols est légèrement alcalin et qu'ils ne sont pas salés. Cependant, l'humidité du sol non traité par l'herbicide est faible, alors que celle du sol traité est légèrement supérieure. Le taux de matière organique est faible pour les deux échantillons.

L'isolement des microorganismes a révélé une diversité de bactéries, d'actinobactéries et de moisissures dans les deux échantillons, mais aucune micro-algue n'a été détectée. Le nombre de microorganismes a diminué dans le sol traité, certains disparaissant complètement, ce qui souligne l'effet négatif de l'herbicide sur la biodiversité microbienne du sol.

L'utilisation de milieux de culture sélectifs nous a permis d'isoler cinq bactéries, neuf actinobactéries et quatre moisissures. Les analyses macroscopiques et microscopiques ont montré que trois bactéries étaient à Gram positif et deux à Gram négatif, avec des formes cocci et coccobacilles. Toutes les actinobactéries étaient à Gram positif, majoritairement du genre *Streptomyces* sp. (7), avec deux appartenant aux genres *Nocardia* sp. et *Actinomadura* sp. De plus, nous avons isolé quatre moisissures des genres *Aspergillus* sp. , *Penicillium* sp. , *Trichoderma* sp. et *Cladosporium* sp.

Au terme de cette étude, il serait intéressant de compléter et de développer la recherche par des études futures, notamment :

- Une étude plus approfondie de la biodiversité du site de prélèvement.
- Une identification biochimique et moléculaire des souches obtenues.
- Une évaluation de la biodégradation de cet herbicide.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

A

Abubakar, Y., Tijjani, H., Egbuna, C., Adetunji, C. O., Kala, S., Kryeziu, T. L., et PatrickIwuanyanwu, K. C. (2020). Pesticides, history, and classification. *In Natural remedies for pest, disease and weed control* (pp. 29-42). Academic Press.

Adhikary, P., Shil, S. et Patra P. S. (2014). Effect of herbicides on soil microorganisms in transplanted chilli. *Glob. J. Biol. Agric. Health Sci*, 3(1), 236-238.

Afrah, T. M., Adil, A.E., Marmar A. E. et Awad G.O. (2011). Degradation of oxyfluorfen herbicide by soil microorganisms biodegradation of herbicides, 10(3), 274-279.

Aimeur, N. (2017). Effet des pesticides sur la microflore des eaux dans la région du Nord-Est algérien. Biodégradation par les souches isolées. Thèse de doctorat. Université Badji Mokhtar Annaba. P : 5.6.51.73.74.77.93.

Ais, R., et Ouamrane, H. (2018). Enquête sur l'utilisation des produits destinés à la protection phytosanitaires des céréales dans la wilaya de Bouira. Mémoire : Biodiversité et Environnement. Bouira : Université Akli Mohand Oulhadj. 35p .

Aissaoui, A. (2013). Evaluation du niveau de contamination des eaux de barrage hammam Grouz de la région de oued Athman (wilaya de Mila) par les activités agricoles. Thèse magister. Tizi-Ouzou. 71p.

Akashe, M. M., Pawade, U. V., et Nikam, A. V. (2018). Classification of pesticides: A review. *Int. J. Res. Ayurveda Pharm*, 9(4), 144-150.

Al-Ani, M. A., Hmoshi R. M., Kanaan, I. A. et Thanoon, A. (2019). Effect of pesticides on soil microorganisms. In *Journal of physics: Conference series* (Vol. 1294, No. 7, p. 072007). IOP Publishing.

Alismail, S. (2018). Les espaces intermédiaires en architecture du désert [en ligne]. Mémoire de magister : Architecture. Biskra : Université Mohamed Khider, 112 p. https://issuu.com/sabahalismail/docs/00_portfoliomai.

Aloui, N. (2020). Etude de la biodégradation de quelques pesticides par des bactéries isolées de différentes niches écologiques de la wilaya de Ouargla. Doctorat de 3ème cycle : Ecologie saharienne. Université de Ghardaia., 171 p.

Amadou, D. (2013). Diagnostic des pratiques d'utilisation et quantification des pesticides dans la zone des Niayes de Dakar (Seeegal), Thèse de doctorat de l'Université du Littoral Côte d'Opale, P: 29, 31.

Amara, A. (2013). Évaluation de la toxicité de pesticides sur quatre niveaux trophiques marins : microalgues, échinoderme, bivalves et poisson. Sciences agricoles. Université de Bretagne occidentale – Brest.

Ameur, H. (2014). Effet d'osmoprotecteurs naturels sur la restauration de croissance de *Streptomyces* et de plantes d'intérêt agricole sur sol salé ou aride [en ligne]. Thèse de doctorat : Microbiologie. Sétif : Université Ferhat Abbas Sétif 1, 145 p. (Page consultée le 30 avril 2024).

<https://www.univsetif.dz/Tdoctorat/facultes/facultes/snv/2014/AMEUR%20Hanane.pdf>.

An, S. (2012). Characterization of bacterial diversity in three oligotrophic environments using high-throughput sequencing technology [en ligne]. Thèse de doctorat : Microbiologie. Paris : Université Paris Sud – Paris XI, 190 p. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00859417/document>.

Agence Nationale de Développement de L'investissement wilaya d'El Oued (ANDI). (2014).11.

Beaumont, A., Cassier, P. (2004). Livre de biologie animale TOME1 .DUNOD, 3° édition .P20 -21.

Arias-Esével, M., Lopez-Periago, E., Martinez-Carballo, E., Merut, J. et Garcia- Rio, L. (2008). The mobility and degradation of pesticides in soils and the pollution of groundwater resources. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Vol. 123, p 247- 260.

Arkoub, F. (2012). Impacts des pesticides sur la santé des agriculteurs dans la wilaya de Bejaia. Mémoire master: Environnement et santé Publique. Département des sciences biologiques de l'environnement : Université Abderrahmane Mira - Bejaia ,45p.

Arya, S., Sudhakar, P., et Dwivedi, N. (2021). Pesticides and its impact on biodiversity and environment. *Iconic Res. Eng. Journals*, 4(10), 12–15. <https://doi.org/10.46505/IJBI.2021.3106>

Aubert, G. (1960). Les sols de la zone aride, étude de leur formation, de leurs caractères, de leur utilisation et de leur conservation. UNESCO/NS/AZ/514 colloque de paris communication, (5) : 1-30.

Aubertotj, N., Barbier, J-M., Carpentier, A., Gril, J-J., Guichard, L., Lucas, P., Savary, S., et Voltz, M. (2005). Pesticides, agricultures et environnement. Ed. Quae Versailles Cedex, France.119p.

B

Bakelli, A. (2014). Etude quantitative et qualitative des communautés microbiennes rhizosphériques au cours du développement in-situ de la luzerne commune (*Medicago sativa* L.) sur un sol Saharien [en ligne]. Mémoire de magister : Ecologie microbienne de la Rhizosphère. Alger : Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, 77 p. (page consultée le 27 mars 2024).

<http://repository.usthb.dz/bitstream/handle/123456789/2689/TH8016.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Balasubramaniam, V., Ganesh, S., Karunanithi, V., et Perumal, P (2011). Improved culturing, screening and fermentation of soil actinomycetes for actinomicrobial agents. *Int. J.Pharm and Ind. Res* VI (01) Issue (02): 153-159.

Barbouchi, M., Lhissou, R., Chokmani, K., Abdelfattah, R., El-Harti, A.et Aissa, N. (2013). Caractérisation de la salinité des sols à l'aide de l'imagerie radar satellitaire: cas de la Tunisie et du Maroc. Rapport de recherche (R1480). INRS, Centre Eau Terre Environnement, Québec.

Barriuso, E., Calvet, R., Schiavon, M. et Soulas, G. (1996). Les pesticides et les polluants organiques des sols : Transformations et dissipation. *Etude et Gestion des Sols*, 3-4, 279-296.

Batsch, D. (2011). L'impact des pesticides sur la santé humain, thèse d'état de docteur en pharmacie, université Henri Poincare-nancy, p48.

Bedjedj, S. (2011). Contribution à l'étude du fonctionnement microbologique des sols dans la région d'Ouargla (cas de l'exploitation de l'université d'Ouargla). Mémoire ingénieur : Agronomie Saharienne. Université Kasdi Merbah Ouargla., 84 P.

Belabed, B (2014). Recherche des activités anti-pathogènes chez les espèces du genre *Streptomyces* isolées de différents biotopes. Mémoire magistère : Biologie moléculaire et génétique des microorganismes. Oran : Université d'Oran, 98.

Belyagoubi, L (2014). Antibiotiques produits par des bactéries (actinomycètes et bactéries lactiques) issus de différents écosystèmes naturels Algériens. Thèse de doctorat : Substances Naturelles, Activités Biologiques et Synthèse. Tlemcen : Université Aboubakr Belkaïd Tlemcen, 170p.

Benmahdi, F. (2008). Etude de la rétention d'un herbicide dans un sol agricole. Mémoire de Magister. Université. Colonel Hadj Lakhdar Batna. P : 57. 61. 86. 91.

Bensalem, F. (2015). Impacts écologiques de la présence de quelques substances prioritaires (pesticides agricoles, hydrocarbures aromatiques polycycliques, polychlorobiphényles, organo-métaux) dans un écosystème littoral anthropisé, l'ensemble lac Ichkeul-lagune de Bizerte [en ligne]. Thèse de doctorat : biologie. Tunis : Université de Carthage, 201 p.

https://scholar.google.fr/scholar?q=impacts+%C3%A9cologiques+de+la+pr%C3%A9sence+de+quelques+substances&btnG=&hl=fr&as_sdt=0%2C5.

Bensultana, A., Ouhdouch, Y., Hassani, L., Mezrioui, N. E., et Rafouk, L. (2010). Isolation and characterization of wastewater sand filter actinomycetes. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 26(3), 481-487. <https://doi.org/10.1007/s11274-009-0194-0>.

Berard, A. et Pelte, T. (1999). Les herbicides inhibiteurs du photo-système II, effet sur les communautés algales et leur dynamique. *Revue des sciences de l'eau*, Cedex, France, p 333-361.

Berkal, I. (2006). Contribution à la connaissance des sols du Sahara d' Algérie [en Ligne]. Mémoire de magister : Sciences agronomiques. Alger : Institut National Agronomique, 108p. http://dspace.ensa.dz:8080/jspui/bitstream/123456789/98/1/berkal_i.pdf.

Berrah, A. (2011). Etude sur les pesticides. Mémoire master [en ligne]: toxicologie appliquée. Université de Tébessa Algérie.

Boland, J., et Florijn, A. (2004). Les pesticides: composition, utilisation et risques: les pesticides. Wageningen Wageningen: *Agromisa CTA*. 216p.

Bousseboua, H. (2005). Eléments de microbiologie. Campus-club, Algérie, (2ème édition), 179-199.

Bousta, N., et Jourdikh, Z. (2018). Contribution à l'étude de l'utilisation et de commercialisation des produits phytosanitaires dans la région de Bouira, Mémoire de master, Bouira, 71p.

Bouziani, M. (2007). L'usage immodéré des pesticides. De graves conséquences sanitaires. Le Guide de la Médecine et de la Santé. Epidémiologiste, Faculté De Médecine d'Oran.

Bowles, T. M., Acosta-Martinez, V., Calderon, F., et Jackson, L.E. (2014). Soil enzyme activities, microbial communities, and carbon and nitrogen availability in organic agro ecosystems across an intensively-managed agricultural landscape. *soil biol. biochem.* 68, 252–262.

Brock, T.D., Madigan, M., et Martinko, J. (2007). Biologie des micro-organismes. Paris : Pearson éducation France. 1047 p.

C

Calvert, R. (2013). Le sol. 2ème éd. Paris : France Agricole. 678 p. – (Agri production).

Calvet, R. et Charnay, M.P. (2002). Le devenir dans le sol des produits phytopharmaceutiques In Pesticides et protection phytosanitaire dans une agriculture en mouvement. Edition ACTA, Paris, 805-833p.

Calvet, R., Barriuso, E., Bedos, C., Benoit, P., Charnay, M.P. et Coquet, Y. (2005). Les pesticides dans le sol, conséquences agronomiques et environnementales. Edition France Agricole, Paris, 637 p.

Capot-Rey, R. (1958). Le vent et le modelé éolien au Borkou. Trav. I.R.S., 1958, 149-157P.

Chaibou, M. (2005). Productivite zootechnique du désert : le cas de bassin laitier d'Agadez au Niger [en ligne]. Thèse de doctorat : Biologie des populations et écologie. Montpellier : Université de : Montpellier II, 379 p. (page consultée le 26 Février 2024).

http://camelides.cirad.fr/fr/science/pdf/these_chaibou.pdf

Chaudhary, R., Kumar, R., Pandey A. et Prajapati, B. (2022). Why Soil pH Matter? 2(4), 139-142.

Chehma, A. (2005). Etude floristique et nutritive des parcours camelins du Sahara septentrional Algérien : cas des régions de Ouargla et Ghardaia [en ligne]. Thèse de doctorat : Biologie Appliquée. Annaba : Université Badji Mokhtar, 148p. (Page consulté le 10 mars).
http://camelides.cirad.fr/fr/science/pdf/these_chehma.pdf.

Chehma, A. (2008). Phytomasse et valeur nutritive des principales plantes vivaces du Sahara septentrional algérien [en ligne]. Alger : Dar Elhouda. 68 p.
https://www.researchgate.net/publication/271833656_Phytomasse_et_valeur_nutritive_des_principales_plantes_vivaces_du_sahara_septentrional_algerien.

Chouibi, M., et Foughali, S. (2021). Recherche des contaminations fongiques des fruits secs entreposés dans le commerce de la ville de Guelma. Mémoire Master Recherche : Qualité des produits et Sécurité Alimentaire. Université 8 Mai 1945- Guelma., 70p.

Clement, M et Lozet, J. (2011). Dictionnaire encyclopédique de science du sol. *éomorphologie : relief, processus, environnement*, 17 (4), 428P.

Conso, F., Cormis, L., Cugier, J.P., Bouneb, F., Delemotte, B., Gingomard, M.A., Grillet J.P et Cruz, J.F. et Diop, A. (1989). Agricultural Engineering in Development: Warehouse Tehcnique, FAO Agric. Services Bulletin 74, 115pp. FAO, Rome, 1989.

Cycon, M., et Piotrowska-Seget, Z. (2007). Effect of selected pesticides on soil microflora involved in organic matter and nitrogen transformations: pot experiment. *Polish Journal of Ecology*, 55(2), 207-220.

D

Dajoz, R. (1996). Précis d'écologie. Ed. Dunod, Paris, 551P.

Dari, R. (2013). Dénombrement de la biomasse microbienne des sols arides exemple d'un sol salé sous deux types de cultures [en ligne]. Mémoire de fin d'études : Sciences Agronomiques. Faculté des sciences de la nature et de la vie et sciences de la terre et de l'univers : Université Kasdi Merbah-Ouarla, 52 p. (page consultée le 3 mars 2024).
<https://bu.univ-ouargla.dz/ingenieur/pdf/dari-azika.pdf?idmemoire=1197>.

Djebbar, M., et Bensebbane, N. (2020). Aperçu général sur la microflore bactérienne des déserts chauds (étude de cas: Algérie et Maroc). Mémoire Master Recherche : Biologie Moléculaire des Microorganismes. Université des Frères Mentouri Constantine., 81p.

Djellouli, F. (2013). Aspect qualitatif et quantitatif des lipoprotéines sériques chez les agriculteurs utilisant les pesticides dans la région de Tlemcen. Thèse de magistère en Physiopathologie cellulaire. Université Abou Bekr Belkaid-Tlemcen. 63p.

Djelouat, W., et Mahdeb, D. (2019). Effet PGPR de quelques souches actinomycétales sur les caractères morpho-biochimiques de la tomate *Solanum Lycopersicum*. Mémoire Master: Biologie Moléculaire des Microorganismes. Université des Frères Mentouri Constantine, 56.

Djidel, M., Achite, M., Morsli, B., et Chenakeb, M. (2017). Assessment of soil organic carbon stocks in different land use systems in Algeria. *Carbon Management*, 8(4), 343-353.

Dommergues, Y., et Mangenot, F. (1970). Ecologie microbienne du sol. Masson et Cie éditeurs, Paris, 796p.

Duchaufour, H. (2001). Introduction à la science du sol. 6ème édition de l'abrégé de pédologie .Dunod.ED.Masson.Paris.314p.

Dugney, F. (2010). Produits phytosanitaires risques pour l'environnement et la santé, connaissance des usages en zone non agricole.ORS.IAU.61p.

E

Elhai. (1968). La végétation, la vie animale et les sols dans les montagnes.Biogéographie.Coll."U", A. Collin, 304, 333.

El Nemr, A., et El-Sadaawy, M. M. (2016). Polychlorinated biphenyl and organochlorine pesticide residues in surface sediments from the Mediterranean Sea (Egypt).*International Journal of Sediment Research*, 31(1), 44-52.

El-Tarabily, K.A., et Sivasithamparam, K. (2006). Non-Streptomycete actinomycetes as biocontrol agents of soil-borne fungal plant pathogens and as plant growth promoters. *Soil biology and Biochemistry*. 38 (7), 1505-1520.

F

Fartas, N., Mastere, M. et Benzougagh, B. (2022). Physico-Chemical Characterization and Evaluation of Soil Structural Stability in the Oued Joumouaa Watershed (Western Prerif). *The Iraqi Geological Journal*, 63-78.

Filimon, M. N., Roman, D. L., Bordean, D. M., et Isvoran, A. (2021). Impact of the herbicide oxyfluorfen on the activities of some enzymes found in soil and on the populations of soil microorganisms. *Agronomy*, 11(9), 1702.

G

Ghobrini, D., Potocar, T., Smolova, J., Krausova, G, Yakoub- Bougdal, S. et Tomáš Brányik, T. (2020). Heterotrophic cultivation of *Chlorella vulgaris* using saline waste water from the demineralization of cheese whey. *Biotechnology Letters*, 42(2), p: 209-217.

Gobat, J., Arango, M., et Mathey, W. (2003). Le sol vivant, base de pédologie, biologie des sols ,568p.

Goodfellow, M., Davenport, R., Stainsby, F. M., et Curtis, T. P. (1996). Actinomycete diversity associated with foaming in activated sludge plants. *Journal of Industrial. Microbiologie et Biotechnology*, 17(3-4), 2686. <https://doi.org/10.1007/BF01574701>.

Goodfellow M ; Kampfer P ; Busse HJ ; Trujillo ME ; Ludwig W ; Suzuki K et Withman WB.(2012). Phylum XXVI; Actinobacteria In: Bergey's Manual of systematic Bactériology- 37,189-216.

Gyawali, K. (2018). Pesticide uses and its effects on public health and environment. *Journal of Health Promotion*, 6, 28-36.

H

Hadjammar, T. (2018) .Effet des techniques culturales et type de sol sur la qualité du rendement de la culture de pomme de terre dans la région d'Oued Souf. Mémoire Master Recherche : Production Végétale. Université Mohamed khider de Biskra, 69p.

Handelsman, J. (2004). Metagenomics: application of genomics to uncultured microorganisms. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 68(4), 669-685.

Hatimi, A., Tahrouch, S. (2007). Caractérisations chimique, botanique et microbiologique du sol des dunes littorales du Souss- Massa. *Biomatec Echo* [en ligne], 2 (5), 85-97. (Page consultée le 21 mars 2024).

<https://pdfs.semanticscholar.org/4430/f61784f69e8837e390cb43c91c340b664c26.pdf>

Hayo, M. G., Werf, V. (1997). évaluer l'impact des pesticides sur l'environnement. *Courrier de l'environnement de l'INRA* n°31. P 06.

Hilali, L., A. Khattabi, N. Nssarlah, A. Malki, et C. (2002). Finance. Isolement des nouvelles souches d'actinomycétales productrices de substances antifongiques à partir du milieu naturel Marocain. *Rev Biol Biotech* 2: 49–53.

Hocinat, A. (2018). Biodégradation de quelques composés organiques volatils et certains pesticides par des actinomycètes provenant d'un sol agricole et des boues activées. Thèse de doctorat. Université frères Mentouri Constantine1:223p.

Huang, X.M., Liu, S.R., Wang, H., Huz, D ., Li, Z. G., You, Y. M. (2014). Changes of soil microbial biomass carbon and community composition through mixing nitrogen-fixing species with *Eucalyptus urophylla* in subtropical china. *Soil boil.biochem.*73, 42- 48.

Hugenholtz, P., Goebel, B. M., et Pace, N. R. (1998). Impact of culture-independent studies on the emerging phylogenetic view of bacterial diversity. *Journal of Bacteriology*, 180(18), 4765-4774.

I

ITAB. (2002). Activités biologiques et fertilité des sols: Intérêts et limites des méthodes analytiques disponibles. P: 7. 17.18.

J

Jain, S., Gupta, I., Walia, P., et Swami, S. (2022). Application of actinobacteria in agriculture, nanotechnology, and bioremediation. In *Actinobacteria-Diversity, Applications and Medical Aspects*. IntechOpen.

Jayaraj, R., Megha, P., et Sreedev, P. (2016). Review Article. Organochlorine pesticides, their toxic effects on living organisms and their fate in the environment. *Interdisciplinary Toxicology*, 9(3-4), 90-100. <https://doi.org/10.1515/intox-2016-0012>.

Joffin, J., et Leyral, G. (2006). *Microbiologie Technique 1 : dictionnaire des techniques*. 3^{ème} éditions, France. p. 331.

K

Kadri, S. R., et Chaouche, S. (2018). La remontée des eaux dans la région du Souf. Une menace sur un écosystème oasien. *Les Cahiers d'EMAM. Études sur le Monde Arabe et la Méditerranée*, (30).

Kalia, A., et Gosal, S.K. (2011). Effect of pesticide application on soil Microorganisms. *Arch. Agron. Soil. Sci.* 57 (6), 569-596.

Karabi, M. (2017). *Fonctionnement microbiologique des sols oasiens : cas de quelques sols de la région de Ouargla [en ligne]*. Thèse de doctorat : Sciences Agronomiques. Ouargla : Université Kasdi Merbah, 221 p. (Page consultée le 5 mars 2020) URL: <https://dspace.univ-ouargla.dz › jspui › bitstream › Mokhtar-KARABI-D>.

Khirennas, O., Mokrani, S., Behira, B., Bouras, N., et Moumen, O. (2023). Isolation, identification and screening of saharan actinomycete strain *Streptomyces fimbriatus* AC31 endowed with antimicrobial activity. *International Journal of Molecular and Cellular Medicine*, 12(1), 51.

Kitouni, M. (2007). *Isolement de bactéries actinomycétales productrices d'antibiotiques à partir d'écosystèmes extrêmes : identification moléculaire des souches actives et caractérisation préliminaire des substances élaborées*. Thèse de doctorat : Microbiologie Appliquée. Constantine : Université Mentouri, 176 p. (page consultée le 19 février 2024) <https://bu.umc.edu.dz/theses/biologie/KIT5003.pdf>.

Kouli, N. (2007). *Effet de la matière organique sur les propriétés physiques et chimiques des sols sableux de la région de Ouargad*. Mémoire ingénieur Agronomie. 6p.

L

Lamari, L. (2006). *Production de nouveaux antibiotiques du groupe des pyrrothines par une nouvelle espèce d'actinomycète, *Saccharothrix algeriensis**. Thèse de doctorat: biologie, option microbiologie. Algérie (Tizi-Ouzou): Université Mouloud Mammeri, 45-186 pp.

Lavelle, P., et Spain, A. V. (2001). *Soil Ecology*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands. 65 p.

Le Calvez, T. (2009). Diversité et fonctions écologiques des champignons en écosystème hydrothermal marin profond. Thèse de doctorat : Sciences de la Vie et de l'Environnement. Rennes : Université Rennes 1, 225 p. (page consultée le 30 avril 2024).
<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00465055/document>.

Leclerc, H., Gaillard, J-L., et Simonet, M. (1995). Microbiologie générale, la bactérie et le monde bactérien. Doin Editeurs, Paris.

Lee, J.Y., et Hwang, B.K. (2002). Diversity of antifungal actinomycetes in various vegetative soils of Korea. *Can J Microbiol* 48:407–417.<https://doi.org/10.1139/w02-025>.

Levin, T. P., Baty, D. E., Fekete, T., Truant, A. L., et Suh, B. (2004). *Cladophialophora bantiana* brain abscess in a solid-organ transplant recipient: case report and review of the literature. *Journal of clinical microbiology*, 42(9), 4374-4378.

Li, L., Yang, T., Redden, R., He, W., et Zong, X. (2016). Soil fertility map for food legumes production areas in China. *Scientific reports*, 6(1), 26102.

Lindquist, D. A. (2000). Les pesticides: la chimie au service de la survie. AIEA Bulletin, 23(3), 37-39.

Louchahi, M. R. (2015). Enquête sur les conditions d'utilisation des pesticides en agriculture dans la région centre de l'algérois et la perception des agriculteurs des risques associés à leur utilisation, Ecole des Productions Végétales et des Ressources Génétiques ED-APVRG, P:8-9.

M

Macalady, A. (1996). Microphytic soil crusts and desert ecosystems. *Journal of arid environnement*. kluweacademicpublishers, California , p 62-85.

Makhalanyane, T.P., Valverde, A., et Gunnigle, E. (2015). Microbial ecology of hot desert adaphic systems. *FEMS Microbiology reviews* [en ligne], 39 (2), 203-221. (Page consultée le 25 Février2024). <https://academic.oup.com/femsre/article>.

Mamy, L., Barriuso, Benito E., et Gabrielle B. (2015). Evaluer les risques environnementaux des pesticides: Exemple du désherbage des cultures résistantes ou non au glyphosate. *Sciences du Vivant [q-bio] / Sciences agricoles*. 121-143.

Margni, M., Rossier D., Crettaz P., et Jolliet, O. (2002). Life cycle impact assessment of pesticides on human health and ecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. no 1 93: 3-379.

Marijon, A., Hodille, E., Jourdy, Y., Buffaz, C., et Louvrier, C. (2020). Parasitologie et mycologie médicale pratique. De Boeck Supérieur.

Marone, A., Mbengue, M., et Thioye., A. (2018). Caractérisation des champignons en aérosol à partir des événements de poussières à Dakar, Sénégal, Afrique de l'Ouest. *Afrique Science [en ligne]*, 14(3), 304 – 315. (Page consultée le 7 mai 2024) https://www.researchgate.net/publication/331977232_Caracterisation_des_champignons_en_aerosol_a_partir_des_evenements_de_poussieres_a_Dakar_Senegal_Afrique_de_l%27O_uest.

Martin, A.J.W. et Faure, H. (1980). The Sahara and the Nile: Quaternary environments and the prehistoric occupation in northern Africa. Ed. collectif, 775 p.

Mathieu, C., et Pielain. (2009). Les principaux sols du monde. Voyage au centre de l'épiderme de la planète Terre. Lavoisier, éditions Tech et Doctorat. 233 p.

Mediouni, K. (1997). Organisation et potentialités de la diversité biologique algérienne. Min. Envi., Tome II, Projet Alg./97/G31/FEM/PNUD, 158 p.

Merrouki, K., Chefouh, R., Boubrit, B., et Sidi, H. (2011). Influence de la matière organique sur la stabilité structurale et sur la conductivité hydraulique. Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouazou ; Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques ; Département des Sciences Agronomiques ; 1-16 pp.

Messaouad, H. (2018). Contribution à l'étude cinétique des extraits enzymatiques de quelques souches de *Streptomyces* sp. isolées du sol de la région de Mostaganem. Mémoire de Master: Génétique Fondamentale et Appliquée. Mostaganem : Université Abdelhamid Ibn Badis, 54 p. (page consultée le 22 mars 2024).

<http://ebiblio.univmosta.dz/bitstream/handle/123456789/6247/MEMOIRE%20FIN%20d%27tude.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Messaoudi, O. (2020). Isolement et caractérisation de nouvelles molécules bioactives à partir d'actinomycètes isolés du sol algérien. Thèse du doctorat : Microbiologie Appliquée. Université Abou Bakr Belkaid de Tlemcen., 221p.

Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural (MADR). (2015). Recensement Général de l'agriculture : rapport général des résultats définitifs. Direction des statistiques Agricoles et des systèmes d'information, Alger, 125 p.

Morales-García, Y. E., Hernández-Canseco, J., Ramos-Castillo, G., Pérez, R., et Terrón, J. M. R. (2016). Cuantificación de *Penicillium* sp. por el método de goteo en placa. Revista Iberoamericana de Ciencias, 3(1), 12-19.

Morel, R. (1989). Les sols cultivés. Tech et Doc et Lavoisier, paris, 272p.

Mukherjee, A. K., Sampath Kumar, A., Kranthi, S., et Mukherjee, P. K. (2014). Biocontrol potential of three novel Trichoderma strains: isolation, evaluation and formulation. *3 Biotech*, 4, 275-281.

N

Naam, S., et Ferhat, S. (2019). Contribution à l'étude de la biomasse bactérienne et fongique tellurique de quelques biotopes dans la région d'Ouargla [en ligne]. Mémoire Master Académique : Ecologie Végétale et Environnement. Ouargla : Université Kasdi Merbah, 86 p. (page consultée le 4 avril 2024).

<https://dspace.univ-ouargla.dz/jspui/bitstream/123456789/21988/1/NAAMFERHAT.pdf>

Naoum, J.O. (2016). Study of bacterial populations from oligotrophic soil ecosystems using high throughput sequencing technologies [en ligne]. Thèse de doctorat : Sciences de la Vie et de la Santé. Paris : Université Paris-Saclay, 196 p. (page consultée le 19 janvier 2024).

<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01407360/document>.

Nebbak, D., et Yacine, R. (2021). Dénombrement et identification du cortège bactérien sous le sol de *Peganum harmala* L. de la région de Laghouat (ALGERIE). Mémoire Master Recherche : Biodiversité et Ecologie végétale. Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou., 88p.

Nielsen, U.N., et Ball, B.A. (2015). Impacts of altered precipitation regimes on soil communities and biogeochemistry in arid and semi-arid ecosystem. *Global change biology* [en ligne], 21 (4), 1407-1421. (Page consultée le 22 Janvier)
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/gcb.12789>.

P

Pairon, J.C. (2002). Toxicologie : impact des produits phytosanitaires sur la santé humaine. In Pesticides et protection phytosanitaire dans une agriculture en mouvement. Edition ACTA, Paris, 659-693 pp.

Pascucci, S. (2011). *Soil Contamination*. BoD–Books on Demand. 181P.

Pencreach, G., Devos, M., Poisson, L., Herault, J., Loiseau, C. et Ergon, F. (2004). Les microalgues marines: source alternative d'acide eicosapentaénoïque (EPA) et d'acide docosaénoïque (DHA). *Oléagineux, Corps gras, Lipides*, 11(2), 118-122.
 Agricultural Handbook. No. 60.

Porto, A. L. M., Melgar, G. Z., Kasemodel, M. C., et Nitschke, M. (2011). Biodegradation of pesticides. *Pesticides in the Modern World–Pesticides Use and Management*, Stoytcheva M.(Ed.)//Tech, 1, 407-438.

Prescott, L. M., Harley, J. P., et Klein, D. A., (2010). Microbiologie. De Boeck : Bruxelles. 2eme édition. P: 1088.

Prosser, J. I. (2010). Replicate or lie. *Environmental Microbiology*, 12(7), 1806-1810.

R

Raut, I., Călin, M., Capră, L., Gurban, A. M., Doni, M., Radu, N., et Jecu, L. (2021). *Cladosporium* sp. isolate as fungal plant growth promoting agent. *Agronomy*, 11(2), 392.

Rengasamy, P. (2006). Soil Salinity and Sodictity: Concepts and Measurements. *Soil Biology and Biochemistry*, 38(3), 255-272.

Richards, L.A. (1969). Diagnostic and improvement of saline and alkaline soils. *Agricultural Handbook*. No. 60.

Riche, D. (1982). La guerre chimique et biologique:(l'horrible visage de la 3e guerre mondiale). Belfond.

Riesenfeld, C. S., Schloss, P. D., et Handelsman, J. (2004). Metagenomics: genomic analysis of microbial communities. *Annual Review of Genetics*, 38, 525-552.

Robert, M., (1996). Le sol interface dans l'environnement, ressource pour le développement Dunod. Écoles d'ingénieurs.276p.

Roland, J.C., et Vian B. (1999). Biologie végétal : organisme des plantes sans fleurs 5ém Ed Dunod, Paris.

S

Saker, R. (2015). Recherche de nouveaux taxons d'actinobactéries halophiles des sols sahariens et potentialités antagonistes [en ligne]. Thèse de doctorat : Microbiologie. Sétif : Université Ferhat Abbas Sétif 1, 181 p. (page consultée le 6 mars 2024).

<https://www.univ-setif.dz/Tdoctorat/2015/SNV/SAKER.pdf>

Satish, G. P., Ashokrao, D. M., et Arun, S. K. (2017). Microbial degradation of pesticide : A review. *African Journal of Microbiology Research*, 11(24), 992-1012.

<https://doi.org/10.5897/AJMR2016.8402>.

Scheunert, I. (1992). Transformation and degradation of pesticides in soil. *Springer-Verlag Berlin*. 125 p.

Schloss, P. D., et Handelsman, J. (2005). Metagenomics for studying unculturable microorganisms: cutting the Gordian knot. *Genome Biology*, 6(8), 229.

Severin, F. (2002). Risques éco-toxicologiques des pesticides. Dynamique des produits dans les agrosystèmes. In *Pesticides et protection phytosanitaire dans une agriculture en mouvement*, Edition ACTA, Paris, 976 p.

Sharma, K., Kaushik, G., Thotakura, N., Raza, K., Sharma, N., et Nimesh, S. (2019). Fate of ibuprofen under optimized batch biodegradation experiments using *Micrococcus yunnanensis* isolated from pharmaceutical sludge. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16(12), 8315-8328.<https://doi.org/10.1007/s13762-019-02400-9>.

Smati, M. (2020). Etude de la biodiversité des bactéries actinomycétales dans les zones humides d'Ezzemoul, Djendli et Tinsilt par des approches culturelles et moléculaires. Thèse de doctorat de 3ème cycle : En Biotechnologies Microbiennes, Génomes et Environnement. Université Frères Mentouri Constantine1., 198 P.

Smith, P., Thiele-Bruhn, S., et Schimel, J. P. (2015). Effects of soil salinity on soil microbial communities and the role of saline soils in carbon sequestration. *Applied Soil Ecology*, 96, 196-203.

Soltner, D. (2005). Les bases de la production végétale. Le sol et son amélioration. Tome I, 24ème édition; collection Sciences et techniques agricoles.

Sujatha, B., Kumar, V., et Sahoo, S. K., (2022). Effects of pesticides on soil health. Department of Entomology, RPCAU, Pusa, Bihar-84812, 3(5), 252-255.

T

Tahar, W. (2017). Impact de la pollution par les pesticides sur la qualité des terres agricoles. Thèse de doctorat : Biologie En Protection, Conservation et valorisation des ressources Naturelles. Université Badji Mokhtar Annaba. ,161p.

Tahar, W., Bordjiba, O., et Aimeur, N. (2017). Effet de l'hymexazole et de la prométhryne sur la qualité physico-chimique et biologique des sols agricoles. P: 40. 41.42. 43.

Talhi, K. (2024). The Development of Desert Agriculture as a method of achieving food security in Algeria. *Journal of Contemporary Business and Economic Studies*. Vol. 7(1).

Touati, R., et Amor-Chelihi, L. (2016). Isolement et identification des Moisissures d'une zone aride. Mémoire Master Recherche : Ecologie Microbienne. Université des Frères Mentouri Constantine., 70p.

V

Viala, A., et Botta, A. (2005). Toxicologie (2ed), chapitre 71.

W

Wang, Y. (2015). The bacterial communities of sand-like surface soils of the San Rafael Swell (Utah, USA) and the Desert of Maine (USA) [en ligne]. Thèse de doctorat : Sciences de

la Vie et de la Santé. Orsay : Université Paris-Saclay, 176 p. (page consultée le 23 février 2024). <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01261518>.

Williams, S.T., et Cross, T. (1971). Chapter XI Actinomycetes. *Methods in Microbiology*, 4,295-334 . [https://doi.org/10.1016/S0580-9517\(09\)70016-9](https://doi.org/10.1016/S0580-9517(09)70016-9).

Wu, C., Liu, X., Wu, X., Dong F., Xu, J., et Zheng, Y. (2019). Sorption, degradation and bioavailability of oxyfluorfen in biochar-amended soils. *Science of the total environment*, 658, 87-94.

Y

Yusoff, S. N. M., Kamari, A., et Aljafree, N. F. A. (2016). A review of materials used as carrier agents in pesticide formulations. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 13(12), 2977-2994. <https://doi.org/10.1007/s13762-016-1096-y>.

Z

Zaater, A. (2020). Contribution à l'étude de l'effet de techniques culturales dans un sol sableux sur la pomme de terre dans la région d'El-oued. Thèse de doctorat : Machinisme agricole. Ecole nationale Supérieure Agronomique El-Harrach – Alger., 106 p.

Zaiz, I., et Boutoutaou, D. (2022). Irrigation Water Impact on Soil Properties in Arid Oued-Souf Region, Southeast Algeria. *GeoScience Engineering*, 68(1), 70-81.

Žáková, H., Pazderka, J., Rácová, Z., et Ryparová, P. (2019). Effect of bacteria *Bacillus*, *Pseudofirmus* and fungus *Trichoderma reesei* on self-healing ability of concrete. *Acta Polytechnica CTU Proceedings*, 21, 42-45.

Zellagi, A. (2022). Etude préliminaire des microorganismes dans un sol naturel cas des champignons. Master Académiques: sciences Agronomiques. Université de M'Sila., 71p.

Zerizer, H., Oulmi, L., Boughachiche, F., Rechioua, S., Boudemagh, A., Kitouni, M., et Boulahrouf, A. (2006). Identification d'une actinomycète, productrice d'antibactériens isolée de sols aride de la région Biskra. *Sciences et Technologie* (24) : 17-22.

ANNEXES

Annexe n° 1 : Milieux de culture et Solutions**Milieux d'isolement****Milieu GN**

Extrait de viande	1 g
Extrait de levure	2, 5 g
Peptone	5 g
NaCl	5 g
Agar	15 g
Eau distillée	1000 ml

pH: 7, 4

Milieu Olson

Sodium caséinate	2 g
L-asparagine	0, 1 g
Sodium propionate	4 g
K ₂ HPO ₄	0, 5 g
FeSO ₄	0, 01 g
Agar	15 g
Eau distillée	1000 ml

pH: 8, 2

Milieu ISP2

Extrait de levure	4 g
Extrait de malt	10 g
D-Glucose	4 g
Agar	20 g
Eau distillée	1000 ml

pH: 7, 3

Milieu Sabouraud

Peptone	10 g
Glucose	20 g
Agar	15 g
Eau distillée	1000 ml

pH: 6

Milieu BBM

NaNO ₃	25 g
CaCl ₂ .7H ₂ O	2, 5 g
MgSO ₄ .7H ₂ O	7 g
K ₂ HPO ₄	7, 5 g
KH ₂ PO ₄	17, 5 g
NaCl	2, 5 g
Solution alcaline d'EDTA	1 ml
Solution acidifiée de fer	1 ml
Solution de Bore	1 ml
Solution d'oligo-métaux	1 ml
Eau distillée	1000ml

Solutions**Solution alcaline d'EDTA**

EDTA	50 g
KOH	31 g
Eau distillée	1000 ml

Solution acidifiée de fer

FeSO ₄ .7H ₂ O	4, 98 g
Eau distillée	1000 ml

Solution de Bore

H ₃ BO ₃	11, 42 g
Eau distillée	1000 ml

Solution d'oligo-métaux

ZnSO ₄ .7H ₂ O	8, 82 g
MnCl.4H ₂ O	1, 44 g
MoO ₃	0, 71 g
CuSO ₄ . 5H ₂ O	1, 57 g
Co (NO ₃) ₂ . 6H ₂ O	0, 49 g
Eau distillé	1000 ml

Annexe n° 2 : Coloration de Gram

La coloration de Gram est une méthode utilisée pour identifier les bactéries en les classant en deux grands groupes : Gram positif et Gram négatif. Elle permet également de distinguer leur morphologie et leur mode de regroupement. Les étapes de cette méthode sont les suivantes :

- **Préparation du frottis bactérien** : Prélevez la colonie bactérienne à identifier et étalez-la sur une lame contenant une goutte d'eau physiologique, puis fixez-la en la passant rapidement sur la flamme du bec Bunsen.
- **Coloration au Violet de Gentiane** : Chaque frottis fixé est coloré pendant une minute avec le Violet de Gentiane, puis rincé à l'eau courante.
- **Mordantage** : Traitez la lame pendant une minute avec une solution de lugol, puis rincez à l'eau courante.
- **Décoloration** : Versez de l'éthanol sur la lame pendant 10 secondes, puis rincez immédiatement à l'eau courante. À ce stade, les cellules Gram négatives sont incolores, tandis que les cellules Gram positives restent violettes.
- **Recoloration** : Immergez la lame dans une légère coloration de fuchsine pendant 60 secondes, puis rincez et séchez-la entre deux feuilles de papier buvard propres.
- **Lecture** : Observez le frottis sous un microscope optique en ajoutant une goutte d'huile à immersion (à 100x). Les bactéries Gram positives apparaissent en violet tandis que les bactéries Gram négatives apparaissent en rose.

Annexe n° 3 : Les tableaux d'interprétation des paramètres physico-chimiques.
Tableau 14 : Echelle d'interprétation du pH des sols (Li *et al.*, 2016).

pH	<5,5	5,5 – 6,5	6,5 – 7,5	7,5 – 8,5	>8,5
Niveau de réponse	Fortement acide	Légèrement acide	Neutre	Légèrement alcalin	Fortement alcalin

Tableau 15 : Type de sol en fonction de la salinité et de la conductivité électrique (Richards, 1969).

Type du sol	Non salé	Peu salé	Salé	Très salé	Extrêmement salé
CE (dS/m)	< 0,6	0,6 – 1,2	1,2 – 2,4	2,4 - 6	> 6
Salinité (méq/100 g de sol)	< 3	3 - 6	6 - 12	12 - 30	> 30

Tableau 16 : Classification des sols selon le pourcentage d'humidité et de matière organique (Lee et Hwang, 2002).

Humidité (%)	2 - 9	9,1 - 13	13,1 - 20
Matière organique (%)	4 - 7	7,1 - 9	9,1 - 11
Appréciation	Faible	Modéré	élevé

<p align="center">Année universitaire : 2023-2024</p>	<p align="center">Présenté par : Benghachi Ibtihel Hibet Errahmane Hamlaoui Malak</p>
<p align="center">Thème : Effet de l'herbicide oxyfluorfène sur les bactéries, les champignons et les micro-algues d'un sol agricole Saharien</p>	
<p align="center">Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master en Microbiologie Appliquée</p>	
<p>Résumé</p> <p>L'oxyfluorfène est un herbicide largement utilisé en pré- et post-émergence pour le contrôle des mauvaises herbes. Cette étude vise à examiner l'effet de cet herbicide sur la microflore microbienne des sols agricoles Sahariens. Une analyse physico-chimique a été menée pour évaluer la qualité et les caractéristiques de deux échantillons de sol de la région d'Oued Souf, l'un traité avec l'herbicide et l'autre non traité. Les résultats ont révélé que les deux échantillons possèdent un pH légèrement alcalin, une faible humidité, un faible taux de matière organique, et sont non salés. Le dénombrement sur milieu solide a montré une diminution du nombre de microorganismes dans le sol traité, avec la disparition de certains microorganismes, soulignant l'effet négatif de l'herbicide sur la biodiversité microbienne. Au total, 18 souches ont été isolées et purifiées : cinq bactéries, neuf actinobactéries et quatre moisissures, identifiées sur la base de leurs caractéristiques morphologique.</p>	
<p>Mots-clefs : Biodiversité microbienne, dénombrement, herbicide, isolement, oxyfluorfène.</p>	
<p>Laboratoires de recherche : Laboratoire de Biologie Moléculaire et Cellulaire (U Constantine 1 Frères Mentouri).</p>	
<p>Président du jury : Pr. BOUDEMAGH Allaoueddine (Professeur- U Constantine 1 Frères Mentouri). Encadrant : Dr. BOUFERCHA Oumeima (MCB - U Constantine 1 Frères Mentouri). Examineur : Dr. ZAAMOUCI Ahlem (MAB- U Constantine 1 Frères Mentouri).</p>	