



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



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

جامعة الاخوة منتوري قسنطينة
كلية علوم الطبيعة و الحياة

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 : biologie moléculaire des microorganismes

Intitulé :

**ACTINOBACTERIES DES SOLS ARIDES: AGENTS PROMETEURS EN AGRICULTURE
ET DANS LA PRODUCTION D'ANTIBIOTIQUES**

Préparé par :

Le : 23 / 09 / 2021

Selmane Rania

Oudjertli Zoubaida

Jury d'évaluation :

Président du jury : Boudemagh Allaou Eddine (Professeur - UFM Constantine1).

Rapporteur : Benhizia Yacine (Professeur - UFM Constantine 1).

Examineur : Kitouni Mahmoud (Professeur- UFM Constantine 1).

Année universitaire
2020- 2021

Session 2021

Remerciement

À la fin de ce modeste travail, nous remercions d'abord Dieu le tout
Puissant de nous avoir accordé le courage, la volonté et la patience pour l'accomplir.

Nous tenons à remercier profondément notre encadreur de mémoire

Mr le professeur *Boudemagh Allaou Eddine* avoir accepté de Diriger ce travail qu'il trouve ici l'expression de ma profonde et sincère reconnaissance pour Tous ses efforts, son savoir, ses critiques constructives et sa confiance et Pour son aide et ses conseils précieux, pour ses intéressants commentaires sur ce mémoire et avec qui j'ai beaucoup appris.

Un remerciement chaleureux est adressé à nos enseignants responsables de la filière pour ses conseils et son soutien tout au long de l'année théorique. Aussi, nous remercions nos collègues pour leur aide amicale et pour leurs encouragements

Merci également les membres de jury, le président monsieur professeur **BENHIZIA YACINE** et professeur **KITOUNI MAHMOUD** comme membre examinateur.

Merci également à tous ceux qui, nous ont aidés de près ou de loin à la réalisation de ce modeste mémoire

Dédicace

Je remercie Dieu le Généreux pour m'avoir donné le courage et de m'avoir aidé à surmonter tous les obstacles pour mener ce travail à terme.

Je dédie ce travail

A la mémoire de mon père *Nouredine*, à qui je dois ce que suis devenue aujourd'hui, qu'Allah lui accorde son vaste paradis.

Je regrette qu'il ne soit plus là pour me fêter.

Regarde papa j'y suis presque, j'espère que tu es fière de moi .

A Ma mère *Nadia* qui m'a entouré d'amour, d'affection et qui fait tout pour ma réussite, que dieu la garde

A mon âme sœur *Nervine* pour leur encouragement permanent, et leur soutien moral

A mon fiancé *Houssein*

ton soutien ne m'a procuré que confiance et stabilité. Tu as partagé avec moi les meilleurs moments de ma vie, aux moments les plus difficiles de ma vie, tu étais toujours à mes côtés, Je te remercie de ne m'avoir jamais déçu. Aucun mot ne pourrait exprimer ma gratitude, mon amour et mon respect

A tout mes amis qui n'ont cessé d'être pour moi des exemples de persévérance, de courage et de générosité

Quoique que je fasse, je ne pourrais vous rendre ce que vous avez fait

Pour moi. Si je suis arrivé là, c'est bien grâce à vous. Que dieu vous bénisses,

Vous donne longue vie et vous protège pour moi.

Dédicace

Je remercie Allah le Généraux pour m'avoir vers la lumière de la
recherche du savoir et de la science

Je dédie ce mémoire :

A mes parents :

Ma mère, qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude.

Mon père, qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et pour m'aider à avancer dans la vie. Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit ; Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent venu de toi

Table des matières

Dédicaces

REMERCIEMENTS

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES ABRÉVIATIONS

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

INTRODUCTION01

Chapitre I : Revue Bibliographique

I. Les actinobactéries

1. Historique.....	03
2. Définition et caractéristiques principales des actinobactéries	
3. Caractéristique culturaux	06
3.1. Les actinobactéries anaérobies.....	09
3.2. Les actinobactéries aérobies.....	10
4. Taxonomie et critères de classification des actinobactéries	10
4.1 Taxonomie.....	10
4.2. Critères actuels d'identification.....	14
4.3. Caractères morphologiques.....	14
4.4. Caractéristiques culturelles ou macromorphologiques.....	16
5. Cycle de développement des actinomycètes	17
5.1. Mycélium aérien.....	18
5.2. Mycélium de substrat.....	18
6. Formation des spores par les actinomycètes	19
6.1. Les endospores.....	19
6.2. Les exospores.....	20
7. Caractères chimiotaxonomiques	20
7.1. les acides aminés des parois cellulaires.....	21
7.2. les glucides des paroi cellulaires	22

7.3. Lipides membranaire et pariétale	23
8. Critère physiologique	23
8.1. Taux d'humidité.....	24
8.2. Température.....	24
8.3. Le pH.....	24
9. Critères moléculaires.....	24
9.1. Séquençage de l'ADN ribosomique 16S et phylogénie.....	24
9.2. Hybridation ADN-ADN	25
9.3. Pourcentage cytosine et guanine (Taux de GC%)	25

Chapitre 2 : les sols arides

1. introduction.....	27
1.1. L'aridité.....	29
1.2. Les sols arides.....	29
1.2.1. Domaine hyper aride.....	29
1.2.2. Domaine aride.....	30
1.2.3. Domaine semi-aride.....	30
1.3. Les sols désertiques.....	30
1.4. Les sols hyperthermiques chauffées par géothermie.....	31
2. Causes de l'aridité.....	32
3. La répartition des zones arides.....	32
3.1. Dans le monde.....	32
3.2. Dans l'Algérie.....	32
4. Physicochimiques et microbiologique des sols dans les régions arides.....	33
5. La répartition des genres des actinomycètes dans les sols arides.....	34

Chapitre 3 : Rôle des actinobactéries provenant des sols arides, en agriculture et dans la production des antimicrobiens.

Introduction.....	36
1 Actinobactéries producteurs de molécules antibiotiques.....	37

1.1. Les sols arides en tant que sources d'actinobactéries à pouvoir antibiotiques.	37
1.2. Les antifongiques non polyéniques.....	41
1.3. Les actinobactéries rares : agents de la production d'antibiotiques.....	44
2-Actinobactéries en tant que bactéries PGPR.....	47

Liste des abréviations :

ADN : Acide DésoxyriboNucléique.

ARN16s : Acide RiboNucléique codant pour la sous unité ribosomique 16S.

PH : Potentiel Hydrogène

GC% : Pourcentage de guanine-cytosine

CO₂ : Dioxyde de carbone.

MA: Mycélium aérien

MS: Mycélium de substrat

ISP: The International Streptomyces Project

GYEA:Glucose–YeastExtract-Agar

SCA:Starch Casein Agar

PCR : Polymérase chaine réaction

DAP : Acide diaminopimélique

PGI : Phosphatidylglycérol

HPLC chromatographie liquide à haute performance.

mm : millimètres

µm : micromètre

UV : ultraviolet.

CMI : concentration minimales inhibitrices

P : Précipitation

ETP : Evaporation potentielle calculée par la méthode de Penman, en tenant compte de l'humidité atmosphérique du rayonnement solaire et du vent.

PGPR: Plant Growth-Promoting Rhizobacteria

IAA: l'acide indole acétique

RSM: Gestion du spectre radioélectrique

NaCl :Sodium chloride

RMN Résonance magnétique nucléaire

SCA : starch casein agar medium.

ISP : international streptomyces Project.

ATCC: American type culture collection.

°C : degré Celsius.

CSA : milieu gélosé à l'amidon et à la caséine.

GLM : Glucose à l'extrait de Malt et de levure.

CaCO₃ : carbonate de calcium.

sp : species (espèce).

µl : Microlitre.

% : Pourcentage.

VIH : Virus immuno-déficience Humaine

g : gramme

LC-HRMs Chromatographie liquide-spectrométrie de masse à haute résolution.

GB: globules blanc.

LISTE DES FIGURES

Figure 01: Milieux de culture gélose columbia du sang de cheval utilisé pour les actinomycètes anaérobies.

Figure 02 : Classification du genre *Streptomyces* selon Bergy' Manual of Systematic Bacteriology (2006).

Figure 03 : Ensembles de morphologie de bactéries de colonie de variété (actinomycètes)des plates d'agar.

Figure 04 : Actinobactéries isolées sur milieu amidon caséine agar (a ,c Photos des Boites des isolats Actinobacteriens).(b, d Morphologie des colonies individuelles).

Figure 05 : Cycle de développement du genre *Streptomyces* sur milieu solide.

Figure 06 : Croissance d'un actinomycète sur milieu agar de caséine et amidon .a. mycélium aérien. b. mycélium de substrat.

Figure 07 : Le sol en tant qu'habitat.

Figure 08 : une croûte des déserts observée au microscope électronique à balayage.

Figure 09 : Carte bioclimatique de l'Algérie (Agence national d'aménagement du Territoire 2004).

Liste des Tableaux

Tableau 01 : les caractéristiques des actinomycètes

Tableau 02 : Classes, ordres et familles du phylum des actinobactéries

Tableau 03 : Aspects macroscopiques et microscopiques des actinobactéries

Tableau 04 : Classification des peptidoglycanes des actinomycètes d'après Rogers et Becker (1980).

Tableau 05 : Types des glucides caractéristiques présents chez les actinomycètes.

Tableau 06 : Types pariétaux en fonction des constituants majeurs des parois cellulaires des actinomycètes.

Tableau 07 : Caractéristiques chimiotauxonomiques et morphologiques des principaux groupes génériques d'actinomycètes.

Tableau 08 : Superficies des zones arides de l'Algérie en 103 Km².

Introduction

INTRODUCTION

Les actinobactéries anciennement nommé actinomycètes sont des eubactéries, vivant généralement dans le sol. Ces bactéries sont connues par leurs activités métaboliques très diversifiées. Cela leur permet de vivre dans les écosystèmes les plus variés, en dégradant les composés les plus divers, comme par exemple la chitine, la pectine, la cellulose ...etc. (**Saravanamuthus, 2010; Allene et al ., 2005**).

Ces procaryotes sont connus par produire plusieurs métabolites secondaires (**Qinet et al ., 2016**). Cela permet entre autre, à ce groupe bactérien intéressant d'être des agents de contrôle de différentes pathologies (**Giddingst Newman, 2014; Yekkour, 2013; Toumatia, 2015**). Ils ont été utilisés en médecine, en industrie, en vétérinaire, en agriculture et dans bien d'autres secteurs (**George et al., 2012; Solecka et al., 2012**). Plusieurs biomolécules comme les antibiotiques, les enzymes, les vitamines, les immunosuppresseurs, les insecticides, les herbicides sont produit par ces bactéries (**Genilloud et al., 2011**).

Ces bactéries possèdent un grand génome avec plusieurs facteurs de transcription qui contrôlent l'expression des multiples gènes métabolique (**Angehrn et al., 2004; Imada, 2005**).

Du point de vue écologique, ces microorganismes sont retrouvés dans les écosystèmes les plus variés. Nous nous sommes intéressés dans cette étude, à ceux qui vivent dans les sols désertiques. La biodiversité microbienne et métabolique des actinobactéries dans ces biotopes, est relativement mal connue par les scientifiques. Certains affirment que ces endroits autrefois considérés comme stériles, regorgent de plusieurs genres d'actinobactéries. D'ailleurs dans des travaux anciens, sur les sols sahariens, les résultats étaient stupéfiants et montraient la présence d'une variété extraordinaire de ces bactéries dans ces écosystèmes arides. Ce sont les genres *Spirillospora*, *Saccharothrix*, *Actinomadura*, *Streptomyces*, *Nocardioides*,...etc (**Hacène et al., 1994; Sabaou et al., 1998**). Depuis, les travaux de certains chercheurs, n'ont cessé de découvrir des souches et des vertus nouvelles.

Les objectifs de notre étude consistent à relater les différentes recherches dans ce domaine. Trois parties importantes ont été développées dans ce mémoire. La première partie, est dédiée à des généralités sur les actinobactéries. Nous avons mis l'accent, dans la deuxième partie sur les sols arides et leurs caractéristiques uniques. Dans la troisième partie, nous

Introduction

avons essayé de cerner et développer le plus grand nombre de travaux qui concernent la biodiversité microbienne et métabolique des actinobactéries des écosystèmes aride et sahariens.

Chapitre I

Chapitre 1 : Les actinobactéries

1. Historique

Le terme actinomycète a été utilisé pour la première fois par Bollinger en 1877. Spécifié les agents pathogènes des maladies du bétail, cette période est appelée " Période médicale ", car l'intérêt pour ces microorganismes est presque dû Complètement en raison de leurs propriétés pathogènes (**Baldacci, 1962**). La deuxième la période (1900-1940) (Mariat et Sebald, 1990) concerne l'identification et la recherche les actinomycètes du sol, développés par Rossi-Doria (1890-1891), Waksman (1919), Lieske (1921), Jensen (1931-1933). Il comprend la compréhension des habitats des actinomycètes et concerne aussi les premières tentatives afin de distinguer les agents pathogènes des agents saprophytes (**Waksman et Woodruff, 1940**). C'était la période (1919-1940) pendant laquelle on avait une meilleure connaissance des germes. Il a été obtenu grâce à des recherches menées par Waksman, Lieske et Krassilnikov et d'autres chercheurs. Enfin, la période (après 1940), les antibiotiques produits par les actinomycètes, ont vu le jour. Le genre *Streptomyces* est l'actinomycète star dans ce type de production. Cet actinomycète, correspond possède un mycélium aérien qui donne naissance à des chaînes de spores transportées par les sporophores (**Waksman et Henrici en 1943**). En 1958, **Pridham** proposa un système de classification pour les *Streptomyces*, essentiellement basé sur la morphologie de la chaîne de spores et la couleur du mycélium aérien (**Ettling et al., 1958**). A partir des années 1960, des méthodes génétiques ont commencé à être développées par **Hopwood**. Ensuite, la génomique a révolutionné la classification des espèces. Les méthodes de découverte des métabolites secondaires et l'exploration du potentiel biotechnologiques de ces microorganismes, ont vu le jour (**Belyagoubi, 2014**).

2. Principales caractéristiques des actinobactéries

Les bactéries de la famille des actinomycètes sont généralement des bactéries Gram positives qui forment des filaments ramifiés et des spores asexuées. La chimie de ses parois c'est le peptidoglycane. La composition de la paroi cellulaire des actinomycètes varie fortement d'un groupe à l'autre et prend une importance taxonomique considérable. (**Prescott et al., 2010**).

Les extraits cellulaires totaux des actinomycètes sont dotés d'une paroi de type II, III et VI. Ils contiennent également des sucres caractéristiques, utiles pour l'identification (**Prescott et al., 2010**). La séquence de l'ARNr 16s et la forte teneur en G + C de son ADN

(70%) sont des caractéristiques principales de ce taxon. Les actinomycètes ont aussi une grande importance écologique. Ce sont essentiellement les habitants du sol qui abritent ces bactéries. Ils peuvent dégrader un nombre et une variété énormes de composés organiques, où ils jouent un rôle extrêmement importants dans la minéralisation de la matière organique et du sol (**Prescott et al., 2010**).

Ils ont tendance à se développer lentement sous forme de filaments ramifiés (0,5-1,0 µm dans le diamètre) (Eunice, 1983). Leur croissance, avec une durée moyenne de génération de 2 à 3 heures qui est la plus lente parmi les autres bactéries (Ottow et Glathe, 1968 ; Larpent et Sanglier, 1989).

Généralement, les actinomycètes sont des hétérotrophes, mais de nombreuses espèces sont également capables d'une croissance chimio-autotrophique (Ensign et al., 1993). Ce sont généralement des microorganismes mésophiles. Mais il existe aussi des espèces thermophiles tel que le genre *Thermoactinomyces*, dont la température optimale est incluse entre 50 et 60 °C. Concernant le pH, la majorité des actinomycètes sont des bactéries neutrophiles leur croissance est comprise entre 5 et 9. Certaines espèces surtout parmi les *Streptomyces*, sont acidophiles et croissent à un pH compris entre 3,5 et 6,5 et préfèrent donc les sols acides (**Alexander, 1977**). L'intervalle de température pour leur croissance varie de 20 à 45 °C et la plupart d'entre eux ont une température optimale d'environ 28 °C. Les espèces thermophiles peuvent croître à des températures de 55 à 65 °C (**Rangaswami et al., 2004, Cui et al., 2005**). Vis-à-vis de l'oxygène, les actinomycètes sont séparés en deux groupes selon le type respiratoire :

- Groupe 1: Les actinomycètes de type oxydatifs aérobies (se trouvent généralement dans le sol).
- Groupe 2 : Les actinomycètes de type fermentatif anaérobie strict ou facultatif (vivant dans les cavités naturelles de l'homme et des animaux) (**Silini, 2012**).

Lorsque les actinobactéries se développent sur un substrat solide tel que la gélose, le réseau des filaments ramifiés se développent à l'intérieur de la surface du substrat (Fig 01) pour former un mycélium végétatif. La majorité des actinobactéries ne sont pas mobiles, mais certains genres sont dotés de motilité, celle-ci est limitée aux spores flagellées. La composition de la paroi cellulaire varie considérablement d'un groupe à l'autre et a une grande importance taxonomique significative (**Prescott et al., 2010**).

Les actinomycètes sont actuellement inclus définitivement parmi les procaryotes (ils ont un matériel génétique dépourvu de noyau, à partir de ce point on soulignons les principales différences entre les champignons et les actinomycètes :

- La paroi des actinomycètes ne renferment ni cellulose ni chitine, ils sont présent chez les plantes et les champignons (**Shukla, 2010**).
- Ils ont un diamètre de mycéliums généralement de (0.7-0.8µm) est approximativement un dixième de celui de la plupart des hyphes fongiques.
- Les actinomycètes sont sensibles aux attaques des bactériophages et lysozymes (**Hawker et Linton, 1971**).
- Leurs sensibilités aux antibiotiques antibactériens (**Rangaswami et al., 2004. Winn et Konemn, 2006**).

Ces bactéries sont un réservoir inépuisable des principaux métabolites secondaires biologiquement actifs (**Ensign et al., 1993 ; Ait Barka et al., 2016**).

3. Caractères cultureux des actinomycetes

Tableau 01: Caractéristiques des actinomycètes

Genre	Dimensions (um) et morphologie	Teneur GC (mole %)	Exigence en Oxygène	Autres caractéristiques Distinctives
<i>Actinoplanes</i>	Mycélium ramifié, ne se fragmentant pas, Peu de croissance aérienne ; formation de sporanges: spores mobiles avec flagelles polaires	72-73	Aérobie	Hyphes souvent disposés en pulissade ; fortement colorés. parois cellulaires de type II: se trouve dans le sol et les matières végétales en décomposition
<i>Arthrobacter</i>	0.8-1.2 x 1.0-8.0 ; les jeunes cellules sont des bâtonnets irréguliers, les cellules plus âgées de petits cocci. Habituellement non Mobiles	Environ 59-70	Aérobie	Cycle de croissance bâtonnet-coque ; métabolisme Respiratoire ; catalase-positif ; principalement dans le sol

<i>Bifidobacterium</i>	0.5-1.3 x 1,5-8 ; bâtonnets de forme variable. Habituellement incurvés : non mobiles	55-67	Anaérobie	Cellules en forme de massue ou ramifiées, des paires souvent disposées en V :fermentent les glucides en acétate et lactate. mais pas en CO2 catalase-négatives
<i>Corynebacterium</i>	0.3-0.8 x 1,5-8.0 ; bâtonnets droits ou légèrement incurvés, extrémités effilées ou en forme de massue :non mobiles	51-63	Anaérobie Facultatif	Cellules souvent disposées en V ou en palissade de Cellules parallèles ; catalase-positives ; pratiquent la fermentation ; granules métachromatiques
<i>Frankia</i>	0,5-2.0 de diamètre ; hyphes végétatifs aux ramifications limitées ou abondantes,pas de mycélium aérien ; formation de sporanges à loges multiples	66-71	Aérobie ou Microaérophile	Sporangiospores non mobiles ; habituellement fixateurs d azote ; parois cellulaires de type III la plupart des souches vivent en symbiose avec des angiospermes et induisent des nodules
<i>Micrococcus</i>	0.5-2.0 de diamètre ; cocci par paires, par tétrades ou en amas irréguliers habituellement non mobiles	64-75	Aérobie	Colonies habituellement jaunes ou rouges ; catalase positif avec métabolisme respiratoire ; essentiellement sur la peau des mammifères ou dans le sol
<i>Mycobacterium</i>	0.2-0,6 X 1.0-10: bâtonnets droits ou légèrement incurvés, parfois ramifiés ;acido-resistants; non	62-70	Aérobie	Catalase-positif ; peuvent former des filaments qui se fragmentent facilement ; les

	mobiles et non sporulants			parois ont un contenu élevé en lipides: dans le sol et dans L'eau ;certains sont parasites
<i>Nocardia</i>	0.5-1,2 de diamètre; byphes végétatifs rudimentaires ou étendus qui peuvent se fragmenter en formes de bâtonnet au coccoïdes	64-72	Aérobie	Formation d'hyphes aériens ; catalase-positif ; paroi cellulaire de type IV ; largement distribué dans le sol
<i>Propionibacterium</i>	0.5-0,8 x 1-5;bâtonnets pléomorphes, mobiles; bifides ou amifiés: non sporulants	53-67	Anaérobie à Aérotolérant	La fermentation produit du propionate et de l'acétate, et souvent du gaz ; catalase-positif
<i>Streptomyces</i>	0,5-2.0 de diamètre; mycélium végétatif abondamment ramifié le mycélium aérien forme des chaines de spores plus ou moins nombreuses	69-78	Aérobie	Forment des colonies bien distinctes, lichénoïde, à l'aspect de cuir ou butyreuses, souvent pigmentées: utilisent comme aliments de nombreux composés organiques différents; organismes du sol

3.1. actinomycètes anaérobies

Pour ce groupe, on utilise la gélose columbia enrichies de 5% de sang de cheval, éventuellement additionnées d'acide nalidixique. Ces cultures sont examinées après 2 jours et 7 jours d'incubation à 37°C, la croissance est favorisée par le CO₂. Après 7 jours les colonies apparaissent opaques, blanches, irrégulières avec un cratère centrale en «dent molaire». Des filaments ramifiés des colonies jeunes sont présents sur la gélose. La croissance mycélienne caractérise les espèces. La croissance se réaliser en anaérobiose stricte ou facultative ou microaérophilie.



FIGURE 01: Milieux gélose columbia au sang utilisée pour les actinomycètes anaérobies.

3.2. actinomycètes aérobies

La gélose de sabouraud glucosées représente le milieu de choix, mais aussi les géloses au sang sont utilisées. Le Thioglycolate, cœur-crevette et bien d'autres, sont des milieux liquides autorisant un potentiel d'enrichissement. Il est à signaler que, la plupart des actinobactéries de l'environnement sont des aérobies.

4. Taxonomie et critères de classification des actinomycètes

4.1. Taxonomie

Le développement de l'étude des actinobactéries vient surtout après la découverte de la capacité de certains genres de ces bactéries à produire des antibiotiques.

La première phase de la classification des actinomycètes est basée principalement sur la morphologie, la pigmentation et les caractères de croissance sur des milieux composés de substrats complexes naturels.

Dans le but d'aider à l'identification des actinomycètes producteurs d'antibiotiques, une expertise de leur utilisation des substrats carbonés dans des milieux à composition chimiquement précise, avait commencé (**Pridhan et Gottlieb, 1948**).

La deuxième phase, consiste à analyser la composition chimique de la paroi cellulaire des actinomycètes. Ainsi, des groupes stables ont été établis (**Keast *et al.*, 1984**). Quatre types de paroi sont distingués selon trois critères caractérisant la composition et la structure du peptidoglycane :

1-Acide aminé en position 3 du térapeptide.

1- La présence de glycine dans les ponts interpeptidiques.

2- Le contenu en sucre du peptidoglycane.

(Prescott *et al.*, 2003).

La majorité des actinomycètes possèdent une paroi cellulaire type I à Type IV, avec des peptidoglycane contenant l'acide L- diméthyladipique (DAP) et glycine (type I); méso-DAP et glycine (type II); méso-DAP (type III) ou méso DAP avec arabinose et galactose (type IV).

En plus de la composition chimique de la paroi, la morphologie et la couleur des mycéliums et des sporanges, les caractères de surface des colonies, le pourcentage en GC de l'ADN, la composition phospholipidique des membranes cellulaires, la résistance des spores à la chaleur, sont aussi des propriétés précieuses dans la taxonomie des actinobactéries. D'autres nouvelles techniques ont été également appliquées à la taxonomie des actinomycètes. Il s'agit des méthodes basées sur la PCR et l'analyse de l'ADNr16s, qui se résument aux techniques suivantes :

1-Amplification

2-Digestion sous l'action d'endonucléase sélectionnées.

3-Séparation des fragments générés par électrophorèse sur gel d'agarose.

4-Comparaison du profil obtenu avec d'autres profils d'espèces actinobactéries publiées et validées.

4.1.1. Systématique des actinobactéries

Les actinomycètes sont rattachés au phylum des *Actinobacteria*, à la classe des *Actinobacteria*, à la sous classe des *Actinobacteridae* et à l'ordre des *Actinomycetales* créé par Buchanan en 1917 (Bergey's manual, 2007). Dans l'édition 2004 du manuel de la systématique bactériologique (Bergey), un arrangement des *Actinomycetales* proposait 9 sous ordres, 38 familles et 121 genres.

Plusieurs réévaluations systématiques récentes de l'ordre reflètent l'intégration de données moléculaires (la séquence du gène ARNr 16s).

Actuellement, le phylum *Actinobacteria* tel qu'il figure dans le Bergey's manual (2007). Il ne contient qu'une seule classe : *Actinobacteria*, cette classe est subdivisée en 5 sous classe, 6 ordres, 13 sous ordre (dont 9 appartiennent à l'ordre des *Actinomycetales*), 41 familles, 193 genres et près de 1711 espèces. (Bergey's manual, 2007).

D'après les systèmes traditionnels de classification de divers auteurs (Baldacci, 1958; Couch, 1963; Krassilnikov, 1949; Lechevalier *et al.* 1961; Cross *et al.* 1963; Nonomura et Ohara, 1957; Waksman, 1961), les espèces actinomycetales sont groupées ensemble dans des

genres ou des familles séparées sur la base de leur caractéristiques morphologiques et écologiques chimiques, physiologiques et moléculaires.(Yamaguchi, 1965)

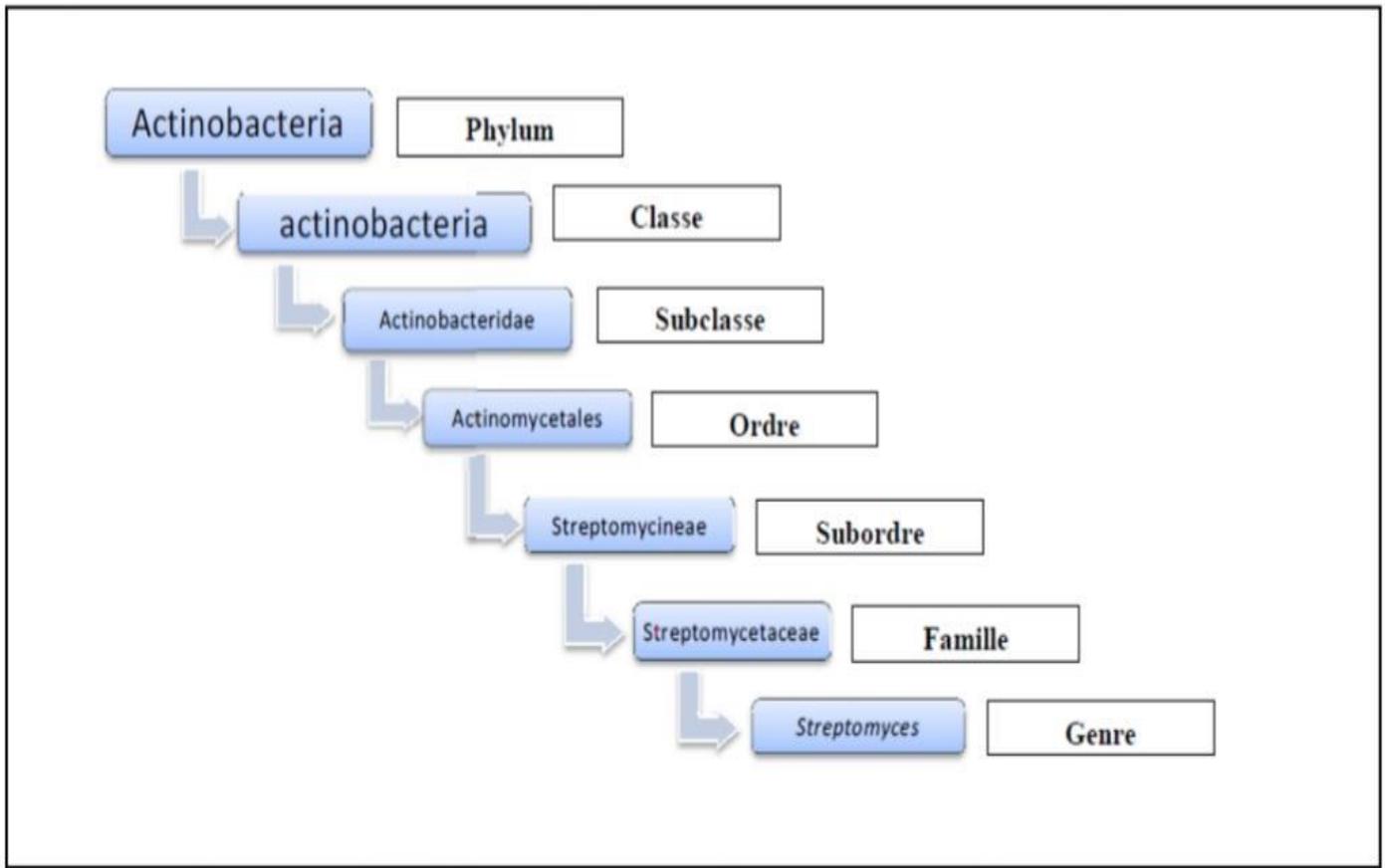


FIGURE 02. Classification du genre *Streptomyces* selon Bergy' Manual of Systematic Bacteriology (2006).

Tableau 02 : Classes, ordres et familles du phylum des actinobactéries (**Goodfellow et al., 2012**)

Classes	Ordres	Familles
<i>Actinobacteria</i>	<i>Actinomycetales</i>	<i>Actinomycetaceae</i>
	<i>Actinopolysporales</i>	<i>Actinopolysporaceae</i>
	<i>Bifidobacteriales</i>	<i>Bifidobacteriaceae</i>
	<i>Catenulisporales</i>	<i>Catenulisporaceae actinospicaceae</i>
	<i>Corynebacteriales</i>	<i>Corynebacteriaceae</i> <i>Dietziaceae</i> , <i>Mycobacteriaceae</i> , <i>Nocardiaceae</i> , <i>Segniliparaceae</i> , <i>Tsukamerullaceae</i>
	<i>Frankiales</i>	<i>Frankiaceae</i> , <i>Acidothermaceae</i> , <i>Cryptosporangiaceae</i> , <i>Geodermatophilaceae</i> , <i>Nokamerullaceae</i>
	<i>Glycomycetales</i>	<i>Glycomycetaceae</i>
	<i>Jiangellales</i>	<i>Jiangellaceae</i>
	<i>Kineosporales</i>	<i>Kineosporaceae</i>
	<i>Micrococcales</i>	<i>Micrococcaceae</i> <i>Beutenbergiaceae</i> <i>,Bogoriellaceae</i> <i>Brevibacteriaceae</i> <i>Cellulomonadaceae</i> <i>Dermabacteriaceae</i> <i>Dermacoccaceae</i> <i>Dermatophilaceae</i> <i>Intrasporangiaceae</i> <i>Jonesiaceae</i> , <i>Micobacteriaceae</i> <i>Promicomonosporaceae</i> <i>Rarobacteriaceae</i> , <i>Ruaniaceae</i>
	<i>Micromonosporales</i>	<i>Micromonosporaceae</i>
	<i>Propionibacteriales</i>	<i>Propionibacteriaceae</i> <i>Nocardoidaceae</i>
	<i>Pseudonocardiales</i>	<i>Pseudonocardiaceae</i>
	<i>Streptomycetales</i>	<i>Streptomycetaceae</i>
	<i>Streptosporangiales</i>	<i>Streptosporangiaceae nocardiopticaceae</i> <i>Thermomonosporaceae</i>
<i>Acidimicrobiia</i>	<i>Acidimicrobiales</i>	<i>Actinomicrobiaceae</i>
<i>Nitriliruptoria</i>	<i>Nitriliruptorales</i> <i>Euzebyales</i>	<i>Nitriliruptoraceae</i> <i>Euzebyaceae</i>
<i>Rubrobacteria</i>	<i>Rubrobacterales</i>	<i>Rubrobacteraceae</i>
<i>Thermophilia</i>	<i>Thermophilales</i> <i>Solirubrobacterales</i>	<i>Thermophilaceae</i> <i>Solirubrobacteraceae</i> , <i>conexibacteraceae</i> , <i>Patulibacteraceae</i>

4.2. Critères actuels d'identification

L'identification des actinomycètes est basée actuellement sur les critères morphologiques, physiologiques, chimiques et génétiques. Certains genre sont facile à identifier à cause de leur micromorphologie particulière, tel que les *Micromonopora*, *Actinoplanes*, *Planomonospora*, *Dactylosporangium*, *Streptosporangium*. En revanche, la majorité des autres cas la détermination d'autres critères sont nécessaire pour leurs identifications. Pour l'identification fiable et précise des espèces et sous-espèces, les caractères physiologiques et surtout génétiques sont indispensable.(**Sabaou et al., 1980**).

4.3. Caractères morphologiques

Les critères morphologiques sont liés directement aux caractères cultureux sur différentes milieux de culture et aux caractéristiques (**Shirling et Gottlieb, 1966**). Leur morphologie ressemble fortement à celle des mycètes (**Prescott et al ,1997**). Ils ont un diamètre des hyphes, habituellement de 0,5 µm (**Eunice, 1983**). Il est deux à dix fois plus petit que celui des champignons (de 2 à 5 µm). (**Gottliels, 1973**). Ils sont plus large, dont la longueur varie de 1,5_à 50µm. Les actinomycètes se présentent aussi sous forme de filaments, de bacilles ou de coccobacilles. Pour faciliter l'observation de la morphologie des filaments, des branchements, des organes de sporulations, on applique une coloration au bleu de méthylène.

Morphologiquement, les actinomycètes sont classés en deux groupes :

- Groupe 1 : Les organismes qui forment une masse de filaments ramifiés (mycélium).
- Groupe2 : Les organismes qui se présentent sous des aspects morphologiquement plus complexes que le premier groupe (**Lechevalier, 1985**).

Trois types des colonies des actinomycètes sont formés sur les milieux solides présentant différents aspects macroscopiques :

- 1-Des colonies poudreuses couvertes d'hyphes aériens fermement attachés au milieu.
- 2-Des colonies préserver de mycélium de substrat et se composent d'hyphes aériens attachés aux milieux par des crampons (**Kalakoutskii, 1976**).
- 3-Colonies pâteuses qui pouvant être facilement détachées des milieux solides (**figure 3 et 4**).



FIGURE 03 : Morphologie des colonies d'actinobactéries sur milieu gélosé.

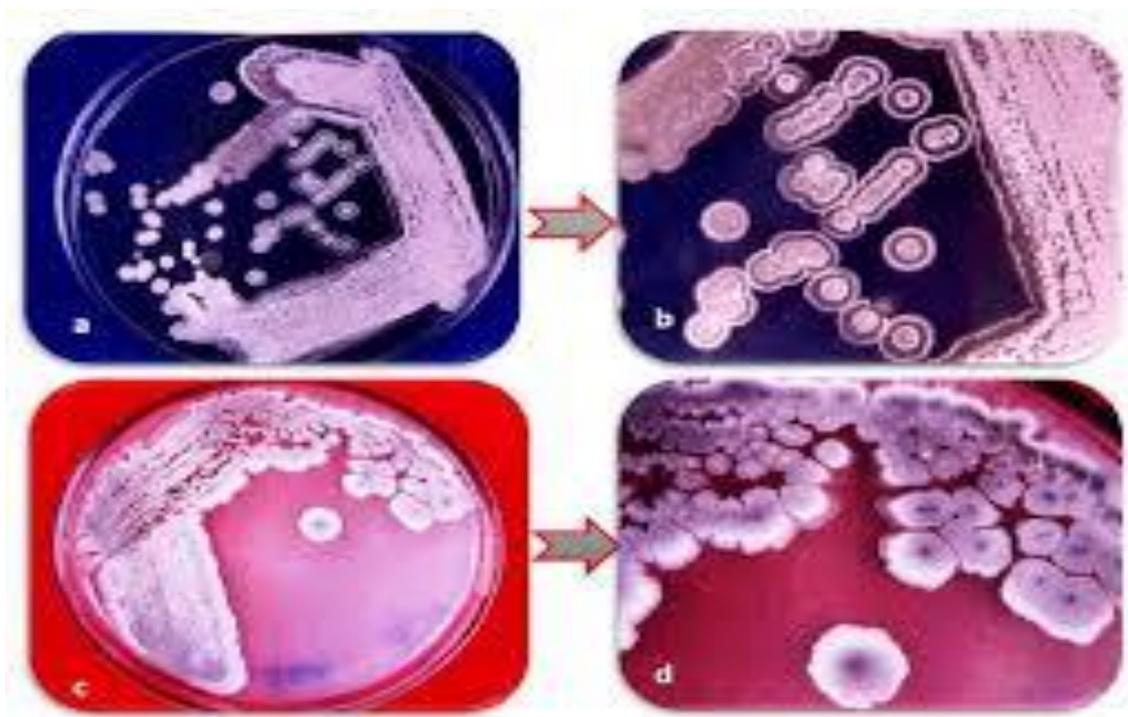


FIGURE 04 : Actinobactéries isolées sur milieu amidon caséine agar (a, c Photos des boîtes des isolats actinobactériens). (b, d, Morphologie des colonies individuelles).

4.4. Caractéristique micro et macro-morphologiques des actinobactéries

Les caractéristiques des aspects macroscopiques et microscopiques sont résumées dans le tableau 3

Tableau 3 : Aspects macroscopiques et microscopiques des actinobactéries (Harir, 2018).

Caractéristiques macromorphologiques	Caractéristiques micromorphologiques
<ul style="list-style-type: none"> - Production ou non d'un mycélium aérien (MA). - Présence d'un mycélium du substrat (MS). - Détermination de la couleur du MA et du MS ainsi que des pigments diffusibles dans le milieu de culture 	<ul style="list-style-type: none"> - Fragmentation ou non du MS. - Présence de sporanges sur le MA ou sur le MS, la forme et la taille des sporanges ainsi que la longueur des sporangiophores. - Formation de spores sur le MA et /ou sur le MS, leur forme, leur taille et leur agencement : isolées, par deux, par quatre ou en chaînes. - Mode de sporulation: spores porté par des sporophores ou mycélium aérien se fragmentant de manière anarchique en spores. - Présence de spores mobiles ou non mobiles. - Ornementation de la surface des spores (lisse, rugueuses, épineuses ou chevelues) - Formation de structures particulières: faux sporanges, etc.

5. Cycle de développement des actinomycètes

Le cycle biologique de nombreux actinomycètes comprend le développement de cellules filamenteuses appelées **hyphes** et celui des spores (fig. 5). (Prescott *et al.*, 2010).

Les actinomycètes se présentent généralement sous deux couches de mycéliums :

- La première couche : mycélium aérien.
- La deuxième couche: mycélium du substrat.

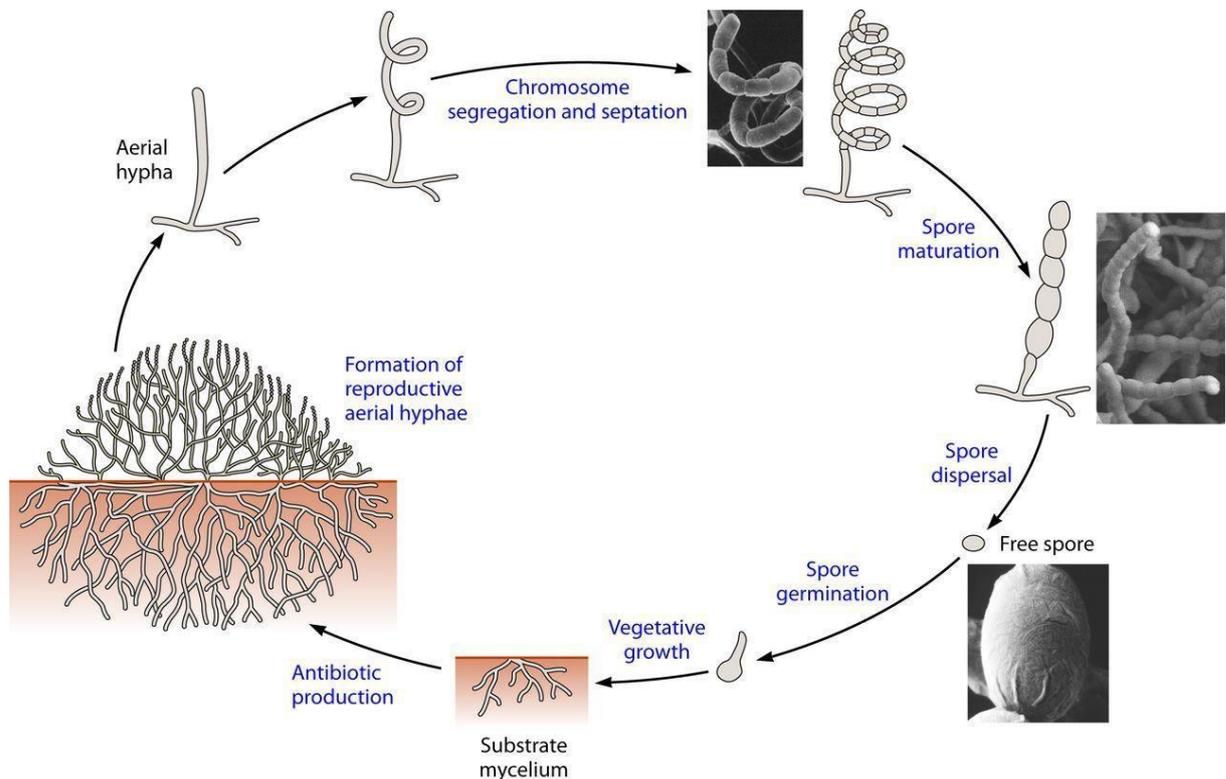


Figure 5 : Cycle de développement du genre *Streptomyces* sur milieu solide (Barka *et al.*, 2016).

5.1. Mycélium aérien

Le mycélium aérien est plus souvent épais que le mycélium du substrat, il désigne une différenciation suffisante dont plusieurs isolats sont capable d’être séparés en quelque nombre de groupes ayant des caractéristiques morphologiques semblable dans des conditions précise. D’ailleurs, la classification du genre *Streptomyces* en espèce est basée sur ceci. Il est caractérisé par une structure cotonnière, veloutée ou en poudreuse. Une formation de zones concentriques et de pigmentation ou formation d’anneaux sont également remarquées.

5.2. Mycélium du substrat

Le mycélium de substrat appelé aussi « mycélium primaire » ou encore végétatif, se développe à partir du tube de germination des spores. Lorsque les hyphes croissent sur un substrat solide comme le sol ou la gélose, les actinomycètes développent un réseau ramifié d’hyphes. Celui-ci, poussent vers la face intérieure du substrat pour former un tapis dense d’hyphes, qu’on appelle mycélium végétatifs. Chez beaucoup d’actinomycètes les hyphes végétatifs se différencient en hyphes qui poussent vers le haut et forment un mycélium aérien qui s’élève au-dessus du substrat (Prescott *et al.*, 2010). La germination des spores se passe

en quatre étapes : L'activation, l'initiation, l'émergence du tub germinatif et la croissance du tube germinatif.

Chez ces bactéries, le mycélium du substrat possède différentes tailles, formes et épaisseurs. Elles ont une variation de couleur du blanc ou pratiquement incolore à jaune, marron, rouge, rose, orange, vert ou noir (Fig. 6).

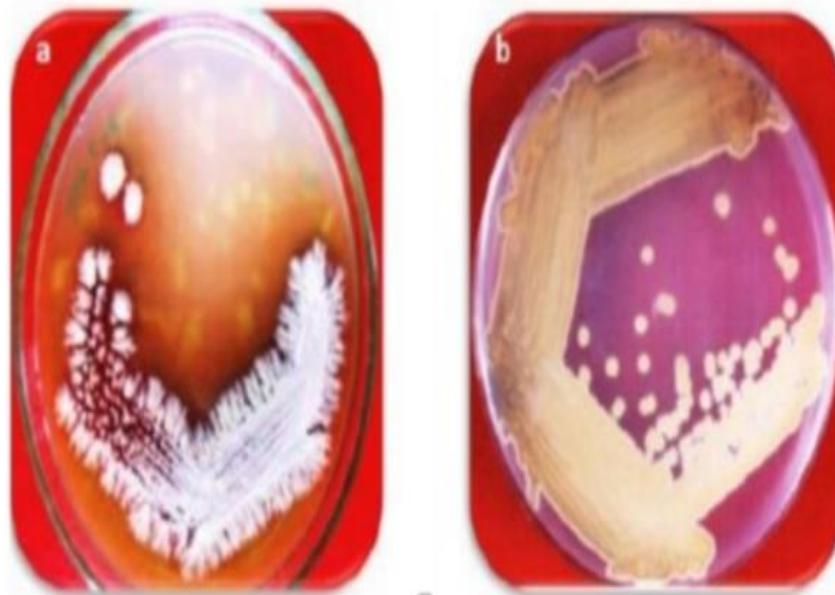


FIGURE 06 : Croissance d'un actinomycète sur milieu agar de caséine et amidon .a. mycélium aérien. b. mycélium de substrat (Ananda, 2016).

6. Formation des spores par les actinomycètes

La sporulation des groupes d'actinomycètes peuvent être soit en morcelant certains hyphes pour la formation des conidies. Ils sont un peu plus résistants aux conditions hostiles que les hyphes.

6.1. Les endospores

Elles se forment d'une réorganisation du cytoplasme avec la formation d'une nouvelle paroi dans l'hyphe. Les endospores sont formées par des actinomycètes thermophiles et sont semblables morphologiquement et chimiquement à celles des *Bacillaceae*. Elles sont composées d'une paroi externe épaisse multicouche et résistante qui enveloppe le cortex, la membrane cytoplasmique, le cytoplasme, les ribosomes et le nucléoïde. Les endospores des

thermo-actinomycètes sont capable de rester viables dans le sol de nombreuses décennies (Sykes et Skinner, 1973).

6.2. Les exospores

Généralement les exospores sont formés par les actinomycètes. Ils peuvent avoir des formes très variables. Leurs développement s'effectue par séptation des extrémités du filament, habituellement en réponse à une privation en éléments nutritifs. La majorité ne sont pas particulièrement résistantes à la chaleur, mais résistent à la dessiccation ce qui leurs permettent une bonne adaptation.

7. Caractères chimio taxonomiques des actinobactéries

La chimiotaxonomie est un système d'identification et de classification basé sur des caractères chimiques. Ces derniers déterminent des groupes et des genres. La composition du peptidoglycane est largement étudiée dans ce système (Tab. 5). La composition en sucres cellulaires, en phospholipidiques des membranes et la production d'acide aminés, de glucides et de lipides sont également des critères d'identification important chez les actinobactéries (Stanek et Roberts, 1974; Lechevalier *et al.*, 1977; Lechevalier et Lechevalier 1985; Larpent et Sanglier, 1989).

Tableau 04 :Classification des peptidoglycanes des actinomycètes d’après Rogers et Becker (1980).

Position de la liaison Interpeptidique	Pont peptidique	Aminocide en position 3
Peptidoglycane A Liaison Interpeptidique en Position 3 et 4	1-liaison simple 2-Polymère peptidique 3-L-acide aminé monocarboxylique ou glycine ou oligopeptides 4-contient un acide aminé dicarboxylique	α L-Lysine β L-ornithine γ Acide mesodiaminopimélique α L-Lysine α L-Lysine β L-ornithine γ Acide LL-mesodiaminopimélique α L-lysine β L-ornithine γ Acide mesodiaminopimélique δ Acide L-diaminobutyrique
Peptidoglycane B Liaison Interpeptidique en position 3 et 4	1-contient un L-amino acide 2-contient un D-amino acide	α L-Lysine β L-homoserine γ Acide L- glutamique δ L-alanine α L-ornithine L-homoserine Acide L-diaminobutyrique

7.1. Les acides aminés des parois cellulaires

La forme isomérique de l’acide diaminopimélique (DAP) la forme L et D dans la séquence térapeptidique du peptidoglycane renforce la dureté de la paroi. La liaison hydrogène ne peuvent pas se former et les acides aminées permet de s’aligner grâce à la structure noté dans les lignes. La L-Protéase n’attaque pas le peptidoglycane et cela à cause de la présence des acides aminés de la forme D et absence des acides aminés aromatiques (Tab. 7,8), (**Rogers et Becker 1980**). Huit groupes chimiques ou chémotype partiiaux des parois sont classés à la base de leur composition en DAP et aussi en d’autres acides aminés ce sont:

GI: Présent chez *Arachnia*, *Pimelobacter*, *Nocardioides* et *Streptomycetes*.

GII: Présent chez *Actinoplanes* et *Actinomyces*.

GIII: Présent chez *Dermatophilus*, *Maduromycetes* et *Frankia*...ect.

GIV: Présent chez *Micropolyspora* et *Nocardioformes*.

GV: Présent chez *Actinomyces*.

GVI : Présent chez *Microbacterium*, *Oerskovia*, *Promicromonospora*, *Actinomyces* et *Arcanobacterium*.

GVII: Présente chez *Agromyces*, *Calvibacter*.

GVIII: Présente chez *Aureobacterium*, *Curtobacterium*, *Cellulomonas*.

7.2. Les glucide des parois cellulaires

Les glucides en taxonomie sont très importants. Ils sont regroupés en quatre groupes présenté dans le tableau 6.

Tableau 05 : Glucides caractéristiques présents chez les actinomycètes (Lechevalier et Lechevalier, 1970).

Type de glucide	Genre
Arabinose + galactose	<i>Nocardia</i> , <i>Actinopolyspora</i> , <i>Prauserella</i>
Madurose	<i>Actinomadura</i> <i>Streptosporangium</i>
Pas de sucre caractéristiques	<i>Nocardiopsis</i>
Arabinose +xylose	<i>Micromonospora</i> , <i>Actinoplanes</i>

Tableau 06 : Types pariétaux en fonction des constituants majeurs des parois cellulaires des actinomycètes (Lechevalier et Lechevalier, 1970).

Type de parois	Constituants majeurs	Exemple de genre
I	LL- DAP ^a	<i>Streptomyces</i>
li	Méso ou hydroxy-DAP ^a Glycine,xylose,arabinose	<i>Micromonospora</i>
III	Méso-DAP ^a , madurose ou aucun sucre	<i>Actinomadura</i>
IV	Méso-DAP ^a . arabinose Galactose	<i>Nocardia</i>
V	Lysine , ornithine	<i>Actinomyces istaelii</i>
VI	Lysine	<i>Oerskovia</i>
VII	DAB , glycine	<i>Agromyces</i>
VIII	Ornithine	<i>Cellulomonas</i>

Tableau 07: Caractéristiques chimiotaxonomiques et morphologiques des principaux groupes génériques d'actinomycètes (Prescott *et al.*, 2003).

Groupe Générique	Type de paroi (peptidoglycane)	Type de composition en sucre cellulaire	Disposition des spores	Présence de sporanges	Genre représentatifs
Actinomycètes nocardioformes	I, IV	A	Variable	Non	<i>Nocardia</i> <i>Thodococcus</i> <i>Nocardioides</i> <i>Saccharomonospora</i>
Actinomycètes à sporanges à loges multiples	III	B, C, D	Amas de spores	Habituellement	<i>Geodermatophilus</i> , <i>Dermatophilus</i> <i>Frankia</i>
Actinoplanetes	II	D	Variable	Habituellement	<i>Actinoplanes</i> <i>Pilimelia</i> <i>Dactulosporangium</i> <i>Micromonospora</i>
<i>Streptomyces</i> et Genre apparentés	I	Sans valeur Taxonomique	Chaînes de 5 à plus de 50 spores	Non	<i>Streptomyces</i> <i>Sporichya</i>
Maduromycètes	III	B, C	Variable	Oui ou non	<i>Actinomadura</i> <i>Microbispora</i> <i>Planomonospora</i> <i>Streptosporangium</i>
<i>Thermomonospora</i> et genre apparentés	III	C (parfois B)	Variable	Non	<i>Thermomonospora</i> <i>Actinosynnema</i> <i>Nocardiopsis</i>

7.3. membranaire et pariétale en lipides

Les lipides constitutifs de la paroi cellulaire importants en taxonomie peuvent être divisés en trois groupes : les lipides contenant une partie polaire (phospholipides), les ménaquinones, les acides gras et parfois les acides mycoliques. Donc l'analyse des lipides est un autre élément qui est important fournit des informations de valeur dans la classification et l'identification des actinobactéries (Lechevalier et Lechevalier, 1980; Collin *et al.*, 1977).

8. Critères physiologiques pour l'identification des actinobactéries

La détermination des espèces se base aussi sur les caractères physiologiques. Ces critères concernent des tests de dégradation de différents composés glucidiques, lipidiques, protéiques, polymères complexes, stéroïdes. Plus la résistance aux différents agents chimiques (antibiotiques), température, pH et salinité. Le type de sol, la profondeur dans le

sol, la nature et l'abondance de la matière organique et la végétation du sol (**Skinner, 1973; Bacilia, 2003**).

8.1. d'humidité

Le plus souvent l'isolement des actinomycètes se passe dans des sols contenant des taux faibles jusqu'à modérés d'humidité. Ce qui évoque qu'ils ne sont pas beaucoup influencés par les conditions semi-arides (**Oskay et al., 2004; Prescott et al., 2007**).

8.2. température

La plupart des actinomycètes sont des microorganismes mésophiles, mais aussi il se trouvent des espèces thermophiles.

8.3. pH

La majorité des actinomycètes du sol sont neutrophiles, leur pH de croissance est dans un intervalle de pH entre 5 et 9 avec une croissance optimale à pH neutre ou légèrement alcalin (**Lee et Hwang, 2002**). L'isolement est habituellement basé sur ce caractère de neutralité.

9. Caractéristiques moléculaires

Parmi Les principales techniques moléculaires utilisées dans la classification des actinomycètes pour l'identification des espèces sont :

1. le séquençage de l'ADN ribosomique 16S,
2. l'hybridation ADN-ADN
3. la détermination du pourcentage de G+C qui n'est obligatoirement demandé que lors d'une proposition de création de nouveaux genres.

Ces critères ont permis de tracer toute la phylogénie des actinomycètes (Stackebrandt et Woese, 1981; Stackebrandt *et al.*, 1997; Kämpfer, 2010).

9.1. Séquençage de l'ADN ribosomique 16S

Le séquençage de l'ADNr 16S est une technique fiable et rapide pour l'identification et classification phylogénique des actinomycètes (Weisburg *et al.*, 1991 ; Cook et Meyers, 2003). Le gène codant de L'ARN ribosomique 16s est l'outil principal utilisé pour l'identification moléculaire des actinomycètes Il s'agit d'un gène chromosomique d'une taille d'environ 1500 paires de bases, présent chez toutes les bactéries. Il présente ainsi à la fois des régions hautement conservées tout en contenant de courtes séquences signature spécifiques de genre et parfois d'espèces.

Ce gène est amplifié par la technique Polymerase Chain Reaction (PCR) grâce à une ADN polymérase (polymérase Taq) isolée de la bactérie *Thermus aquaticus*. Les séquences obtenues à partir de différents taxons font l'objet d'études comparatives (ou entre eux ou avec les espèces incluses dans la base de données génomique des espèces de référence. Pour mener à bien cette recherche, plusieurs méthodes de calcul ont été développées qui peuvent être utilisées comme programme informatique de réseau).

9.2. Hybridation ADN-ADN

L'hybridation moléculaire ADN-ADN est définitivement utilisée pour identifier le domaine espèces par rapport à celles déjà décrites. Sa mise en œuvre n'a été possible qu'après découverte des phénomènes de renaturation de l'ADN (Marmur Doty, 1962). Il existe deux espèces considérés comme différents s'ils ont un indice de similarité (l'indice de reconnexion de leurs threads ADN) moins de 70% (Wayne *et al.*, 1987)

9.3. Pourcentage du pourcentage de cytosine de guanine (G+C)

En 1949, Chargaff a montré la teneur en bases puriques et en bases pyrimidiques de L'ADN peut varier d'un individu à l'autre mais il a été cohérent pour les individus de la même espèce. La teneur principale en ADN est exprimée par le pourcentage de guanine-cytosine (% GC). Chez les bactéries, cette valeur est très dispersive et varie de 25 à 75% (Rossello-Mora et Aman, 2001). Actuellement, on suppose que les bactéries dont la teneur en G+C varie de plus de 5% ne sont pas différentes. Il peut appartenir à la même espèce. Lorsque cette différence dépasse 10%, les deux bactéries appartiennent à différentes genres. Cependant, les valeurs peuvent être identiques sans que Les bactéries sont étroitement liées et proches (Rosselló-Mora et Amann, 2001). Selon Stuckbrandt *et al.* (1997), La détermination de G+C (%) doit être effectuée pour l'isolat-type de l'espèce-type d'un nouveau genre. Le pourcentage GC a permis de reconsidérer la définition des actinomycètes (G + C plus de 55%) et de différencier la lignée d'actinomycètes des *Bacillaceae*, des *Lactobacillaceae* et d'autres bactéries à Gram+ (G+C inférieur à 55%). De même, d'autres bactéries non mycéliennes telles que *Corynebacterium*, *Cellulomonas*, *Arthrobacter* et même *Micrococcus*, sont considérées comme faisant partie de la lignée phylogénétique des actinomycètes (Goodfellow, 1985 et 1989).

CHAPITRE II

CHAPITRE 02 : Les sols arides

1. Introduction

Le sol est un environnement complexe qui offre une variété de micro habitats. C'est une raisons pour lesquelles la diversité microbienne dans les sols est beaucoup plus grande que dans les milieux aquatiques. Dans les écosystèmes terrestres, la production primaire est assurée par les plantes, mais le recyclage des nutriments qui s'effectue via une boucle microbienne est tout aussi essentiel. Chaque type de climat et de sol abrite une communauté de micro-organismes qui lui est spécifiquement adaptée (**Prescott *et al.*, 2003**).

Les sols sont dynamiques et évoluent au cours du temps. Ce processus peut prendre des décennies et même des siècles. La matière organique des sols peut être vieille de milliers d'années a cause de changements dans la croissance des plantes, de la température, des pluies, des perturbations et de l'érosion. Un sol qui a mis des centaines d'années à se former peut être rapidement dégradé, si la communauté microbienne est activée. Par exemple, cela peut se produire lorsqu'un sol marécageux est drainé, ce qui améliore l'accès de l'oxygène à la matière organique accumulée (**Prescott *et al.*, 2003**).

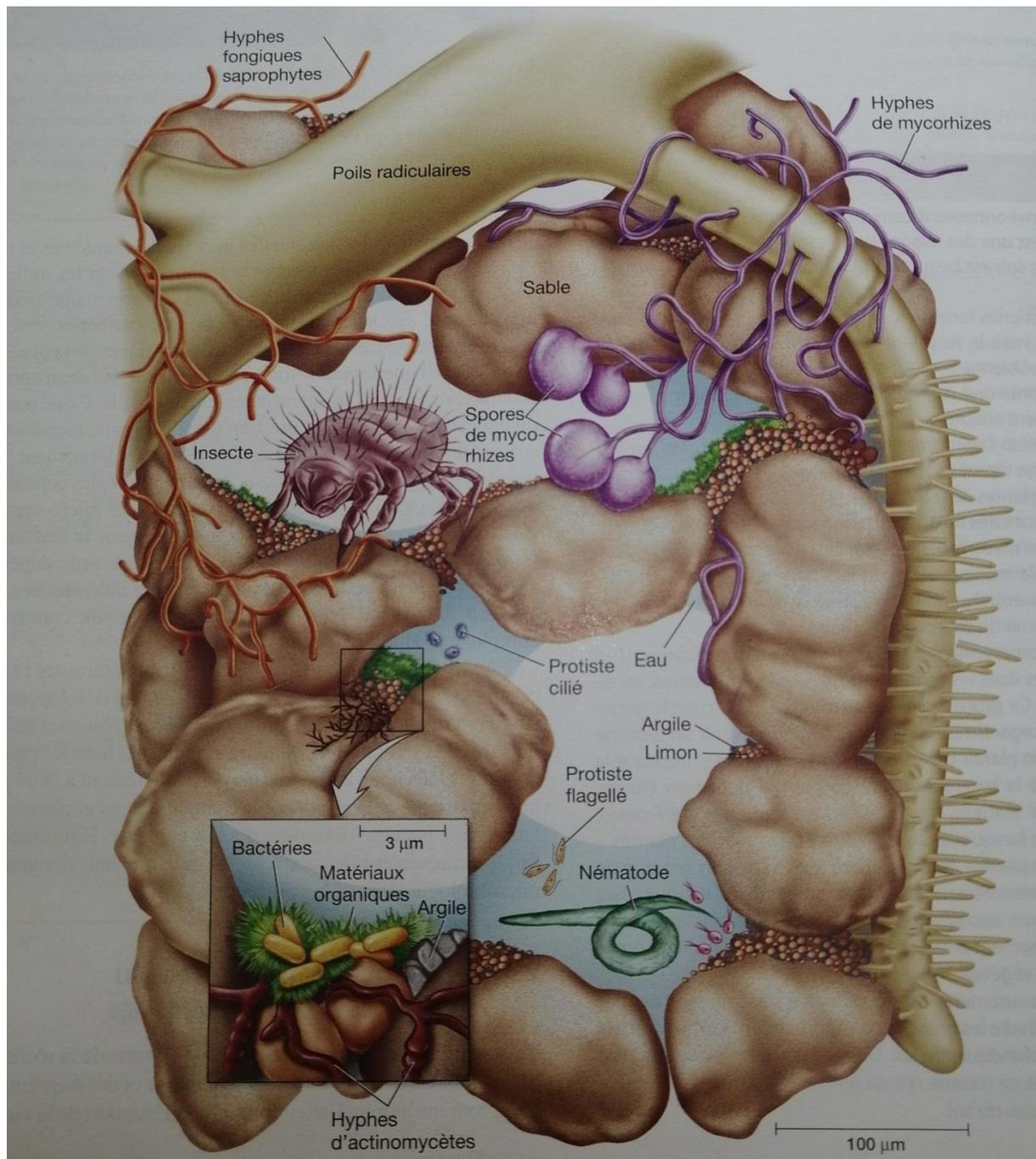


FIGURE 07 : Le sol en tant qu'habitat.

1.1. L'aridité des sols

C'est la conséquence du climat sec et chaud sur le sol. Généralement l'aridité apparaît telle que une incapacité du milieu à faire vivre, dans les conditions normales, la population sédentaire (Berkal, 2006). L'aridité est un concept qui n'est pas encore connu, leur définition tient compte à des termes diverse révélant de la climatologie, de la morphologie et surtout de la biologie végétal (Le Houerou, 1995).

L'aridité ne doit pas être confondue avec la sécheresse, notion météorologique à référence temporelle (période année sèche). L'aridité a de fortes implications hydrologiques et édaphiques dont elle est indissociable (**Robert, 1996 ; Aggoussine, 2003**).

Les environnements arides sont extrêmement différents par leurs formes de terrain, leurs faunes, leurs sols, leurs flores, équilibres hydriques et activités humaines, toutes les régions arides ont un élément commun c'est « L'aridité » qui s'exprime souvent en fonction des précipitations et de la température :

L'indice d'aridité climatique est représenté par : $\frac{P}{ETP}$

P : Précipitation

ETP : Evaporation potentielle calculée par la méthode de Penman, en tenant compte de l'humidité atmosphérique du rayonnement solaire et du vent.

1.2. Le sol aride

Les sols arides (sahariens) procèdent d'une fertilité physique et chimique très limitée. Ils sont pauvres en éléments nutritifs (Cl, Mg²⁺, oligoéléments, ...etc.) et aussi dépourvus de matière organique. La mobilité des éléments minéraux en particulier celle du phosphore est due à la faiblesse du taux d'humidité. Les sols dunaires sont capables d'abriter une microflore bactérienne et fongique riche et variée même si les conditions sont défavorables (**Berkal, 2006, Hatimi and Tahrouch, 2007**). Des facteurs environnementaux tels que la disponibilité en eau, en azote, sel, le pH et la température sont les plus essentiels facteurs qui peuvent expliquer la nature et la distribution des communautés rencontrées dans les déserts (**Makhalanyan et al., 2015**). La zone aride est caractérisée à la fois par son climat toujours peu pluvieux et rarement très sec et très irrégulier et par sa frutescente ou sa végétation herbacée, rarement arborée.

1.2.1. Domaine hyper aride

La pluviométrie est inférieure à 100 mm, d'après la superficie totale des terres mondiales de cette zone, couvre 4,2% avec un indice d'aridité de 0,03. Ils sont des zones dépourvues de végétation elles ont des précipitations annuelles faibles dépassent rarement 10 mm, les pluies sont peu fréquentes et irrégulières (parfois inexistantes pendant longues périodes).

1.2.2. Domaine aride

La pluviométrie est comprise entre 100 et 300-400 mm. Cette zone couvre 14,6% d'après la superficie globale des terres mondiales avec un indice d'aridité de 0,03-0,20. Ils sont caractérisés par le pastoralisme et l'absence d'agriculture sauf ou il y a irrigation.

1.2.3. Domaine semi-aride

La pluviométrie est comprise entre 300-400 mm et 600 mm cette zone couvre 12,2% selon la superficie totale des terres mondiales, leur indice d'aridité est entre 0,20-0,50. Ils sont capables de supporter une agriculture pluviale avec des niveaux de production plus ou moins régulières, la végétation indigène est représentée par diverses espèces comme les graminées et plantes graminiformes, herbes non graminéennes et petits buissons, arbrisseaux et arbres.

1.3. Sols désertiques

Les sols des déserts arides et semi-arides, chauds et froids, dépendent de pluies périodiques et peu fréquentes. Lorsque ces pluies arrivent, l'eau peut former des mares dans les zones basses et être retenue à la surface du sol par des communautés microbiennes, appelée **croûtes des déserts**. Celles-ci consistent en cyanobactéries et microorganismes associés, dont *Anabaena*, *Microcoleus*, *Nostoc* et *Scytonema*. La profondeur de la couche photosynthétique est peut-être de 1 mm et les filaments et les mucos des cyanobactéries agrègent les particules de sable, ce qui change l'albédo (quantité de lumière solaire réfléchi) de la surface du sol. La vitesse d'infiltration de l'eau et la sensibilité à l'érosion. Ces croûtes sont très fragiles et les dégâts causés par les véhicules peuvent rester visibles pendant des décennies. Après la pluie, la fixation d'azote commencera dans les 25 à 30 heures et lorsque l'eau se sera évaporée ou écoulee dans le sol, la croûte séchera et l'azote sera libéré pour servir à d'autres micro-organismes et à la communauté végétale (**Prescott *et al.*, 2003**).

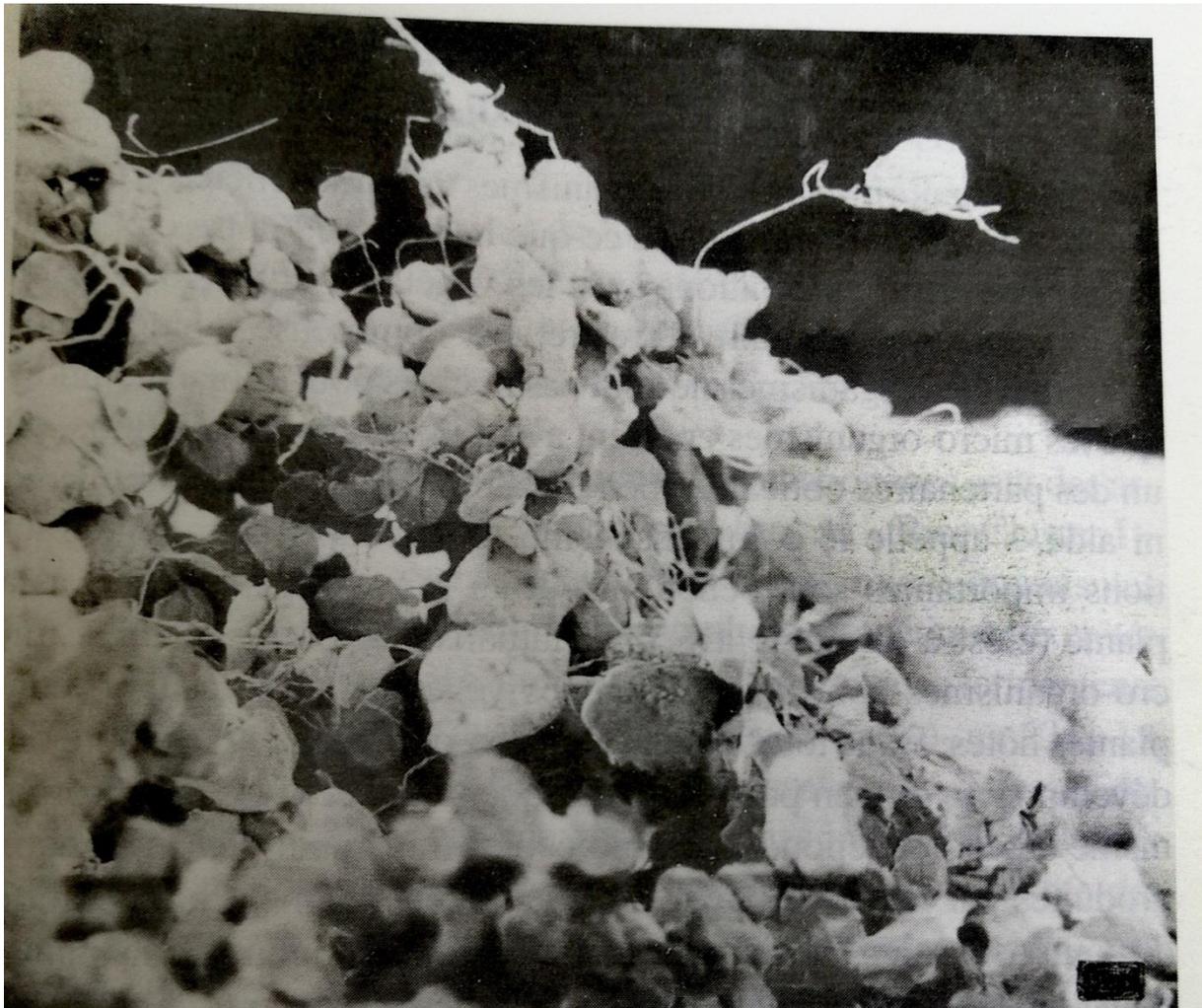


FIGURE 08 : une croûte des déserts observée au microscope électronique à balayage (Prescott *et al.*, 2003).

1.4. Les sols hyperthermiques chauffés par géothermie

On trouve des sols chauffés par géothermie dans des régions comme l'Islande et la péninsule du Kamtchatka, dans l'est de la Russie, au Parc National de Yellowstone et dans beaucoup de sites de déchets miniers. Ces sols sont peuplés de bactéries et d'archées, dont beaucoup sont chimiolithotrophes. Une grande variété de genres chimio-organotrophes se trouvent aussi dans ces milieux, parmi ceux-ci, les organismes aérobies du genre *Thermomicrobium*, *Thermoleophilum* et les anaérobies tel les genres *Thermosipho* et *Thermotoga* (Prescott *et al.*, 2003).

2. Causes de l'aridité

L'aridité est due à la présence d'un air sec descendant. On la trouve aussi spécifiquement dans des lieux où les conditions anticycloniques sont persistantes telle que le

cas dans les régions situées sous les anticyclones des zones subtropicales. Les anticyclones subtropicaux influence sur les précipitations s'accroît avec la présence de surfaces fraîches. Les conditions arides se trouvent aussi du côté sous le vent des grandes chaînes de montagne qui déstructurent les cyclones lorsqu'ils passent par-dessus elles. Des effets d'ombre sont formé où la pluie ne tombe pas. Ainsi la présence de surface de terres fortement chauffées empêche aussi les précipitations.

3. Répartition des zones arides

3.1. Dans le monde

Selon WRI (2002), la classification de la zone aride prend en compte :

- les valeurs du rapport ratio précipitation annuelle
- Les valeurs du rapport d'évapotranspiration potentielle moyenne annuelle.

Selon ce rapport les zones arides sont divisées en :

- Zone hyper aride couvrant environs 11 millions de Kilomètres carrés, soit 8 % des terres totales et elle correspond principalement au désert du Sahara.
- Zones arides, semi-arides et subhumides sèche et couvrent près de 54 millions kilomètres carrés, se rencontrent surtout dans continents, mais elles sont principalement concentrées en Asie et Afrique (Figure 01).

3.2. En Algérie

La classification bioclimatique d'Emberger et sauvage a été largement adoptée en Régions méditerranéennes. Cinq étages du bioclimat méditerranéen ont été définis pour L'Algérie : le Saharien, Aride, Semi-aride, Sub- humide et Humide (Figure 14).

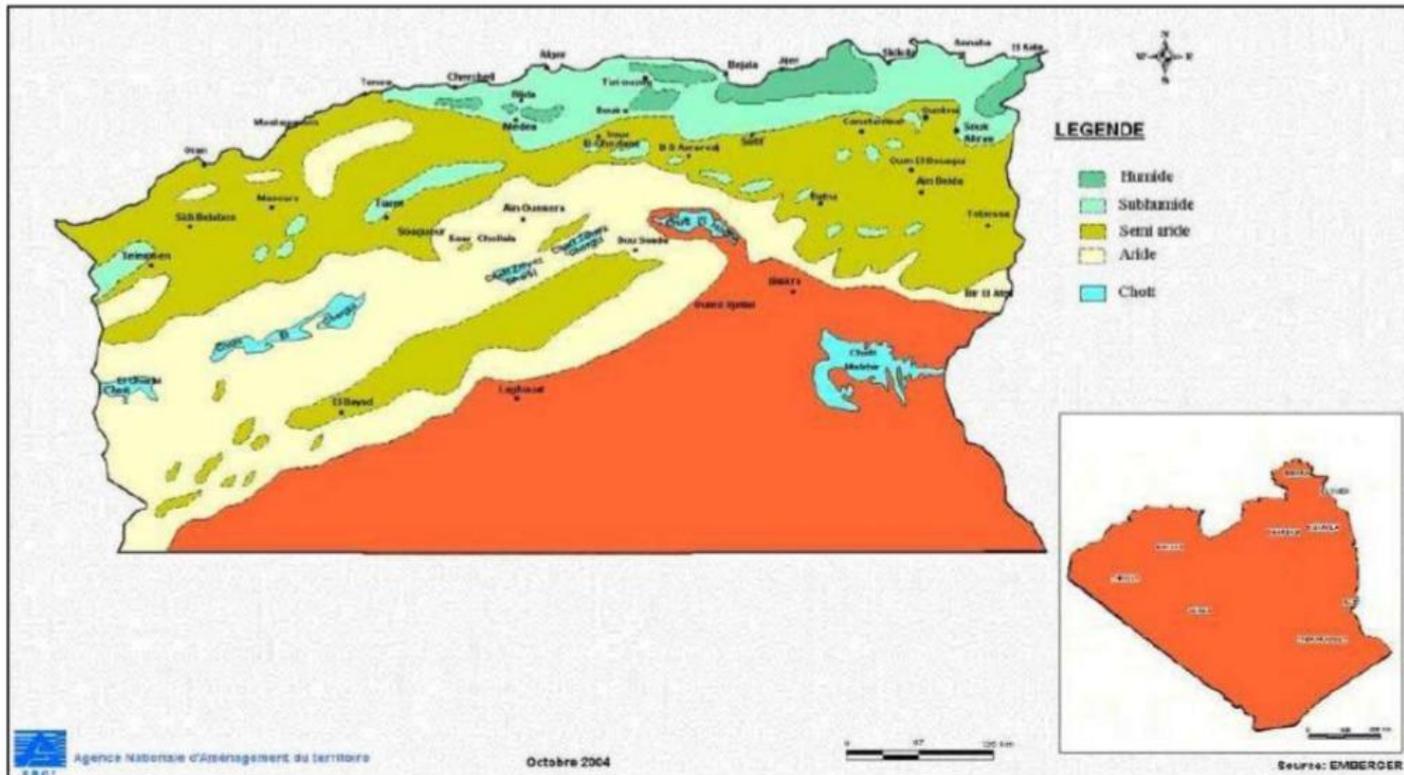


FIGURE 09 : Carte bioclimatique de l'Algérie (Agence nationale d'aménagement du Territoire, 2004)

Selon le HOUEROU (1995), la superficie des zones arides en Algérie est de 216000 Km², (Tableau 14).

Tableau 08 : Superficies des zones arides de l'Algérie en 103 Km² (LE HOUEROU, 1995)

Pluviosité moyenne	Superficie
Semi-aride a humide $P > 400$	181
Aride supérieur $400 > P > 300$	59
Aride moyenne $300 > P > 200$	70
Aride inférieur $200 > P > 100$	87
Zone aride Total	216
Hyper aride supérieur	386

4. physicochimie et microbiologie des sols dans les régions arides

Les zones arides sont généralement caractérisées par une faible fertilité des sols. Ceux-ci sont sols peu profonds, trop calcaires ou trop gypse, salés, pauvres en colloïdes organiques et en minéraux. Ils se caractérisent par une faible stabilité structurale et une faible capacité de charge rétention et nutriments, avec un pH basique, une faible activité biologique et par une forte sensibilité à la dégradation (Halitim, 1988; Daoud et Halitim, 1996; Halitat et Tessier, 2006; Oustani, 2006).

5. Répartition des actinomycètes dans les sols arides

Les actinomycètes sont répandus dans tous les sols sauf dans les endroits exposés à des conditions excessivement extrêmes. Ils sont surtout présents dans la couche comprise entre la surface du sol et jusqu'à 2m de profondeur c'est-à-dire dans la rhizosphère. Le genre *Streptomyces* est le plus fréquent dans ces sols. Il couvre à lui seul 95% des souches d'actinomycètes isolées (Nonomura & Ohara, 1969). Les travaux récents montrent cependant une importante variété d'actinobactéries regroupant des genres autres que les *Streptomyces*.

Chapitre III

Chapitre 03 : Rôle des actinobactéries provenant des sols arides, en agriculture et dans la production des antimicrobiens.

Introduction

Les actinobactéries des sols arides font partie de la biomasse microbienne. Ils sont capables de produire une large variété de molécule bioactives (antibiotique, enzyme, antifongiques, vitamines et bien d'autres biomolécules), Dernièrement, ils ont été utilisés dans de nombreux processus biotechnologiques.

Leurs hétérogénéités métaboliques font qu'ils sont devenus de grands producteurs d'une variété importante de molécules à propriété très divers dans les différents domaines de la vie.

En agronomie, les actinomycètes ont un rôle très important dans les phénomènes de la biodégradation et de la transformation de la matière organique et les éléments minéraux. Ils sont des microorganismes qui ont un rôle écologique majeur grâce à leur capacité de synthétiser une large gamme d'enzymes comme les hydrolases extracellulaires. Ils sont capables de dégrader les substances organiques non biodégradables par les autres organismes. Il s'agit principalement de polymères complexes, les polysaccharides, la chitine et les lignocellulose des plantes (**Lechevalier, 1981; Goodfellow et Williams, 1983; Goodfellow et al, 1984**). Ils sont aussi connus par leur rôle dans la fertilité des sols grâce à leur potentiel enzymatique riche. L'intérêt des actinomycètes dans l'agriculture est aussi la protection des racines des plantes contre les invasions par les champignons (**Lamari, 2006**). Ils influencent la croissance des plantes et cela à cause de leurs aptitude à produire des phytohormones et d'autres molécules importante aux plantes. Ils augmentent la vitesse de la production (synthèse) et de minéralisation de la matière organique (**Ylima, 2008**). Les actinomycètes peuvent aussi dégrader la biomasse et décomposer des déchets agricoles ou urbains (**Goodfellow et al., 1984**).

Les actinomycètes sont capables de recycler et de dégrader quelques toxines produites par des champignons toxinogènes et réduire leurs teneurs dans les produits finaux en agroalimentaire (**Valois, 1996 et William, 1983**). Grace à leurs propriétés antagonistes, les actinomycètes sont aussi utilisés dans la lutte biologique contre les maladies des plantes (**Sutthinan, 2009**).

Dans le domaine médicale les actinomycètes font aujourd'hui partie des microorganismes qui sont la source des antibiotiques (Silva *et al.*, 2013), immunomodifiants, pesticides ou des antiparasitaires (Oskay *et al.*, 2004), facteurs de croissance, substances probiotiques, anti-cholestérolémiques, anti-histaminiques, anticancéreuses., etc (Buchingham, 1997).

1. Actinobactéries producteurs de molécules antibiotiques

Les antibiotiques sont des composés chimiques synthétisés par des microorganismes dont l'activité thérapeutiques se manifeste à très faible dose de façon spécifique par l'inhibition de quelques processus vitaux. Les actinobactéries isolés à partir des sols arides ont montrés des aptitudes métaboliques importantes impliquées dans la production d'antibiotiques.

1.1. Les sols arides en tant que sources d'actinobactéries à pouvoir antibiotiques

A partir des sols arides plusieurs nouvelles souches ont été décrites. Elles sont dotées de capacités métaboliques très variées. Dans les travaux de Aouiche *et al.*, 2012, une nouvelles souches dénommée PAL114, produit des composés antimicrobiens, a été isolée du sol désertique de Ghardaïa, en Algérie. Les études morphologiques et chimiques ont montré que cette souche appartient au genre *Streptomyces*. Deux composés biologiquement actifs, appelés P41A et P41B, ont été extraits au dichlorométhane à partir du surnageant acellulaire de la souche PAL114 et purifiés par HPLC. Des concentrations minimales inhibitrices d'antibiotiques purs ont été déterminées contre des levures, des champignons filamenteux et des bactéries (pathogènes pour l'homme et multi-résistants aux antibiotiques). Les activités les plus fortes ont été observées contre *Candida albicans* M3 et *Bacillus subtilis* ATCC 6633. Les structures chimiques de ces composés ont été déterminées par spectroscopie UV-visible et par RMN puis analysées par spectrométrie de masse. Les composés P41A et P41B ont été identifiés comme étant les saquayamycines A et C, respectivement. Ces composés appartiennent au groupe d'antibiotiques des aquayamycines, connus dans la littérature pour leurs activités anticancéreuses et antibactériennes.

Les actinomycètes vivant dans les symbiotes de lichen sont autre source prometteuse de nouveaux composés, qui ne sont pas été bien explorés à ce jour. Dans le travail de **Yueyu Hei et al., 2021**, c'est pour la première fois, que l'équipe de recherche a mené une enquête approfondie sur l'isolement et l'identification des actinobactéries cultivables associées aux lichens du plateau aride tibétain. L'examen de l'activité antimicrobienne, la découverte de gènes de synthèse, l'identification des métabolites bioactifs et la prédiction de l'activité ont été réalisés dans ces investigations. Un grand nombre d'actinomycètes cultivables ont été isolés à partir des lichens. Vingt-sept souches aux caractéristiques morphologiques distinctes ont été étudiées. L'identification du gène de l'ARNr 16S a montré que 13 souches étaient de nouvelles espèces. L'examen par PCR des gènes de biosynthèse sélectionnés a indiqué que ces 27 isolats avaient un potentiel de biosynthèse intrinsèque abondant.

L'expérience sur l'activité antimicrobienne a éliminé certaines bactéries antagonistes potentielles du contrôle biologique ont été menées. Les métabolites de 13 souches de *Streptomyces* ayant une activité antibactérienne ont été analysés par LC-HRMS, et 18 autres composés ont été identifiés par RMN et/ou LC-HRMS. Les composés identifiés étaient des dérivés de la pyrrolidine et de l'indole, ainsi que des anthracyclines. Sept composés ayant une activité biologique inférieure ont été identifiés, et leur activité biologique a ensuite été prédite et évaluée. Les résultats attendus ont montré que le composé 2 avait une excellente activité inhibitrice sur la transcriptase inverse du VIH-1. Dans l'ensemble, les résultats suggèrent que les bactéries actiniques isolées du lichen du plateau inexploité sont des sources prometteuses du métabolite bioactif, qui peut fournir des composés bioactifs comme antibiotiques potentiels.

La recherche sur la production des actinomycètes isolés à partir de sols arides de Biskra (Algérie) ont été menées par **Zerizer et al., 2005**. Dans cette expérience, cinquante-cinq colonies, basées sur l'aspect caractéristique des actinomycètes, ont été sélectionnées. Parmi ce groupe, dix souches sont purifiées sur milieu sélectif supplémenté en antifongique et antibactérien actif uniquement sur les bactéries Gram-négatives. Toutes les souches produisent des substances biologiquement actives envers les bactéries Gram-positives et/ou Gram-négatif. Une souche représentative, active sur toutes les bactéries tests utilisées, est

Chapitre 03 : Rôle des actinobactéries provenant des sols arides, en agriculture et dans la production des antimicrobiens

déterminée en étudiant les caractéristiques culturales, morphologiques, physiologiques et biochimiques comme appartenant au genre *Streptomyces*.

Dans les sols arides, plusieurs actinobactéries rares ont été découvert. Ce sont les travaux de **Reghioua et al., 2008**, qui montrent cela. A partir d'un groupe de cinquante-cinq souches d'actinomycètes isolées d'échantillons de sols arides collectés dans la région de Biskra, dix souches à structure filamenteuse ont été purifiées.

L'efficacité antibactérienne de ces souches a été examinée à l'aide de deux méthodes de diffusion sur gélose contre 5 bactéries tests (*Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Bacillus cereus*, *Streptococcus faecalis* et *Staphylococcus aureus*). Les dix souches d'actinomycètes ont montré divers degrés d'activité antibactérienne contre toutes les bactéries d'essai utilisées.

L'effet du milieu de culture sur la production d'antibactériens par les dix souches d'actinomycètes a été étudié, sur cinq milieux de culture différents. Les souches cultivées sur milieu GB ont donné les activités les plus importantes contrairement au milieu ISP2 où une souche a produit des molécules efficaces contre les bactéries testées.

Le développement constant de la résistance bactérienne aux antibiotiques et l'émergence de nouvelles maladies infectieuses justifient le besoin urgent de nouvelles molécules antimicrobiennes. Dans les travaux de **Dahmani et al., 2017**, les chercheurs ont testé l'activité antimicrobienne d'actinomycètes isolés du sol de la plante *Daucus sahariensis* breM, adaptée de la région de Boussaada de M'sila. C'est une région aride à semi-aride située dans le nord-est de l'Algérie. L'activité antimicrobienne a été estimée par technique de test croisé contre *Bacillus subtilis* ATCC 6633, *Kelebsiella pneumoniae* ATCC 532, *Enterococcus faecalis* ATCC 2035, *E. coli* ATCC 25922, *Staphylococcus aureus*, *phytophthora* et *Candida* ATCC10. Les trois isolats d'*Actinobacter* MSBA1, MSBA2 et MSBA5 ont montré une activité contre les bactéries testées. Les plus grandes zones d'inhibition ont été observées avec MSBA5 possèdent une forte activité contre au moins un des micro-organismes-tests. Ces isolats peuvent être un agent potentiel producteur de nombreuses molécules bioactives, en particulier les antibiotiques d'intérêt biotechnologique et pharmacologique.

Chapitre 03 : Rôle des actinobactéries provenant des sols arides, en agriculture et dans la production des antimicrobiens

Les travaux de **Boudemagh et al., 2005**, ont montrés clairement le rôle des actinobactéries dans la production de molécules antibactériennes et antifongiques. Dans ces travaux, vingt-sept échantillons de sols ont été prélevés à partir de trois sols sahariens du sud algérien. L'analyse a montré que les sols de Biskra, est le plus riche en actinobactéries avec un pourcentage de 52% de l'ensemble des isolats récoltés. Le sol d'El-oued et celui de Ourgla offrent respectivement 18% et 30% de ces bactéries.

Les résultats de cette étude, montrent que le milieu GLM était le plus favorable pour l'isolement des actinomycètes à partir de ces écosystèmes. Donnant à lui seul, 17 souches sur le nombre total d'actinomycètes isolées. L'identification moléculaire par PCR en utilisant les amorces universelles, ont permis d'assigner les souches actives au genre *Streptomyces*.

Dans les travaux de **Derriche et Elhadji, 2016**, de nombreux actinomycètes ont sélectivement étaient isolés à partir des sols Algériens (arides et semi-arides). Des activités antagonistes contre plusieurs souches pathogènes et multirésistantes de *Staphylococcus aureus* ont également été démontrées. Les meilleures souches actives seront déterminées par des méthodes conventionnelles (morphologiques, chimiques et physiologiques) et moléculaires (séquençage des ARNr 16s). Les antibiotiques antibactériens sont produits dans un milieu liquide agité, qui sont extraits avec des solvants organiques de polarité différente. Ils seront ensuite détectés par imagerie biomécanique et en partie marqués par des développeurs chimiques. Les fractions les plus actives seront purifiées par HPLC et étudiées par spectrophotométrie (UV visible, IR, MS, RMN H) et RMN C13). Les CMI des antibiotiques identifiés seront déterminées vis-à-vis des *Staphylococcus aureus* multi-résistants.

Dans les travaux de **Hadj Rabia, Yamina, 2008**, la recherche de nouveaux antibiotiques, s'oriente vers des écosystèmes triplement extrêmes par leurs aridités, température élevée et par leur caractère salin. Ces écosystèmes connus par le nom « Chott ». Cette dernière est appelée Chott Melghir. Elle est située à Oued-Souf dans le Sahara Algérien. Dans ces travaux, 12 isolats d'actinobactéries ont été isolés et soumis à un screening pour la production de molécules bioactives. La technique de diffusion sur gélose par cylindre d'agar a été appliquée, pour la mise en évidence de l'activité antagoniste contre des souches sensibles. L'extraction des produits actifs a été faite et les molécules ont été

partiellement caractérisées. Les chercheurs de cette étude ont utilisé des méthodes classiques et moléculaires pour effectuer l'identification approfondie de deux souches les plus performantes. Le séquençage de l'ARNr16s, permet de les identifier comme étant *Saccharomonospora* et *Nocardiopsis*. La première souche a été rapprochée à 97 % de similarité à *Saccharomonospora halophila* ce qui laisse soupçonner qu'il s'agirait sûrement une nouvelle espèce halophile.

Dans le même contexte de recherche, les travaux de **Ouissi et Melki, 2010**. Permettent de caractériser les métabolites secondaires d'une espèce nouvelle, isolée à partir des sols arides Algériens. Ce sont les dithiolo pyrrolones qui ont été caractérisés dans cette étude.

1.2. Les antifongiques non polyéniques

Le manque flagrant en molécules antifongique, incite les chercheurs à découvrir d'autres nouveaux composés afin d'enrichir l'arsenal en ces molécules très intéressantes. La recherche des molécules de nature non polyénique est d'une importance capitale dans le domaine des antifongiques.

Les travaux de Doctorat de (**Boudemagh 2007**), montrent également que dans l'isolement sélectif des actinobactéries à partir de ces écosystèmes extrêmes, les techniques de chauffage des sols sont défavorables et font chuter le nombre d'isolat actinobactérien.

Les résultats de ces investigations, ajoutent que l'ajout de l'acide naliadixique à 10µg/ml et la nystatine à 50µg/ml dans le milieu d'isolement, permet d'éliminer des germes indésirables et favorise l'isolement sélectif des actinomycètes. Dans la deuxième partie de ces recherches, Dix-sept actinomycètes ont données une activité antifongique importante contre ou moins un champignon test utilisés. Seulement 2 isolats prélevées à partir des sols non rhizosphériques de la région d'El-Oued, ont présenté une activité antifongique importante contre tous les germes tests utilisés. L'identification moléculaire de ces deux actinomycètes révèle l'appartenance de ces deux actinobactéries au genre *Streptomyces*. L'identification au niveau de l'espèce, montre que ces deux souches ne ressemblent à aucune espèce d'actinomycètes connue à ce jour. En outre, les antifongiques

synthétisés par ces deux actinobactéries, sont de nature non polyéniques actives contre *Candida tropicalis* R2 (résistante aux polyènes).

Les travaux de **Belghit et al., 2016**, font partie de ces études, qui visent à rechercher de nouveaux antifongiques actifs contre *Candida albicans* et contre d'autres champignons pathogènes. Une actinobactérie dénommée G6₁, a été isolée à partir d'un sol Saharien Algérien. Cette bactérie a été identifiée par séquençage de son ADN r16S à *Streptomyces mutabilis* NBRC 12800^T. Les résultats indiquent que cette souche montre après 4 jours d'incubation dans le milieu Bennet une forte activité anticandidosique. Une extraction du produit actif par le n-butanol et révélation par chromatographie en couche mince, confirme la production de molécules à activité antifongique vis-à-vis de *Candida albicans*. Sa purification a été effectuée par HPLC et sa structure chimique a été déterminée par une analyse spectroscopique. La molécule a été identifiée comme étant le 2,4-di-tert-butylphénol. Des concentrations minimales inhibitrices (CMI) de ce composé, ont été également testées, afin de détecter l'activité antibiotique contre divers autres pathogènes.

Dans les travaux de **Souagui, 1989**, 68 souches d'actinomycètes ont été sélectionnées à partir de plusieurs échantillons de sols arides du sud Algérien. Parmi tous ces isolats, seulement 14 souches ont présenté une activité antifongique importante vis-à-vis d'au moins un champignon test utilisé. L'activité antifongique a été également testée contre des germes pathogènes et toxigènes. Deux isolats BS05 et BS30 qui proviennent des sols de la région de Bousâada, sont actifs contre ces champignons et ont été identifiés comme étant des *Streptomyces*. Les études phénotypiques et phylogénétiques de ces deux souches, révèlent la possibilité que ce sont probablement deux nouvelles espèces. Les milieux de culture favorables qui donnent une meilleure croissance et synthèse antifongique pour ces 2 souches BS05 et BS30 sont les deux milieux ISP2 et SCA. Une optimisation par méthodes mathématiques a été réalisée en changeant les sources de carbone, d'azote et du NaCl. L'optimisation a été réalisée en milieu liquide par la méthode des surfaces de Réponse (RSM) selon le modèle « Box –Behenken ».

Deux molécules produites par la souche BS30 et actives contre *Aspergillus niger* ont été extraites. La première molécule avec du dichlorométhane et la deuxième molécule par du n-

butanol. La caractérisation de ces deux molécules, montrent qu'ils appartiennent à la famille des antibiotiques aromatiques, de nature non polyéniques. D'après les conclusions de ces travaux, ces deux molécules sont originales et différentes des molécules antifongiques qui existe.

Dans les travaux de **Badji 2005**, d'autres molécules antifongiques produites par des *Actinomadura* d'origines sahariennes (de la palmeraie d'Adrar, Oasis du sud –Ouest algérien), ont été mises en évidence. Dans cette étude, cinq milieux ont été testés pour la production de ces antifongiques. Le meilleurs milieu qui donne une bonne activité antifongique est le milieu GYEA (Glucose –extrait de levure agar) suivit par le milieu ISP1 (Tryptone-extrait de levure agar). L'extrait butanolique est actif vis-à-vis de onze souches fongiques pathogènes et toxigènes.

L'absence de polyènes est observée par spectre UV-visible de l'extrait butanolique. La molécule active est probablement de nature aromatique grâce à les réactions chromogéniques.

Dans le même but et afin de sélectionner des actinobactéries producteurs d'antifongiques de nature non polyénique.

Une recherche a été entreprise par **Fourati Ben Fguira et al., 2012**, sur le sol d'une oasis Tunisiène. Ces recherches ont permis d'isolées 68 souches de *Streptomyces*. La méthode de diffusion montre que les isolats présentent des activités antibiotiques différentes contre deux bactéries: *Esherichia coli* ATCC8739 et *Micrococcus luteus* LB .14110, deux champignons filamenteux : *Verticillium dahliae* et *Fusarium sp* et deux levures : *Candida Tropicalis* R2 CIP 203 et *Candida albicans* ATCC2019. Les résultats indiquent une activité antibactérienne dans 40 souche soit (58.82%) des, 18 souches soit (26.47%) ont présentées une activité antifongique, alors que 12 souche (17.64%) ont montré une activité à large spectre contre toutes les microorganismes testés. La synthèse de métabolites antifongiques non polyéniques par certains isolats a été mise en évidence l'inhibition de l'ergostérol et par les spectres UV-visible de leurs extraits actif. Les résultats indiquent aussi que 13 isolats (19,11%) présentent une activité antifongique non polyénique. Cela indique la richesse de l'écosystème Oasien Tunisien en bactéries actinomycètes productrices de

Chapitre 03 : Rôle des actinobactéries provenant des sols arides, en agriculture et dans la production des antimicrobiens

composés actifs. Ce fait expliqué par les chercheurs, peut expliquer en partie les phénomènes de résistance des palmiers Oasiens Tunisiens contre certains champignons phytopathogènes tels que *Fusarium oxysporum* sp. *Albidenis* (bayoud).

Dans les travaux de **Kavitha et al., 2010**, les métabolites antifongiques ont été étudiés par le criblage d'actinobactéries isolés à partir de sol latéritique de la région de Gunter. 4 souches d'actinomycètes nommées (A1, A2, A3 et A4) ont présentés une activité antifongique marquée contre les champignons testés *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger*, *Candida albicans* et *Fusarium oxysporum*. L'identification a été fait sur la base des caractéristiques culturelles, morphologiques et physiologiques montre que les souches A1, A2 et A4 sont des *Streptomyces*, alors que la souche A3 a été assignée à *Nocardia*. Cela montre que les sols arides n'offrent pas que des *Streptomyces*, ils sont aussi source d'actinomycètes rares.

Dans le but de la recherche des nouvelles souches d'actinomycètes possédant la capacité de produire des métabolites intéressants, le travail de **Lahoum et al., 2016** a été réalisé dans la région du Hoggar en Algérie. Les résultats étaient pour le moins très originaux, où une nouvelle souche a été décrite. L'identification moléculaire et morphologique permet de rapprocher cet actinobactérie au genre *Actinomadura sediminis* DSM45500. Cette souche a montré une forte activité contre des champignons phytopathogènes et mycotoxinogènes, y compris les souches des genres *Aspergillus* et *Fusarium* et d'autre microorganismes pathogènes. L'étude des cinétiques de l'activité antimicrobienne ont été réalisés sur les milieux ISP-2, Bennet et TSB. 4 solvants (le n-hexane, le dichlorométhane, l'acétate d'éthyle et le n-butanol) ont été employés pour l'extraction de l'antibiotique produit. L'extrait butanolique sur milieu ISP-2 présente la meilleure activité antimicrobienne après sept jours de fermentation. L'antibiotique actif est purifié par HPLC en utilisant une colonne C₁₈. Le spectre UV-visible et le spectre de masse sont déterminés. Les concentrations minimales inhibitrices (CMI) ont également été déterminées contre des microorganismes pathogènes.

1.3. Les actinobactéries rares : agents de la production d'antibiotiques

Dans le cadre d'un programme de criblage des rares actinomycètes producteurs d'antifongiques non polyoléiques, l'équipe de recherche de **Badji et al., 2006**, a isolé à partir de sols désertiques, un actinomycète appelé AC104 sur un milieu sélectif à base de vitamines B et de chitine, supplémenté en rifampicine. Sur la base de caractéristiques morphologiques et chimiques, cet isolat a été attribué au genre *Actinomadura*. L'étude physiologique (76 tests) et l'analyse de la séquence de l'ADN 16S ont montré que l'isolat AC104 est très différent de l'espèce connue d'*Actinomadura* et pourrait donc être indigène. Cet isolat montre une très forte activité antimicrobienne contre les champignons filamenteux et les bactéries Gram-positives et Gram-négatives. La production d'antibiotiques a été testée sur de nombreux milieux de culture, dont le meilleur est le milieu ISP2. 5 régions actives ont été localisées par bioautographie. Parmi ces antibiotiques, le composé nommé 104A qui a montré la plus forte activité antifongique a été purifié par HPLC en phase inverse. Ce composé est constitué de 4 molécules. Des études spectroscopiques, notamment UV-visible, infrarouge, spectrométrie de masse et résonance magnétique nucléaire du proton, ont montré que ces molécules contiennent un noyau aromatique semi-substitué avec des chaînes aliphatiques. Ces composés diffèrent de ceux synthétisés par les espèces connus du genre *Actinomadura*.

Dans une recherche menée par **Allik et Kecha 2012**, des actinomycètes ont été isolés à partir d'échantillons de sol de Ghardaia, Timimoun et d'El Golea. Un traitement du sol au CaCO₃ a été réalisé pour isoler sélectivement les actinomycètes producteurs d'antibiotiques. Deux isolats G26 et G3tc3 ont été sélectionnés pour leur forte activité antagoniste contre les cibles Gram-positives (*S. aureus* MRSA) et Gram-négatives (*E. coli*). 58 souches ont été isolées dont 23 souches traitées au CaCO₃ et 35 souches issues du sol sans traitement. L'échantillon de Ghardaïa a permis d'isoler 75 % des souches. Au total, 27 souches actives ont été obtenues, ce qui représente 46%. L'étude morphologique a permis d'associer les souches G3tc3 et G26 aux genres *Streptoverticillium* et *Streptomyces* respectivement. Ces deux isolats ont montré une croissance maximale à 37 °C et à un pH allant de 5 à 11. Enfin, il a été conclu qu'il y a une sensibilité très élevée aux antibiotiques appartenant à la famille des aminosides.

Bien que le sol des oasis du désert algérien soit soumis à un climat aride, il est relativement riche en actinomycètes, qui sont parfois considérés comme rares dans le monde, de plus, ils sont producteurs d'antibiotiques. On les trouve non seulement dans les horizons peu profonds mais aussi à des profondeurs de plus de 2 mètres et en quantités remarquables. Cependant, si les horizons de surface contiennent en revanche des espèces très diverses, alors chaque horizon profond est caractérisé par la prédominance prononcée d'une espèce particulière. Dans les travaux de **Sabaou et al., 1998**, au total, 727 souches ont été isolées et associées à environ 25 genres et 132 espèces, des plus célèbres aux plus rares. Certaines souches semblent représenter de nouvelles espèces. Certains antibiotiques sont actifs contre de nombreux germes pathogènes. La possibilité de molécules actives natives ne peut être exclue, comme l'ont montré des études préliminaires. Cela montre à quel point les sols des oasis désertiques sont encore exploités, notamment dans le domaine des antibiotiques, notamment au vu de la réémergence des maladies bactériennes et fongiques observée ces dernières années.

Les travaux de criblage d'actinobactérie dans les sols arides ne cessent d'affluer. L'étude de **Abdenbi El Karkouri et al., 2019**, a été menée pour isoler et cribler les actinomycètes de 2 sols arides à Taza, au Maroc, pour la production de composés antimicrobiens contre un groupe de bactéries cibles. Il vise également à mettre en évidence des pratiques spécifiques pour isoler les actinomycètes et examiner leur capacité à produire des composés antibactériens.

L'équipe de recherche s'est appuyée sur plusieurs méthodes pour analyser les échantillons de sol en termes de facteurs physiques et chimiques, notamment le pH, la conductivité électrique et la salinité. Les actinomycètes ont été isolés sur milieu gélosé à l'amidon et à la caséine (CSA) et purifiés dans le milieu International *Streptomyces* Project 2 (ISP-2). L'activité antimicrobienne des isolats a été évaluée en mesurant la zone d'inhibition. Ces activités ont été testées contre *Dickeya solani* IP2222, *Pectobacterium brasiliensis* 13471a, *Escherichia coli* K12, *Proteus mirabilis*, *Pseudomonas aeruginosa* CECT118, *Listeria innocua* CECT4030, *Staphylococcus aureus* CECT976, *Bacillus subtilis*, sur les milieux CSA et Mueller Hinton à deux températures d'incubation (30°C et 37°C). Les résultats de l'analyse

Chapitre 03 : Rôle des actinobactéries provenant des sols arides, en agriculture et dans la production des antimicrobiens

physique et chimique des échantillons de sol ont montré que les deux sites sont alcalins. De plus, en ce qui concerne la salinité, le deuxième site s'est avéré avoir une concentration en sel plus élevée que le premier site. L'abondance des bactéries isolées sur le milieu CSA des deux sites a montré une association avec les propriétés physiques et chimiques des sols échantillonnés. Une température d'incubation de 30 °C a donné un plus grand nombre d'isolats (18/22) et un effet antimicrobien par rapport à une température de 37 °C (4/22). Certains isolats d'actinomycètes montrent un effet antimicrobien sur un seul milieu de culture, ce qui indique des besoins nutritionnels spécifiques pour l'expression de leur effet antimicrobien. En conclusion, les chercheurs affirment que les conditions de croissance, y compris la composition du milieu, la température d'incubation et le spectre des souches de test, adaptent le comportement du criblage antimicrobien.

Afin de sélectionner des genres rares (autre que les *Streptomyces*), certains travaux s'appuient sur des screening orientés. En effet, les investigations de **Kachuei et al.**, dirigent leurs recherches, afin de valoriser leurs métabolites, vers les espèces de *Nocardia*, à partir des sols de la province à climat tempéré d'Ispahan au centre de l'Iran. Ils ont pu collecter un total de 800 échantillons de sol de ces zones, pour ensuite isoler ces bactéries. Les observations par coloration de Gram et par Ziel-Nelsen (acido-résistante), la caractérisation biochimique et morphologique, ont permis de sélectionner les espèces de *Nocardia*. Les résultats obtenus dans cette étude se résument comme suit: Les espèces les plus souvent isolées sont *N. astéroïdes* avec (45,5%), *N. brasiliensis* avec (24,7%), *N. otitidiscaviarum* avec (2,2%), *N. dassonvillei*, *Actinomadura actinomadura* (chacun à 1,7%) et *N. transvalensis* avec (1,1%). Le reste soit (23,0%), sont des espèces inconnues

2-Actinobactéries en tant que bactéries PGPR

Les PGPR sont des bactéries de la rhizosphère qui stimulent directement la croissance des plantes. Ces microorganismes augmentent l'approvisionnement du sol, par des éléments nutritifs, produisent des régulateurs de croissance et activent les mécanismes de résistances des végétaux. Le rôle de ces microorganismes s'étant aussi à d'autres phénomènes important pour la croissance des plantes. Il s'agit principalement de la fixation d'azote atmosphérique, de la résistance des plantes aux différents pathogènes, à l'amélioration de la qualité du sol, à l'augmentation de la biodisponibilité de certains éléments essentiels, à la tolérance aux stresse et bien d'autres effets importants pour la plante.

Plusieurs travaux d'amélioration des rendements des plantes, ont fait l'objet d'études sur les sols arides présentant un déficit hydrique. Nous citons les suivants :

Dans le but d'améliorer de la production céréalière en Algérie, plusieurs méthodes ont été appliquées, mais restent insuffisantes. Les raisons sont multiples et correspondent surtout aux conditions climatiques, au stress hydrique, à l'augmentation des températures anormales, aux faibles précipitations et à la pauvreté des sols en azote, en phosphore par exemple.

Les travaux de **Nadji et Djekoun, 2017**, proposent d'utiliser des rhizobactéries et champignons mycorhiziens arbusculaires, dans l'amélioration des cultures de blé dur (*Triticum durum*) en zones arides, semi-arides et côtières. Les prélèvements des échantillons de sol ont été réalisés dans les parcelles de blé de l'Est Algérien. Ils ont utilisées la méthode de tamisage humide pour l'isolement des spores de microorganismes. Des analyses physico-chimiques et des sols prélevés, ainsi que l'étude des paramètres de mycorhisation ont été réalisés et calculés. Les résultats de cette étude, montrent que le sol des régions semi-arides de la région orientale est de nature limono argileux, avec un pH alcalin (7,54- 8,27). La teneur totale en azote est de (0,023 à 0,082%), le phosphore est situé entre (1,63% -7,74%). Ils ont détecté plusieurs morphotypes à savoir : *Glomeraceae*, *Acaulosporaceae*, *Scutellosporaceae* avec une prédominance de *Glomeraceae*. L'existence de ces familles c'est une preuve de la biodiversité dans les Parcelles de blé de l'Est Algérien .Dans une

Chapitre 03 : Rôle des actinobactéries provenant des sols arides, en agriculture et dans la production des antimicrobiens

deuxième étude comparative sur le niveau physiologique, morphologique et aussi biochimique du contenance de plantes lors de leurs inoculations par des mycosymbiotes de deux génotypes de blé dur, le blé tendre, l'orge de triticale en présence ou non de stress hydrique sur des conditions contrôlées. Les essais ont été manipulés pendant trois ans. Une inoculation de ces génotypes avec trois inocula de l'actinomycète *Frankia Cci3*, *Azospirillum brasilense* et des spores mycorhiziennes. Les plantes sont récoltées et les paramètres de croissances (le poids sec de la plante et des racines ainsi que les taux de chlorophylle et d'azote), sont mesurées. Les résultats obtenus dans cette étude sont significatifs. Ils montrent que l'inoculation avec les spores mycorhiziennes améliore la croissance de la plante en longueur des feuilles, de l'api et des racines. Le traitement *Azospirillum*, a une conséquence avantageuse sur la teneur en azote assemblé dans les feuilles des plantes inoculées et des plantes inoculées sous stress hydrique par rapport aux plantes témoins.

Dans le travail de **Sumaira et al., 2016**, le criblage de 98 actinomycètes provenant de plusieurs champs de blé et de tomate dans le Punjab, Pakistan, a été réalisé. La caractérisation morphologique, biochimique et génétique a été appliquée sur ces isolats afin de les identifier. Les plantes ont été soumises à un criblage in vitro pour déterminer l'effet de ces bactéries sur la croissance des plantes. Environ 30% des isolats criblés se sont révélés être des PGPR. Ce sont des espèces appartenant au genre *Streptomyces*. L'identification complète permet de les assigner aux espèces suivantes : *Streptomyces nobilis* WA-3, *Streptomyces Kunmingensis* WC-3 et *Streptomyces enissocaesilis*. Ce sont les plus performants pour la production de l'acide indole acétique (IAA) avec respectivement 79.5, 79.23 et 69.26 g/ml d'IAA. *Streptomyces* sp produit une grande concentration de phosphate soluble. Les auteurs ont remarqués que tous les isolats rhizobactériens sont positifs pour la synthèse de sidérophores, d'ammoniac et de cyanure d'hydrogène. La souche *S.mutabilis* WD-3 montre une grande production d'ACC-désaminase. Le criblage in vivo, qui permettent de suivre la germination des graines et la croissance des plantes, ont été menées en inoculant des graines de blé (*Triticum aestivum*) avec les six isolats les plus performants. Une augmentation de la longueur des pousses a été observée avec *S.nobilis* WA-3 avec 65%. Une augmentation de la longueur des racines est notée aussi avec *S.nobilis* WA-3 avec un taux de 81% en comparaison avec les plantes témoins traitées à l'eau. Une augmentation maximales

Chapitre 03 : Rôle des actinobactéries provenant des sols arides, en agriculture et dans la production des antimicrobiens

du pois sec des plantes dans le cas de *S.nobilis* WA-3 a été également remarquée et ce avec un pourcentage de 84%, par rapport aux plantes témoins traitées à l'eau. Une accélération significative dans le nombre de feuilles et de racine est remarquée avec la présence de la souche *S.nobilis* WA-3 avec respectivement 30% et 27%, rapport aux plantes témoins. A la fin, les résultats de cette étude indiquent que ces *Streptomyces* rhizosphériques sont de bons éléments pour leur développement en tant que biofertilisants pour la promotion de la croissance et l'amélioration du rendement des cultures de blé.

Les actinobactéries isolés à partir des sols semi-arides, ont été utilisés comme agents antagoniste pour lutter contre des pathogènes des plantes. Le travail de **Loqman et al., 2008** est un parfait exemple de lutte contre la pourriture de la vigne. L'isolement de cent quarante-deux souches d'actinomycètes à partir du sol de rhizosphère de 4 régions marocaines. Pour évaluer l'effet antifongique de ces isolats d'actinomycètes collectés, les auteurs ont utilisées cinq champignons phytopathogènes (*Pythium ultimum*, *Fusarium oxysporum f.sp,albedinis*, *Sclerotium rolfsi*, *Verticillium dahliae* et *Botrytis cinerea*). Les résultats montrent que 24 isolats ont un effet inhibiteur in vitro sur au moins un champignon tests et seulement 9 isolats sont des inhibiteurs des tous ces champignons. Ensuite ils ont fait une évaluation individuelle de ces 9 isolats sur les plantules de vigne pour estimer leur capacité à protéger contre la moisissure grise des plantes. Ici la pré-inoculation des plantules avec ces isolats leur donne la capacité de résister à *Botrytis cinerea*. Il a été noté aussi que six de ces souches sont proches au genre *Streptomyces* et trois au genre *Micromonospora*. Ces résultats prouvent le potentiel de développement d'actinomycètes efficaces, à partir des habitats marocains pour le contrôle biologique de *Botrytis cinere*.

Dans un récent travail, **Hamadoun Dicko et al., 2018**, ont évalué un biofertilisant de plantes à base d'actinomycète, sur la croissance et la productivité du maïs. Dans cette étude, réalisée au Mali, ils ont choisi 3 actinomycètes : actinomycète sp.H7, O19 et AHB12 pour leurs aptitudes à solubiliser les phosphates, à fixer l'azote atmosphérique et à synthétiser des substances antimicrobiennes, des enzymes, des phytohormones. Sur 5 graines aseptisées, inoculées et enrobées et cultivées dans des pots. D'autres expériences sur champs ont été également réalisées pour déterminer les meilleurs isolats. Les observations montrent

Chapitre 03 : Rôle des actinobactéries provenant des sols arides, en agriculture et dans la production des antimicrobiens

que les graines inoculées avec actinomycètes sp.H7 en pot montrent la meilleure croissance en taille de plante avec un pourcentage de 19,3%.

Au cours de l'expérience en station, ils ont remarquées que l'actinomycète sp.H7 à augmenter spécifiquement la biomasse fraîche et sèche de la partie aérienne avec respectivement 919,7 g et 405,6 g contre 636,70 g et 297,36 g pour le témoin. Ils ont noté que le meilleur rendement en graines est acquis avec une combinaison des souches O19-AHB12 avec un rendement de 311,5g pour 1000 graines contre 178,28 g pour le témoin non ensemencé. En plus, toutes les graines de maïs inoculées représentent une meilleure croissance que le témoin. Cette étude est une sorte de confirmation de l'intérêt des PGPR qui ouvrent la porte pour la formulation et l'utilisation de biofertilisants à base d'actinomycètes PGPR dans les sols désertiques du Mali.

Une souche d'actinomycète nommée HG29, présentant une activité efficace contre les champignons pathogènes, toxiques des végétaux a été isolée à partir d'un échantillon de sol désertique en Algérie, dans les travaux de **Khebizi, et al., 2018**. Sur la base de caractéristiques morphologiques et chimiques, la souche a été classée dans le genre *Streptomyces*. L'analyse de la séquence du gène de l'ARNr 16S a montré un niveau de similarité de 99,3 % avec *Streptomyces gancidicus* NBRC 15412 T. La comparaison de ses caractéristiques culturelles et physiologiques avec cette espèce a montré des différences significatives. De plus, l'arbre phylogénétique a montré que la souche HG29 forme une lignée distincte au sein du genre *Streptomyces*. L'activité antifongique a été étudiée en suivant la cinétique dans un bouillon de culture. L'activité antifongique la plus élevée a été obtenue après 5 jours de fermentation, dans un extrait de dichlorométhane. Deux composés actifs, le NK1 et le NK2, ont été purifiés par HPLC en utilisant une colonne C18. Leurs structures chimiques ont été identifiées par des expériences de RMN et de spectrométrie de masse comme étant des oligomycine E et A, respectivement, dont la production par *S. gancidicus* n'a pas été rapportée. Les deux composés bioactifs ont présenté une activité antifongique in vitro, présentant des valeurs de concentrations minimales inhibitrices (CMI) comprises entre 2 et 75 g/ml.

La rhizosphère des sols arides est riche en actinomycètes. Certaines de ces bactéries montrent une forte capacité de résistance biologique aux agents pathogènes des plantes, en particulier contre les champignons phytopathogènes qui réduisent considérablement la productivité des cultures. Les travaux de **Derdj, 2017**, ont pour but de sélectionner des isolats d'actinomycètes qui présentaient une activité antifongique contre le champignon pathogène *Fusarium* ssp du blé dur cultivé dans les régions arides de la wilaya de M'sila. Dans ce travail, 8 souches d'actinomycètes dénommées PU1, PU3, PU8, PU2, PU5, PU7, HDa et HDb ont été isolées à partir de la rhizosphère de la région du pôle universitaire de la wilaya. L'activité antagoniste de ces isolats contre le phyto-pathogène a été étudiée in vivo par différentes méthodes. 4 isolats, nommés PU2, PU5, PU7 et HDa ont été sélectionnés. Ils présentent une forte activité contre le champignon pathogène. Les chercheurs ont testé également, l'effet de ces isolats vis-à-vis du phyto-pathogène sur les deux cultivars de blé dur (Waha et Boussalem). Les résultats ont montré un bon effet sur les plantules du blé, ce qui a conduit à une bonne croissance et une meilleure résistance vis-à-vis de ces plantules. Des travaux similaires ont été entrepris par **Chagloufa, 2017**, contre *Aspergillus niger*. Les résultats ont montrés le rôle antagoniste importants des actinobactéries, isolés à partir des sols arides de la wilaya de M'sila sur ce champignons ravageur du maïs.

Conclusion

Conclusion et perspectives

L'objectif de cette synthèse est de montrer que les actinobactéries isolés à partir des sols arides et sahariens, sont des agents promoteurs de la production de molécules bioactives très utiles en agriculture et en médecine.

Le sol est l'habitat principal de ces bactéries. Plusieurs recherches ont été publiées. Ils témoignent d'une grande biodiversité de ces microorganismes. Plusieurs souches, espèces et même genres ont été décrits, dans ces rapports. Les travaux concernent principalement le nord-africain où les articles sont relativement abondant. Ces bactéries sont dotés de plusieurs capacités de production de métabolites secondaires comme les antibactériens e les antifongiques important.

Les actinobactéries des sols arides possèdent des caractéristiques physiologiques spécifiques des microorganismes thermophiles. Ces particularités sont très recherchées par les industriels (Lopes *et al.*, 1999).

Dans ces niches écologiques, Le genre actinobactérien le plus rencontré et isolé est *Streptomyces*. Dans ce genre, plusieurs espèces et souches nouvelles ont été décrites. Elles sont riches en métabolites primaires et secondaires jamais retrouvés dans les autres écosystèmes (Anderson et Willington, 2001 ; Sanglier *et al.*, 1993). Le genre *Streptomyces* reste toujours le plus grand fournisseur de ces molécules (Larpen et Sanglier, 1989 ; Sanglier *et al.*, 1993 ; Wu et Chen,1995).

Les actinomycètes des sols arides ont montrés une grande capacité de production importante de molécules à activités antimicrobiennes.

D'après cette synthèse bibliographique, d'autres genres dits rares ont été également isolés à partir de ces sols arides. Il s'agit principalement des genres *Actinomadura* et *Micromonospora*, *Nocardia* et *Streptoverticillium*. Ce sont de bons producteurs d'antibiotiques.

Les actinobactéries des sols arides ont également des capacités de bactéries PGPR. Ils participent pleinement dans le recyclage de biomatériaux réfractaires et synthétisant des métabolites secondaires nouveaux (Hassan *et al.*, 2017). Leurs rôles sont dans ce domaine, sont multiple. La minéralisation de la matière organiques et du phosphore l'immobilisation d'éléments nutritifs minéraux, la fixation de l'azote et l'améliorations des paramètres physiques des sols, en ont des exemples (Dastagar *et al.*, 2013). Ils produisent aussi des siderophores, des phytohormones et sont utilisés en tant qu'un agent de bio contrôle, remplaçant ainsi l'utilisation abusives des antibiotiques. Ces avantages multiples conduisent à l'amélioration du rendement et à une bonne qualité des plantes.

Nous comptons dans l'avenir, bien étoffer notre recherche dans ces domaines et dans d'autres comme les enzymes, les biopesticides, les anti-cancéreux et bien d'autres biomolécules.

Références

Bibliographiques

Références bibliographiques

Abdenbi El Karkouri *et al.*, (2019). Isolation and screening of actinomycetes producing antimicrobial substances from an extreme Moroccan biotope. *Pan African Medical Journal.*; 33 :329.

Adel Aouiche, Nasserline Sabaou, Atika Meklat, Abdelghani Zitouni, Florence Mathieu, *et al.*, (2012). Activité antimicrobienne de *Streptomyces* sp. PAL111 d'origine saharienne contre divers microorganismes cliniques et toxigènes résistants aux antibiotiques. *Journal of Medical Mycology / Journal de Mycologie Médicale*, Elsevier Masson, vol. 22, pp. 42-51.

Ait Barka Essaid, Parul Vatsa, Lisa Sanchez, Nathalie Gaveau-Vaillant, Cedric Jacquard, Hans-Peter Klenk, Christophe Clément, Yder Ouhdouch, Gilles P. van Wezel. (2016). Taxonomy, Physiology, and Natural Products of Actinobacteria. *Microbiol Mol Biol R.* 1 :80.

Alexander M. (1977). *Introduction to Soil Microbiology*. Wiley, New York. Pp :480.

ALLIK, M.L., Kecha, M., (2012). Isolement et sélection de souches d'actinomycètes productrices d'antibiotiques « Essai d'identification phénotypique et chimiotaxonomique. Mémoire master, Université de Béjaia. Algérie. Pp :81.

Angehrn, P., Buchmanns., Funk, C., Goetschi, E., Gmuender, H., Hebeisen, P., Kostrewa D., Link, H., Luebbers, T., Masciadri, R., Nielsen, J., Reindl P., Ricklin, F., Schmitt Hoffman A. and theil F.P. (2004). New antibacterial agents derived from the dna gyrase inhibitor cyclothialidine. *J. Med. Chem.* 47. 1487-1513.

Aouiche, A., Bijani, C., Zitouni, A., Mathieu, F., Sabaou, N., 2014. Antimicrobial Activity of saquayamycins produced by *Streptomyces* sp. PAL114 isolated from a Saharan soil. *J. Mycol.* 24 (2), e17–e23.

Badji, B., Riba, A., Mathieu, F., Lebrihi, A., Sabaou, N. (2005). Activité antifongique d'une souche d'*Actinomadura* d'origine saharienne sur divers champignons pathogènes et toxigènes. *J Mycol Med.* 15 :211-9.

Badji, B., Zitouni, A., Mathieu, F., Lebrihi, A., Sabaou, N. (2006). Antimicrobial compounds produced by *Actinomadura* sp. AC104 isolated from an Algerian Saharan soil. *Can J Microbiol.* ;52 :373–82.

Baldacci, E. (1962). Tendances actuelles de la classification des actinomycètes. *Ann Soc. Belge Méd. Trop.* 1962, 4, Pp :633-646.

Belghit, S., Driche, E.H., Bijani, C., Zitouni, A., Sabaou, N., Badji, B., Mathieu F., (2016). Activity of 2,4-Di-tert-butylphenol produced by a strain of *Streptomyces mutabilis* isolated from a Saharan soil against *Candida albicans* and other pathogenic fungi. *Journal de Mycologie Médicale*, Volume 26, Numéro 2, Pp :160-169.

Belyagoubi, L. (2014), Antibiotiques produits par des bactéries (actinomycètes et bactéries lactiques) issus de différents écosystèmes naturels Algériens. Thèse de doctorat en substances naturelles, Activités Biologiques et Synthèse. Université Aboubaker Belkaid-Tlemcen. Pp :170.

- Ben Fguira, L. F., , Bejar, S., Mellouli, L.,(2012). Isolation and screening of *Streptomyces* from soil of Tunisian oases ecosystem for non-polyenic Antifungal metabolites, African Journal of Biotechnology Vol. 11(29) : Pp : 7512-7519.
- Bergey's Manuel. Garrity, G.M. , Lilburn, T.G. , Cole. J.R. , Harrison. S.H., Euzéby. J. , and Tindall (2007). B.J. In : Part 10 : Taxonomic Outline of the Bacteria and Archeae. Coyright, Michigan State University Board of Trustees.
- Berkal, I. (2006). Contribution à la connaissance des sols du Sahara d'Algérie. Mémoire de magister : Sciences agronomique. Institut National. Agronomique : I-N-A EL HARRACH- ALGER, Pp :108.
- Boudemagh, A. (2007). Isolement, à partir des sols Sahariens, de bactéries actinomycétales 196p.
- Boudemagh, A., Kitouni, M., Boughachiche, F., Handiken, H., Oulmi, L., Reghioua, S., Boiron, P., (2005). Isolement et identification moléculaire de la microflore des actinomycètes de certains sols sahariens du sud-est algérien et étude de l'activité antifongique de souches isolées J. Mycol. Méd. , 15 , Pp. 39 – 44.
- Chagloufa, K. (2017). Lutte biologique contre l'agent phytopathogène (*Aspergillus niger*) via les actinobactéries chez le maïs (*Zea mays* L.). mémoire de master. Université Mohamed Boudiaf M'sila. Algérie. Pp :72.
- Collins, MD., Pirouz, T., Goodfellow, M., Minnikin, D.E. (1977). Distribution of menaquinones in actinomycetes and *Corynebacteria*. J Gen Microbiol., 100 :221–230.
- Cook ,A.E., and Meyers, P.R. (2003). Rapid identification of filamentous actinomycetes to the Genus level using genus-specific 16S rRNA gene restriction fragment patterns. Int. J. Syst. Classification system Actinobacteria clasis nov. Int. J. syst. Bacteriol., 47, 479-491.
- Cui, Q., Wang, L., Huang, Y., Liu, Z., and M. Goodfellow. (2005). *Nocardia jiangxiensis* sp. Nov. And *Nocardia miyunensis* sp. Nov., isolated from acidic soils. Int. J. Syst. Evol. Microbiol. 55 : 1921–1925.
- Daoud, Y., et Halitim, A. (1994). Irrigation Et Salinisation Au Sahara Algérien. Sécheresse .Pp : 151-160.
- Dastager, S.G., Damare, S. (2013). Marine actinobacteria showing phosphate-solubilizing
- Derdj ,D.(2017). Effet des actinomycètes sur l'agent phytopathogène (*Fusarium* ssp.) chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). mémoire de master, Université mohamed boudiaf- M'sila. Algérie.Pp :86.
- DERRICHE, Elhadj,. (2016). Isolement, taxonomie et caractérisation des molécules bioactives d'actinobactéries des sols sahariens antagonistes de *Staphylococcus aureus*. Département des Sciences Naturelles de développement. Dunod Masson, paris. Pp :240.
- Dicko, A.H., Babana, A.H., Kassogué, A. *et al.* (2018). A Malian native plant growth promoting Actinomycetes based biofertilizer improves maize growth and yield. Symbiosis 75, 267–275.
- Ensign ,J.C., Normand, P., Burden, J. P. and Yallop, C.A. (1993). Physiology of some genera. Res. Morakchi Microbiol. 144 : 657-660.

Références bibliographiques

- Ensign ,J.C., Normand ,P., Burden, J. P., and Yallop, C.A. (1993). Physiology of some genera. Res. Morakchi Microbiol. 144 : 657-660.
- Eunice, J.A. and Prosser ,J.I.(1983). Mycelial growth and branching of *Streptomyces coelicolor*.A3 (2) on solid medium.J.gen.Microbiol.29:2029-2036.
- George, M.,Anjumol, A.,Mohamed Halta, A.A.. (2012). Distrubution and bioactive potential of soil actinomycetes from different ecological habitats. African Journal of Microbiology Research 6 (10) :2265-2271.
- Giddingst Newman LA and Newman, D.J. (2014). Bioactive compounds from Terrestrial Extermophiles Springer.Pp :90.
- Goodfellow, M., and Cross, T. (1984). Classification. In: The Biology of the actinomycetes. Goodfellow, M., Williams, S.T., and Mordarski, M. (Eds.). Academic Press London pp. 7-164.
- Goodfellow, M. (1985). Actinomycete systematics : present and future prospects. Sixth int. Symp. On actinomycetes biology. Szabo G., Biro S. and Goodfellow M. (Eds.), Pp :487-496.
- Goodfellow, M. (1989). Suprageneric classification of actinomycetes. In : Bergey's Manual of ecology of hot desert adaphic systems. FEMS Microbiology reviews, 39. Pp :1088.
- Williams, S.T., Sharpe, M.E., and Holt, J.G. (1984). Williams and Wilkins (Eds.), Baltimore. Systematic Bacteriology. Volume 4 Pp: 2333-2339.
- Goodfellow, M., Kâmpfer, P., Busse, H.J., Trujillo, M.E., Suzuki, K., Ludwig, W., Withman W.B. (2012). Bergey Manuel of Systematic Bacteriology, The *Actinobacteria* (2ème Eds) vol. V, parts A and B, New York, Dordrecht, Heidelberg, London. Pp : 2083.
- Gottliels, D. (1973). General consideration and implication of the Actinomycetales.In:Actinomycetals characteristics and Practical importance.Edited by G.Sykes. and F.A.Skinner.Academic Press,London.New York . Efficiency inChorao Island, Goa, India. Curr.Microbiol. 66(5) : 421-427.
- Hacen ,H.,Sabaou, N .,Bounaga, N.,Lefebvre, G. ,(1994). Screening for nonpolyenic antifungal antibiotics produced by rare *Actinomycetales*.Microbios.,79:81-85.
- Hadj Rabia, Y. (2008). Etude de molécules bioactives produites par nouvelles souches de nocardiosis et de *Saccharomonospora* isolées du Chott Melghir.Pp : 78-87.
- Halilat, M., Tessier,T. (2006). Amélioration de la rétention en eau de matériau. Evol. Microbiol., 53, 1907-1915.
- Halitim, A. (1988). Sols des régions arides d'Algérie. OPU, Alger, Pp : 384.
- Hassan, U. S. S., Anjum, K., Abbas. S. Q., Akhter, N., Shagufta, B. I., Shah, S. A. A., Tasneem, Hawker, L.E., et Linton, A.H.. (1971). Micro-organismes. 325-333.
- Hei, Y.,Zhang, H., Tan, N., Zhou, Y., Wei, X., Hu, C., Liu, Y., Wang, L., Qi, J., Gao, J.M. Antimicrobial activity and biosynthetic potential of cultivable actinomycetes associated with Lichen symbiosis from Qinghai-Tibet Plateau. Microbiol. Res. 2021,244, 126652 .
- Kachuei ,R., et al. (2012). Diversity and frequency of *Nocardia* spp. In the soil of Isfahan province, Iran. Asian Pac J Trop Biomed 2(6) :474-478.

Références bibliographiques

- Kalakoutskaa, L. (1976). Comparative aspects of development and differentiation in actinomycetes. *Bacteriol. Rev*, 40(2), 469-524.
- Kämpfer, P. (2010). *Actinobacteria*. Handbook of hydrocarbon and lipid microbiology Part 19,1819-1838.
- Kavitha, A., Vijayalakshmi, M., Sudhakar, P, And Narasimha, G. (2010). Screening of Actinomycete strains for the production of antifungal metabolites. *Afr. Jour. Microbiol. Res.*, 4 (1), 027-032.
- Keast, D., Rowe, P.,Sanfeliu, L.,Shannahan, J.,Bowra, B.,Skates, S.,Stapley, E.O., and Woodruff ,H.B.(1984).Use of a computer to group actinomycetes for studies on the ecology of soil microorganisms .*Appl.Enviro.Microbial*.791-796.
- Khebizi, N., Boudjella, H., Bijani, C., Bouras, N., Klenk, H.P., Pont, F., Mathieu, F., Sabaou, N.(2018). Oligomycins A and E, major bioactive secondary metabolites produced by *Streptomyces* sp. Strain HG29 isolated from a Saharan soil *J. Mycol.*, 28 (1) , Pp :150-160.
- Lamari, L. (2006). Production de nouveaux antibiotiques du groupe des pyrrothines par une nouvelle espèce d'actinomycètes thèse de Doctorat. De Tizi Ouzou, Université Mouloud Mammeri.290.
- Larpent , J. P., & Sanglier , J. J. (1989). Biotechnologie des antibiotiques. Paris .Masson 80: 566-770.
- Lattman ML, Walter JF. (1968). *Cryptococcosis* : Current status. *Am J Med*.45 : 922–932.
- Le houerou H.N. (1995). Bioclimatologie et Biogéographie des steppes arides du Nord de l'Afrique. Diversité biologique, développement durable et désertification. Option méditerranéenne. Série B : études et recherches n 10 ; Cheam. Montpellier, 397.
- Lechevalier M.P and Lechevalier H., (1985). Biology of actinomycetes not belonging to genus *Streptomyces*" in:Biologie of industrial microorganisms. The Benjamin Cummings Publishing company,80:.315-360.
- Lechevalier M.P. (1981).Ecological association involving actinomycetes. In: Actinomycetes.Shaal and Pulverer (Eds.).*Zbl Bakt Suppl* 11: 159-166.
- Lechevalier MP., Lechevalier HA. (1980). The chemotaxonomy of actinomycetes. In : microbiology Thayer, Actinomycete taxonomy. Eds : A.Dietz, D.W. Society for industrial SIM special publication Number 6. Arlington, Virginia USA.. 225–291.
- Lopes,A. ,Coelho,R.,Meirelles,M.N.I.,Branquinha,M.H.,Vermelho,A.B.(1999). Extracellular serine-proteinase isolated from *Streptomyces alboniger* :partial characterization and effect of aprotinin on cellular structure.*Men.Inst.Oswaldo.Cruz.Rio de Janeiro*.9:763-770.
- Loqman, S., Barka, E.A., Clément, C. *et al.* (2008) Antagonistic actinomycetes from Moroccan soil to control the grapevine gray mold. *World J .Microbiol Biotechnol* 25:81–91.
- Makhalanyane, T.P., Valverde, A., Gunnigle, E., *et al* (2015). Ecology and biogeochemistry of cyanobacteria in soils, permafrost, aquatic and cryptic polar habitats .*World J.Microbial Biotechnol*.24:819-840.
- Marmur J. and Doty P. (1962). Determination of the base composition of deoxyribonucleic acid From thermal denaturation temperature. *J. Mol. Biol.*, 5:109-118.

Références bibliographiques

- Nadji, W., Djekoun, A., (2017). Effet de l'inoculation des céréales par les PGPR et les mycorhizes en condition de déficit hydrique, thèse de doctorat, Université Mentouri Constantine. Algérie. 127.
- Oskay, M. (2004). Antibacterial activity of some actinomycetes isolated from farming of Turkey. *African Journal of Biochemistry*, 3: 441- 446.
- Ottow J.C.G. and Glathe H., (1968). Rose Bengal-malt extract-agar, a simple medium for the simultaneous isolation and enumeration of fungi and actinomycetes from soil. *Appl. Microbiol.* 16 : 170–171
- Ouissi, N., Melki, H., (2010). Les voies de métabolisme secondaire chez les Actinomycètes *Saccharotrix algeriensis*. 210.
- Oustani, M., (2006) .Contribution à l'étude de l'influence des amendements organiques (fumier de volailles et fumier de bovins) sur l'amélioration des propriétés microbiologiques des sols sableux non salés et salés dans les régions Sahariennes (Cas de Ouargla). Mémoire de Magister en Agronomie Saharienne, Université KASDI MERBAH, Ouargla, 187.
- Prescott L. M., Harley J. P., Klein D. A. (2010). *Microbiologie*. De Boeck : Bruxelles. 2eme édition., 1120.
- Prescott L.M., Harley J.P., Klein D.A., (2010). *Microbiologie*. De Boeck : Bruxelles. 3eme. 1133.
- Prescott. L. M, Harley. J. P, Klein. D. A. 2003. *Microbiologie*. De Boeck : Bruxelles. 2eme édition. 1164.
- Pridhan T.G. and Gottlieb D.(1948). The utilization of carbon compounds by some Actinomycetales as an aid for species determination *J.Bacteriol.*, 56:107-114.
- Rangaswami. G. Bagyaraj. D. J. Bagyaraj D.G. (2004). *Agricultural Microbiology*. PHI : New Delhi. 440.
- Reghioua, S., Boughachiche, F., Zerizer, H., Oulmi, L., Kitouni, M., Boudemagh, A. and Boulahrouf, A. (2006). Antibacterial activity of rare actinomycetes isolated from arid soil samples of the south-east of Algeria. *Antibiotiques*, 8 : 147–152.
- ROBERT M., (1996). Le sol : interface dans l'environnement, ressource pour le développement. Dunod. Écoles d'ingénieurs. 276.
- Rogers L and Becher I., (1980). Chemical composition of cell-wall preparations from various genera of aerobic actinomycetes. *Appl. Microbiol.* 13, 236-243.
- Rosselló-Mora R. and Amann R. (2001). The species concept for prokaryotes. *FEMS Microbiol. Rev.*, 25, 39-67.
- Sabaou N., Amir H., and Raunaga D. (1980). Le palmier et la fusariose. X. Denombrement des actinomycetes de la rhizosphere. Leur antagonisme vis-à-vis du *Fusarium oxysporum f.sp. albedinis* *Annals of Phytopathology*, 12, 253-257.
- Sabaou, N., Boudjella, H., Bennadji, A., Mostefaoui, A., Zitoun, A., Lamari, L., Bennadji, H., Lefebvre, G., Germain, P., (1998). Algerian Sahara oasis soils : a source of rare antibiotic-producing actinomycetes. *vol 9, 2: 147-153.*

- Saravanamuthm R. (2010). Industrial Exploitation of Microorganisms I.K International Pvt Ltd.304
- Shirling E.B.et Gottlieb,D. (1966).Retrospective evaluation of international *Streptomyces* project taxonomic criteria-the Boundary Microorganisms Toppan Printing Co Ltd.,161:9-41.
- ShuklaG., (2010).Soil Enzymology. Springer: Berlin. 384p.
- Silini S., (2012). Contribution à l'étude de la biodégradation de la méthyléthylcétone en réacteur batch par les actinomycètes isolés à partir des boues activées de la station d'épuration d'El-Atmania. Thèse de Magister en écologie option : Gestion des déchets : évaluation et solution environnementales.Université des frères Mentouri Constantine.101p
- SOUAGUI, Y., (1989). Isolement et sélection de souches d'actinomycètes productrices d'antifongiques non polyéniques. Purification et caractérisation des molécules synthétisées.Thèse de doctorat, Université de Béjaïa–Abderrahmane Mira.148.
- Stackebrandt E. and Woese C.R. (1981). The evolution of prokaryotes. Symp. Soci. Gen. Microbiol, 32, 1-31.
- Stackebrandt E., Rainey F.A. and Ward-Rainey N.L. (1997). A proposal for a new hierarchic Sableux par ajout de bentonite. Cahiers Agricultures.vol 15 : 347-53.
- Sumaire, A., Basharat, A., Imran, S., (2016). Screening of rhizospheric actinomycetes for various in-vitro and in-vivo plant growth promoting (PGP) traits and for agroactive compounds. Front. Microbiol,7:1334.
- Sutthinan K.,Akira Y., Aaisamorn I. (2009). Actinomycetes isolated from medicinal plant rhizosphere soils diversity and screening of antifungal compounds,indole-3-acetic acid and siderophore production.World Journal Microbiol Biotechnol 25:649–655.
- Valois, D. (1996). Glucanolytic actinomycetes antagonistic to *Phytophthorafragariae* var. *rubis*, the causal agent Microbiol .5-62.
- Wacksman S.A., Woodruff H.B. (1940) The soil as a source of microorganisms antagonistics toDisease producing bacteria. In “Bergey’s Manual of Systematic Bacteriology”. Williams& Wilkins Eds. 4: 2333-2648.
- Wayne L.G., Brenner D.J., Colwell R.R., Grimont P.A.D., Kandler O., Krichevsky M.I., Moore.U. (2017). Review Emerging biopharmaceuticals from marine actinobacteria. Environmental Toxicology and Pharmacology ; 49 : 34–47.
- Weisburg W.G., Barns S.M., Pelletier D.A. and Lane D.J. (1991). 16S ribosomal DNA amplifi-Cation for phylogenetic study. J. Bacteriol., 173:697-703.
- WRI. (2002). World resources institute. Drylands, people, and ecosystem goods and Services :aweb-based geospatial analysis.160.338-682.
- Yamaguchi T. (1965). Comparison of the Cell-Wall Composition of Morphologically ology, 89:444–453.
- Yilma, S., (2008). Large-conductance cholesterol-amphotericine B channels in reconstituted lipid bilayers. Biosensors Bioelectron., 1359-1367.

Références bibliographiques

Zerizer,H.,Oulmi,L., Boughachiche, F., Reghioua, S., Boudemagh, A., Kitouni, M., Boulahrouf, A., (2005). Identification D'une actinomycetales Productrice d'antibactérien Isolée de sols arides de la région de Biskra. Sciences& Technologie .24 :17-22.

Résumé

Dans ce présent travail nous avons essayé de faire une synthèse sur les actinobactéries des sols arides en tant que des agents promoteurs en agriculture et dans la production des antibiotiques.

Les actinomycètes des sols arides sont des microorganismes Productrices des métabolites secondaire intéressante et pour cela ils ont devenus les plus recherché et étudié, ils procédant plusieurs rôles dans différents domaines et principalement dans le domaine de la production des antibiotiques, ainsi que la découvert des nouvelles souches qui synthétise des nouveaux composés.

Les actinobactéries des sols arides sont aussi des producteurs des antifongiques de nature non polyeniques qui aide à l'élimination des plusieurs champignons.

Les actinomycètes rares des sols sahariens ont montré grand capacité de synthèse des antibiotiques tel que le genre *Actinomadura*, *Streptomyces*,... Etc.

Les actinobactéries sont un groupe des bactéries PGPR, d'après les articles cités dans ce travail les actinomycètes sont des agents qui aide à la fixation d'azote, de phosphore sur les sols arides, protéger contre le stress hydrique et également l'augmentation des rendements des plantes. Par exp ils ont utilisé dans l'amélioration des cultures de blé dur (*Triticum durum*), inhibitions des champignons, bio-fertilisations des sols désertique à Mali.

Mots clés : actinobactéries, antibiotiques, métabolites secondaire, antifongiques, PGPR

Abstract

In this present work we have tried to make a synthesis on the actinobacteria of arid soils as promoters in agriculture and in the production of antibiotics.

The actinomycetes of arid soils are microorganisms Producing interesting secondary metabolites and for this they have become the most researched and studied, they carry out several roles in different fields and mainly in the field of the production of antibiotics, as well as the discovery of new strains. Which synthesizes new compounds.

Actinobacteria in arid soils are also producers of antifungals of a non-polyene nature which aid in the elimination of several fungi.

Rare actinomycetes from Saharan soils have shown great capacity for the synthesis of antibiotics such as the genus *Actinomadura*, *Streptomyces*, ... Etc.

Actinobacteria are a group of PGPR bacteria, according to the articles cited in this work actinomycetes are agents that help the fixation of nitrogen, phosphorus on arid soils, protect against water stress and also the increase of plant yields. By exp they used in the improvement of durum wheat (*Triticum durum*) crops, inhibitions of fungi, bio-fertilization of desert soils in Mali.

Key words : actinobacteria, antibiotics, secondary metabolites, antifungals, PGPR

الملخص

إنتاج وفي الزراعة في كمحفزات القاحلة للتربة الشعاعية البكتيريا من توليفة إجراء حاولنا ، الحالي العمل هذا في الحيوية المضادات .
بحثاً الأكثر أصبحت ولهذا ، للاهتمام مثيرة ثانوية مستقلبات تنتج دقيقة كائنات هي الجافة التربة في الشعاعية الفطريات عن فضلاً ، الحيوية المضادات إنتاج مجال في رئيسي وبشكل مختلفة مجالات في عديدة أدواراً تؤدي فهي ، دراسة جديدة مركبات يصنع الذي . جديدة سلالات اكتشاف
في تساعد والتي البوليمية غير الطبيعية ذات الفطريات لمضادات منتجة أيضاً الجافة التربة في الشعاعية البكتيريا تعد الفطريات من العديد على القضاء
جنس مثل الحيوية المضادات تخليق على كبيرة قدرة الصحراوية التربة من النادرة الشعاعية الفطريات أظهرت
الخ ... ، Streptomyces ، Actinomadura
هي الشعاعية الفطريات فإن ، العمل هذا في المذكورة للمقالات وفقاً ، PGPR بكتيريا من مجموعة الشعاعية البكتيريا تعد النباتات غلة زيادة وكذلك المائي الإجهاد من والحماية ، القاحلة التربة في والفوسفور النيتروجين تثبيت على تساعد عوامل والتخصيب ، الفطريات ومثبطات ، (Triticum durum) الصلب القمح محاصيل تحسين في استخدموا ، exp خلال من مالي في الصحراوية للتربة الحيوي

الفطريات مضادات ، الثانوية المستقلبات ، الحيوية المضادات ، الشعاعية البكتيريا :المفتاحية الكلمات
PGPR.

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

Filière : Sciences Biologiques
Spécialité : biologie moléculaire des microorganismes

Titre
ACTINOBACTERIES DES SOLS ARIDES :AGENTS PROMETEURS EN
AGRICULTURE
ET DANS LA PRODUCTION D'ANTIBIOTIQUES

Résumé

Dans ce présent travail nous avons essayé de faire une synthèse sur les actinobactéries des sols arides en tant que des agents promoteurs en agriculture et dans la production des antibiotiques.

Les actinomycètes des sols arides sont des microorganismes Productrices des métabolites secondaire intéressante et pour cela ils ont devenus les plus recherché et étudié, ils procédant plusieurs rôles dans différents domaines et principalement dans le domaine de la production des antibiotiques, ainsi que la découverte des nouvelles souches qui synthétise des nouveaux composés.

Les actinobactéries des sols arides sont aussi des producteurs des antifongiques de nature non polyéniques qui aide à l'élimination des plusieurs champignons.

Les actinomycètes rares des sols sahariens ont montré grand capacité de synthèse des antibiotiques tel que le genre Actinomadura, Streptomyces,... Etc.

Les actinobactéries sont un groupe des bactéries PGPR, d'après les articles cités dans ce travail les actinomycètes sont des agents qui aide à la fixation d'azote, de phosphore sur les sols arides, protéger contre le stress hydrique et également l'augmentation des rendements des plantes. Par exp ils ont utilisé dans l'amélioration des cultures de blé dur (Triticum durum), inhibitions des champignons, bio-fertilisations des sols désertique à Mali.

Mot clés : actinobactéries, antibiotiques, métabolites secondaire, antifongiques, PGPR

Membre du jury :

Président du jury : **Boudemagh allaou Eddine** (professeur - UFM Constantine)

Rapporteur : **Benhaziya Yacine** (professeur - UFM Constantine).

Examineurs : **Kitouni Mahmoud** (professeur- UFM Constantine).

Présentée par :
Selmane Rania et Oudjertli Zoubaida

Année universitaire : 2020-2021