

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université de Ghardaia



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

Département de Biologie

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de MASTER

En : Sciences biologiques

Spécialité : Biochimie appliquée

Présenté par : OULAD HADJ YUCEF Khadidja

Thème

**Identification et activités biologiques de quelques
souches d'actinobactéries**

2021, devant le jury composé de :

M. BAKELLI A.	MAA à Univ. Ghardaia	Président
M. MAHAMED I A. E.	MCB à Univ. Ghardaia	Examineur
M^{lle} DJEMOUAIN.	MAA à Univ. Ghardaia	Promotrice

Année universitaire: 2020-2021

Remerciements

Je remercie Allah tout puissant qui m' a donné la santé, le courage et la patience afin de pouvoir accomplir ce modeste travail.

Ce travail a été dirigé par Melle DJEMOUAI N. Maître-assistant A à l'Université de Ghardaïa. Je la remercie pour m'avoir permis de travailler sur ce thème de recherche, riche et passionnant et pour m'avoir su donner les bonnes directions à ce travail, je la remercie aussi pour son encouragement, ses orientations, pour sa patience et ses conseils scientifiques judicieux.

Je tiens également à remercier vivement les membres du jury M. BAKELI A. Maître-assistant A à l'Université de Ghardaïa et M. MAHAMEDI A. E. maître de Conférence B à l'Université de Ghardaïa qui ont accepté d'évaluer mon travail.

J'adresse mes remerciements les plus sincères aussi à Madame Asma NACER KHERFI qui m'a fait connaître la fameuse Nadjette.

Enfin, je remercie mes chers collègues de l'équipe de biomasse de l'Unité de Recherche en Energies Renouvelables URAER - CDER, M^{me} LAHOUEL, M. DAOUD et M. GHOBRIINI qui m'ont apporté leurs encouragements.

Khadija

Résumé

Ce travail s'est intéressé à l'étude de 22 souches d'actinobactéries qui sont fournies de la collection du Laboratoire de Biologie des Systèmes Microbiens (LBSM) de l'Ecole Normale Supérieure (ENS) de Kouba, Alger. L'étude a porté sur une identification macro- et micromorphologique, une évaluation des traits PGPB des souches telles que la solubilisation du phosphate et de potassium, la production des sidérophores, l'activité ACC désaminase, production de l'ammoniac et du cyanure d'hydrogène (HCN), ainsi qu'une mise en évidence de leurs aptitudes à produire quelques enzymes telles l'uréase, l'amylase, la cellulase, la tyrosinase, la lipase (l'estérase), la caséinase, la gélatinase, la pectinase et la chitinase, et également la recherche de la catalase. Deux souches, S 15 et S 22 ont été choisies pour une caractérisation biochimique en utilisant les galeries API 20 E, 20 NE et 50 CH afin de connaître leur métabolisme. Parmi les 22 souches d'actinobactéries isolées, la souche S 22 a été sélectionnée pour faire l'objet d'une identification par approches moléculaires.

La majorité des souches étudiées (90%) ont montré un potentiel à solubiliser le P et le K. Ainsi, 63% desquelles ont été apte à produire des sidérophores. Cependant, 4% des souches étudiées produisent du cyanure d'hydrogène (HCN). Les 22 souches d'actinobactéries ont montré que leur bagage enzymatique est important parce que toutes les souches étudiées ont montré plus qu'une activité enzymatique, ce qui démontre leur importance. La souche S 22 a été affiliée à l'espèce *S. kurssanovii* avec un pourcentage de similitude de 99.65%.

Mots-clés: Actinobactéries, PGPB, enzymes, séquençage, ARN 16S, *Streptomyces*.

Abstract

This work was interested to the study of 22 strains of actinobacteria which were provided from the collection of the Laboratory of Biology of Microbial Systems (LBSM) of the Ecole Normale Supérieur (ENS) of Kouba, Algiers. The study focused on macroscopic and microscopic morphological identification, evaluation of PGPB traits of strains such as solubilization of phosphate and potassium, production of siderophores, ACC deaminase activity, production of ammonia and hydrogen cyanide (HCN) as well as the demonstration of their ability to produce some enzymes such as urease, amylase, cellulase, tyrosinase, lipase (esterase), caseinase, gelatinase, pectinase and chitinase, and also the search for catalase. Two strains S 15 and S 22 were chosen for a biochemical characterization using the API 20 E, 20 NE and 50 CH systems in order to search for their metabolism. Among the 22 isolated actinobacterial strains, the S 22 strain was selected for identification by molecular approaches.

The majority of the studied strains (90%) showed a potential to solubilize P and K. Thus, 63% of the strains were able to produce siderophores. However, 4% of the studied strains produced hydrogen cyanide (HCN). The 22 strains of actinobacteria showed that their enzymatic background is important because all the studied strains showed more than one enzymatic activity, which demonstrates their importance. The S 22 strain was affiliated to the *S. kurssanovii* species with a similarity percentage of 99.65%.

Keywords: Actinobacteria, PGPB, enzymes, 16S RNA sequencing, *Streptomyces*.

ملخص

يهتم هذا العمل بدراسة 22 سلالة من البكتيريا الشعاعية، التي تم توفيرها من مجموعة مختبر بيولوجيا النظم الميكروبية (LBSM) التابع للمدرسة العليا (Ecole Normale Supérieur ENS) في القبة (الجزائر) ، وهدفت الدراسة للتشخيص والتحديد المورفولوجي للصفات الظاهرية و المجهرية، وتقويم خصائص السلالات PGPB مثل إذابة الفوسفات P والبوتاسيوم K، وإنتاج سيديروفور، و ACC ديأميناز، وإنتاج الأمونيا وسيانيد الهيدروجين (HCN). بالإضافة إلى إثبات قدرة هذه السلالات على إنتاج بعض الإنزيمات مثل اليورياز(uréase)، الأميلاز (amylase)، السليولاز (cellulase)، التيروسيناز(tyrosinase)، الليباز (الإستريز)(lipase estérase) ، الكازيناز(caséinase)، الحيلاتيناز (gélatinase)، البكتيناز (pectinase) والكيتيناز(chitinase) ، بالإضافة إلى البحث عن الكاتلاز (catalase).

تم اختيار سلالتين S15 و S22 لتوضيح الخصائص الكيميائية الحيوية وذلك باستخدام اختبارات API 20E و API 20NE و API 50 CH من أجل توضيح عملية التمثيل الغذائي الخاصة بهم . من بين السلالات الـ 22 ، تم اختيار السلالة 22 من اجل الدراسة التصنيفية الجزيئية.

أظهرت غالبية السلالات المدروسة (90%) إمكانية إذابة الفوسفور P والبوتاسيوم K ، وكذلك 63% من السلالات كانت قادرة على إنتاج السيديروفور، في حين 4% فقط من السلالات المدروسة أنتجت سيانيد الهيدروجين (HCN). أظهرت 22 سلالة من البكتيريا الشعاعية أن ثروتها الأنزيمية مهمة ،لأن جميع السلالات التي تمت دراستها أظهرت أكثر من نشاط إنزيمي، مما يدل على أهميتها. كانت السلالة S 22 مرتبطة بالنوع S. *kurssanovii* بنسبة تشابه بلغت 99.65%.

الكلمات المفتاحية: بكتيريا شعاعية ، PGPB ، إنزيمات ، تسلسل ARN 16 S ، *Streptomyces*.

Liste des abréviations

ACC	: Aminocyclopropane-1-carboxylate
ADN	: Acide Désoxyribonucléique
ARN	: Acide Ribonucléique
ARNr	: Acide Ribonucléique ribosomique
API	: Appareils et Procédés d'Identification
ALK	: Alexandrov (milieu de culture)
ATCC	: American Type Culture Collection
CMC	: Carboxy Méthyl Cellulose
CAS	: Chrome Azurol Sulfate (milieu de culture)
DAP	: Acide diaminopimélique pariétal
DAB	: Acide diaminobutyrique
DF	: Dworkin et Foster (milieu de culture)
GC	: Guanine-Cytosine
h	: Heure
HCN	: Cyanure d'hydrogène
ISP	: International Streptomyces Project
K	: Potassium
KCTC	: Korean Collection for Type Cultures
M	: Molaire
MA	: Mycélium aérien
MS	: Mycélium du substrat
P	: Phosphore
pH	: Potentiel d'hydrogène
PVK	: Pikovskaya (milieu de culture)
PCR	: Polymerase Chain Reaction
µl	: Micromètre (1x 10 ⁻⁶)
µm	: Micromètre (1x 10 ⁻⁶)
T °C	: Température en Degrés Celsius
TSA	: Tryptone Soy Agar (milieu de culture)
A	: Adénine
C	: Cytosine
G	: Guanine
T	: Thymine

Liste des tableaux

Tableau 1.	Caractères macro et micro-morphologiques des actinobactéries	3
Tableau 2.	Groupes chimiques d'actinobactéries selon la présence de DAP dans leur paroi cellulaire	8
Tableau 3.	Types de glucides caractéristiques chez des actinobactéries	8
Tableau 4.	Principaux chimiotypes chez les actinobactéries	9
Tableau 5.	Types de phospholipides caractéristiques présents chez les actinobactéries	10
Tableau 6.	Classification des actinobactéries selon Goodfellow (2012)	14
Tableau 7.	Répartitions des actinobactéries dans la nature	15
Tableau 8.	Exemples d'antibiotiques produits par des actinobactéries	18
Tableau 9.	Récapitulatif sur la recherche sur les actinobactéries en Algérie (travaux réalisés de 1999 à 2021)	26
Tableau 10.	Identification possible des souches testées	54
Tableau 11.	Résultats des activités PGPB des souches d'actinobactéries testées	55
Tableau 12.	Activité enzymatique des isolats étudiés	56
Tableau 13.	Résultats de l'identification par les galeries API 20E, API 20 NE et API 50 CH de souches S 22 et S 15	63

Liste des figures

Figure 1.	Micromorphologie de quelques actinobactéries les observations ont été effectuées au microscope électronique à balayage	4
Figure 2.	Classification phylogénétique des actinobactéries, basée sur la comparaison séquences d'ARNr 16S	12
Figure 3.	Schéma de cycle de vie de <i>Streptomyces</i> dans les conditions naturelles	16
Figure 4.	Cycle de développement du genre <i>Streptomyces</i> sur milieu solide	16
Figure 5.	Origine des antibiotiques	18
Figure 6.	Différents types d'enzymes produites par les actinobactéries	20
Figure 7.	Pigments colorés diffusibles produits par diverses actinobactéries	22
Figure 8.	Différents sites d'échantillonnage avec le nombre des isolats de chaque site	35
Figure 9.	Genre des actinobactéries isolés à différents régions en Algérie	37
Figure 10.	Intérêt des travaux réalisés sur les actinobactéries en Algérie	38
Figure 11.	Photographie présentant l'aspect macroscopique de quelques souches sur le milieu ISP2	53
Figure 12.	Aspect microscopique de souche S 02 sous le grossissement X10 et X40 d'actinobactéries au microscope optique (Zeiss)	53
Figure 13.	Aspect microscopique de souche S 09 sous le grossissement X10 et X40 d'actinobactéries au microscope optique (Zeiss).	54
Figure 14.	Aspect microscopique de souche S 13 sous le grossissement X10 et X40 d'actinobactéries au microscope optique (Zeiss)	54
Figure 15.	Activité amylolytique des souches S 14 et S 22.	58
Figure 16.	Activité cellulolytique de souche S 14	58
Figure 17.	Activité chitinolytique des souches S 14 et S 22	59
Figure 18.	Activité caséinolytique des souches S 14 et S 22	59
Figure 19.	Activité de la gélatinase chez des souches S 01, S 03, S 02, S 04 et S 05.	60
Figure 20.	Activité de lipase chez les souches S 14 et S 22	60
Figure 21.	Activité tyrosinolytique des souches S 01, S17 et S 18	61
Figure 22.	Nombre des isolats d'actinobactéries présentant le test catalase	61
Figure 23.	Capture écran du site d'EzTaxon	65
Figure 24.	Etapes d'identification de la souche étudiée	66
Figure 25.	Différentes étapes d'alignement à suivre au cours d'une analyse phylogénétique	67

Figure 26. Etapes de la construction de l'arbre phylogénétique en utilisant la méthode de maximum likelihood 68

Figure 27. Arbre phylogénétique basé sur l'analyse des séquences de l'ADNr 16S, montrant l'identification de la souche étudiée en utilisant la méthode de Maximum Likelihood 69

Table des matières

Remerciements	
Résumé	
Abstract	
ملخص	
Liste des abréviations	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Introduction	1
Synthèse bibliographique	
Chapitre 1. Généralités sur les actinobactéries	2
1. Définition et caractères généraux des actinobactéries	2
2. Morphologie des actinobactéries	2
3. Habitat des actinobactéries	4
3.1. Environnement terrestre	4
3.2. Eaux douces et marines	5
3.3. Air	5
3.4. Composts	5
3.5. Végétaux, animaux et l'homme	5
4. Physiologie du développement des actinobactéries	5
5. Ecologie des actinobactéries et leur distribution dans la nature	6
6. Classification des actinobactéries	7
6.1. Classification morphologique	7
6.2. Classification chimio-taxonomique	7
6.2.1. Acides aminés	7
6.2.2. Glucides	8
6.2.3. Lipides	9
6.2.3.1. Phospholipides	9
6.2.3.2. Acides gras	10
6.2.3.3. Acides mycoliques	10
6.2.3.4. Ménaquinones	10
6.3. Classification moléculaire	11
6.4. Classification physiologique et taxonomie numérique	13
7. Distribution des actinobactéries dans la nature	14
8. Cycle de développement des actinobactéries	15
9. Intérêt des actinobactéries	17
9.1. Importance dans le domaine agronomique	17
9.2. Importance dans le domaine industriel	17
9.2.1. Production d'antibiotique	17
9.2.2. Production des enzymes	19
9.2.2.1. Protéases	19
9.2.2.2. Chitinases	19
9.2.2.3. Amylases	20

9.2.2.4. Lipases	20
9.2.2.5. Xylanases	20
9.2.2.6. Cellulases	20
9.2.3. Production de bio-herbicides	21
9.2.4. Production de vitamines	21
9.2.5. Production de Pigments	21
9.3. Bioremédiation	22
9.4. Utilisation des actinobactéries en lutte biologique	23
Chapitre 2. Recherches sur les Actinobactéries en Algérie	24
1. Introduction	24
2. Actinobactéries isolées des écosystèmes algériens et leurs métabolites	25
3. Sites d'échantillonnage algériens fournissant des actinobactéries cultivables	35
4. Différents genres des actinobactéries isolées en Algérie	36
5. Intérêt des travaux réalisés en Algérie sur les Actinobactéries	38
5.1. Intérêt antimicrobien des métabolites secondaires dérivés d'actinobactéries	38
5.2. Intérêt des métabolites secondaires dérivés d'actinobactéries effet inhibiteur de croissance de cellules tumorales	41
5.3. Intérêt des métabolites secondaires dérivés d'actinobactéries effet des agents d'amélioration de la croissance des plantes	42
5.4. Actinobactéries endophytes pour des applications de biocontrôle et de stimulation de la croissance des plantes et comme agents biopesticides	44
5.5. Intérêt des actinobactéries effet de biosorption	45
6. Conclusion	46
Matériel et méthodes	47
1. Matériels	47
1.1. Matériels biologiques	47
1.2. Conservation des isolats obtenus	47
2. Méthodes	47
2.1. Caractérisation morphologiques des souches	47
2.1.1. Etude macro-morphologique	47
2.1.2. Etude micro-morphologique	47
2.2. Etude de l'effet PGPB des isolats d'actinobactéries	48
2.2.1. Solubilisation du phosphore	48
2.2.2. Solubilisation du potassium	48
2.2.3. Production des sidérophores sur CAS solide	48
2.2.4. Activité de l'ACC désaminase	48
2.2.5. Solubilisation d'ammonium	48
2.2.6. Production d'HCN	49
2.3. Mise en évidence des activités enzymatiques	49
2.3.1. Recherche du catalase	49
2.3.2. Recherche du caséinase	49
2.3.3. Recherche de lipase	49
2.3.4. Dégradation de cellulose	50
2.3.5. Production d'amylase	50

2.3.6. Détermination de l'activité pectinase	50
2.3.7. Synthèse de gélatinase	50
2.3.8. Production de la tyrosinase	51
2.3.9. Production de la Chitinase	51
2.3.10. Production de l'uréase	51
2.4. Etude des caractères biochimiques	51
2.5. Identification moléculaire par le séquençage du gène de l'ARN 16S et analyse phylogénétique	52
Résultats et discussion	53
1. Caractérisation morphologique des souches	53
1.1. macromorphologique	53
1.2. Micromorphologique	53
2. Effet PGPB des souches testées	55
3. Résultats de l'activité enzymatique	56
3.1. Hydrolyse de l'amidon	57
3.2. Dégradation de cellulose	58
3.3. Dégradation de la chitine	58
3.4. Dégradation de la caséine	59
3.5. Dégradation de la gélatine	59
3.6. Dégradation des lipides	60
3.7. Dégradation de la L-tyrosine	60
3.8. Dégradation de l'urée	61
3.9. Résultat de catalase	61
3.10. Dégradation de la pectine	62
4. Identification des souches S 15 et S 22 par les galeries API 20E et API 20 NE et API 50 CH	62
5. Identification moléculaire par le séquençage du gène de l'ARN 16S	65
5.1. Obtention de la séquence de l'ARNr 16S	65
5.2. Téléchargement et installation du logiciel MEGA7	66
5.3. Alignement des séquences	67
5.4. Construction des arbres phylogénétiques	68
Conclusion	70
Références bibliographiques	71
Annexes	

Introduction

Introduction

Les actinobactéries sont de remarquables agents de dégradation. En effet, dans leur environnement naturel, ils participent à la biodégradation de la matière organique. En plus, elles sont utilisées en bioremédiation afin de dépolluer l'environnement (Opatokun et al., 2011), ou en diverses industries pour des applications variées (Tuomela et al., 2000 ; Perez et al., 2002). Les actinobactéries sont connues aussi par la production des antibiotiques et leur aptitude à dégrader des métabolites et de produire plusieurs enzymes tels que: la chitinase (Kim et al., 2003), la xylanase (Alberton et al., 2009), l' α -amylase (Syed et al., 2009), la cellulase (Rathan et Ambili , 2011), la protéase (Patke et Dey, 1998 ; Vonothini et al., 2008), la lipase (Zhou et al., 2000 ; Vujaklija et al., 2002), la pectinase (Arijit et al., 2013) etc. Les actinobactéries sont capables de coloniser les systèmes racinaires des plantes et de favoriser la leur croissance, appelée aussi Plant Growth Promoting Bacteria (PGPB). Ces derniers peuvent améliorer la croissance des plantes directement en facilitant l'absorption de certains nutriments de l'environnement (phosphore, potassium...etc.) ou indirectement par des mécanismes de contrôle des maladies par exemple (Ilangumaran et Smith, 2017 ; Egamberdieva et al., 2019).

Dans la même optique, nous avons cherché à étudier les propriétés PGPB de quelques souches d'actinobactéries et leur capacité à produire quelques enzymes. La première partie de ce travail, est une recherche bibliographique sur les actinobactéries, leur écologie ainsi que de leur importance ; et dans la même partie nous avons mis une récapitulation des travaux faits en Algérie sur les actinobactéries (80 articles) dans les 20 dernières années. La seconde partie est l'expérimentale, qui s'occupe de l'étude ou l'identification morphologique de quelques souches d'actinobactéries, étude de leur effet PGPB ainsi que la mise en évidence de leurs activités enzymatiques. Une identification moléculaire par le séquençage de l'ARN 16S et une analyse phylogénétique est faite pour une souche choisie parmi les 22 souches étudiées. Les résultats obtenus sont comparés et discutés dans la troisième partie. Enfin, la dernière partie concernera la conclusion finale et soulignera les perspectives de ce travail.

Synthèse bibliographique

Chapitre 1. Généralités sur les actinobactéries

1. Définition et caractères généraux des actinobactéries

Etymologiquement, le mot Actinomycète a été dérivé des mots grecs «*Aktis*» qui veut dire rayon et «*Mykes*» qui veut dire champignon «champignons à rayons» ou «champignons rayonnants» (Lamari, 2006).

Les actinobactéries ont été considérées comme un groupe intermédiaire entre bactéries et champignons. Les actinobactéries sont anciennement reconnues sous le nom des actinomycètes (Perry et al., 2004). Actuellement, elles sont reconnues comme des organismes procaryotes et appelées Actinobacteria (Andriambololona, 2010).

Les actinobactéries constituent l'ordre des Actinomycetales. Ce sont des bactéries formant des filaments minces et ramifiés, septées, bacilles à Gram positif (Dgigal, 2003), l'ordre des Actinomycetales comprend des genres d'une grande variabilité morphologique, allant du cocci (*Micrococcus*) à un cycle bâtonnet-cocci (*Arthrobacter*) en passant par ceux formant des hyphes qui se fragmentent (*Nocardia*, *Nocardopsis* et *Rhodococcus*) et ceux qui possèdent un mycélium bien différencié et persistant (*Streptomyces*, *Actinomadura* et *Streptosporangium* ...etc.) possédant un coefficient de Chargaff (GC%) élevé compris entre 60-70% (Larpent, 1989) ; elles peuvent être saprophytes tel que *Mycobacterium*. La plupart des espèces sont immobiles, hétérotrophes mais certaines sont chimio-autotrophes (Ensign, 1993) ; aérobies, mésophiles et croissent de façon optimale dans la gamme de pH 5,0 à 9,0 avec une proximité optimale à la neutralité (Williams, 1982 ; Goodfellow, 1983).

Les actinobactéries forment des colonies circulaires constituées d'hyphes (filaments) qui irradient par croissance centrifuge, tout autour du germe qui leur a donné naissance (Eunice et Prosser, 1983; Colombié, 2005).

En réponse à des conditions défavorables, telles que le déficit en nutriments et en eau, les actinobactéries sporulent, c'est que lorsque les conditions redeviennent favorables les spores peuvent germer et former de nouveau le mycélium végétatif. Cette propriété joue un rôle important dans leur large distribution dans la nature (Djaballah, 2010).

2. Morphologie des actinobactéries

Morphologiquement, les actinobactéries peuvent être classées en deux groupes :

Le premier groupe se compose d'organismes qui forment une masse de filaments ramifiés (mycélium). Le second groupe comprend les organismes qui sont morphologiquement plus

complexes que le premier (Lechevalier, 1985), on peut rencontrer, en plus des filaments ramifiés, des bacilles et aussi des coccobacilles comme *Rhodococcus* et *Mycobactérium* (Prescott, 2003).

Les colonies formées sur les milieux solides présentent différents aspects macroscopiques qui peuvent être regroupés en trois types:

- Des colonies poudreuses couvertes d'hyphes aériennes fermement attachées au milieu ;
- Des colonies pâteuses qui peuvent être facilement détachées des milieux solides ;
- Des colonies exemptes de mycélium de substrat et se composent d'hyphes aériennes attachées au milieu par des crampons (Kalakoutsii, 1976).

Les critères morphologiques sont énoncés dans les "Bergey's Manual" des années 1989, 1994, 2010 et 2012. Il s'agit de caractéristiques macro-morphologiques et des caractères micro-morphologiques (Tableau 1).

Tableau 1. Caractères macro et micro-morphologiques des actinobactéries (Boudjalal, 2012; Harir, 2018).

Caractéristiques macro-morphologiques	Caractéristiques micromorphologiques
Production ou non d'un mycélium aérien (MA).	Fragmentation ou non du MS.
Présence d'un mycélium de substrat (MS).	Présence de sporanges sur le MA ou sur le MS, la forme et la taille des sporanges ainsi que la longueur des sporangiophores.
Détermination de la couleur du MA et du MS ainsi que des pigments diffusibles dans le milieu de culture.	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 chaîne. Mode de sporulation: spores portées 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 (lisses, rugueuses, épineuses ou chevelues). Formation de structures particulières: faux sporanges...etc.

La micromorphologie de quelques espèces d'actinobactéries est donnée dans la Figure 1.

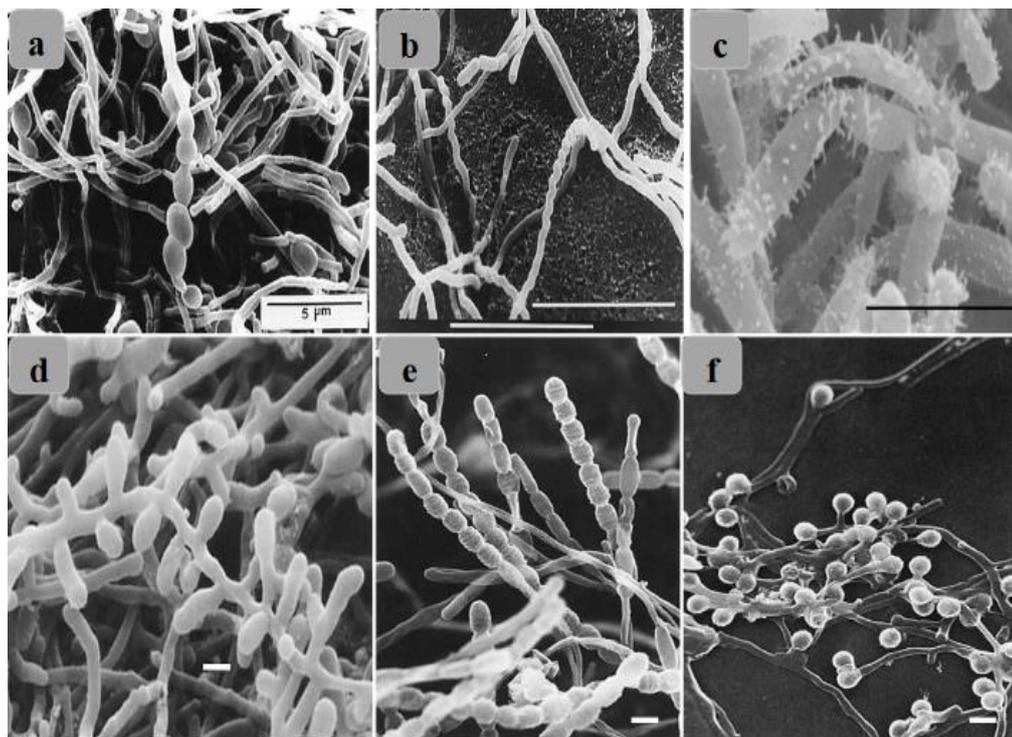


Figure 1. Micromorphologie de quelques actinobactéries les observations ont été effectuées au microscope électronique à balayage (Yassin et al., 1993 ; Miyadoh et al., 2002). **a.** *Saccharopolyspora interjecta* SANK 60983 bar, 5 µm, **b.** *Nocardiopsis lucentensis* ATCC 51300 bar, 1µm, **c.** *Pseudonocardia spinosa* KCTC 9991T bar, 2 µm, **d.** *Saccharomonospora viridis* IFO 12207 bar, 1µm, **e.** *Microtetraspora roseola* JCM 3323 bar, 1µm, **f.** *Micromonospora* sp. SF2259 bar, 1 µm.

3. Habitat des actinobactéries

3.1. Environnement terrestre

Le sol demeure l'habitat le plus important pour les actinobactéries, le genre des *Streptomyces* est signalé comme le genre le plus abondant.

Il existe plusieurs rapports montrant la distribution des actinobactéries dans divers endroits, tels que le sol sablonneux, le sol alcalin noir, le sol limoneux sablonneux, le sol de dessert alcalin, où *Streptomyces* sp. étaient dominants suivis par les autres organismes, tels que *Nocardia*, *Nocardiopsis* et *Actinomyces* (Cundell et Piechoski, 2016).

Egalement, les actinobactéries jouent un rôle majeur dans la communauté microbienne de la rhizosphère dans le renouvellement de la matière organique végétale récalcitrante (Nithya et al., 2015).

3.2. Eaux douces et marines

Les actinobactéries sont bien représentées dans les milieux hydriques d'où l'on peut facilement isoler des souches de *Microspora*, d'*Actinoplanes* et de *Streptosporangium*. C'est essentiellement dans les sédiments des fonds fluviaux ou lacustres que ceux-ci sont présents où ils jouent un rôle important dans la décomposition des débris végétaux et donnent à l'eau son odeur de terre et sa saveur (Xu et al., 1996 ; Hwang et al., 2001).

3.3. Air

L'air constitue pour les actinobactéries, non pas un habitat, mais un moyen de transport. Les spores des actinobactéries sont des contaminants importants de notre environnement. Les spores de certaines actinobactéries se développent dans des matériaux détériorés provoquant, lorsqu'elles sont inhalées, des maladies respiratoires. Les spores d'actinobactéries thermophiles sont produites en grande quantité et sont facilement mises en suspension dans l'air (Mazodier, 1974).

3.4. Composts

Les actinobactéries sont isolées des composts, il s'agit de genres thermophiles tels que *Thermoactinomyces*, *Sacharomonospora* et d'autres thermo-tolérants tel que *Microbispora*, *Micropolyspora* et *Pseudonocardia* (Ensign et al., 1993 ; Lacey, 1997 ; Song et al., 2001). Les actinobactéries sont actives dans les derniers stades du compostage. Elles sont spécialisées dans l'attaque des structures plus résistantes comme la cellulose, l'hémicellulose et la lignine (Zermane, 2007).

3.5. Végétaux, animaux et homme

Dans la distribution naturelle des actinobactéries, il faut ajouter les végétaux, les animaux et l'homme. Parmi les exemples les mieux connus, il faut citer: *Streptomyces scabies*, *Actinomyces bovis*, *Mycobacterium tuberculosis*, *Mycobacterium leprae*, *Nocardia asteroides* et *Micropolyspora faeni* (Zermane, 2007).

4. Physiologie du développement des actinobactéries

Les actinobactéries représentent l'une des principales communautés microbiennes, leur présence est influencée par plusieurs paramètres physiologiques (conditions environnementaux) en particulier : l'oxygène, le pH, la température...etc. (Djaballah, 2010).

- Selon le type respiratoire, elles sont divisées en deux groupes, le premier est des formes fermentatives anaérobies strictes tel que le genre *Actinomyces* et l'autre groupe contient des formes oxydatives aérobies comme *Streptomyces* (Prescott, 2007).
- Selon le pH de croissance la majorité des actinobactéries sont des bactéries neutrophiles dans un intervalle de pH compris entre 7 et 8 avec une croissance optimale (Wang, 2006); mais on peut observer une croissance à des valeurs de pH inférieures à 4 (McKinney, 2004), le cas pour les souches acidophiles tels que: *Streptacidiphilus jiangxiensis* (Huang et al., 2004) et *Streptacidiphilus oryzae* (Wang et al., 2006).
- Concernant la température, elles sont des bactéries mésophiles, leur température optimale de croissance est de 25 à 30°C (Leveau, 1993 ; Djaballah, 2010). Cependant, il existe des espèces thermophiles, principalement dans le genre *Thermoactinomyces* dont la température optimale est entre 50 et 60 °C (Rangaswami et al., 2004). Ces organismes avaient été distingués de leurs homologues thermophiles appartenant au genre *Thermomonospora* grâce à leurs spores qui résistent à une température de 90°C pendant 30 minutes et par la résistance à la novobiocine (25 µg/ml). Le genre *Streptomyces* comporte aussi des espèces thermophiles comme *Streptomyces thermocrophilus* (Kim et al., 2000) et même psychrophiles (Holt et al., 1994).
- Pour l'humidité, les actinobactéries sont isolées des sols contenant des taux faibles jusqu'à modérés d'humidité (Oskay, 2004).
- Tolérance pour NaCl: selon leurs exigences en NaCl, les microorganismes sont divisés en deux groupes :
 1. Les halophiles: ont besoin de sel (NaCl) pour leurs croissances, la concentration peut varier de 1-6 % (poids/volume) pour les faiblement halophiles, jusqu'à 15-30 % pour les bactéries halophiles extrêmes.
 2. Les halotolérants: acceptent des concentrations modérées de sels mais non obligatoires pour leurs croissances. On distingue, les légèrement tolérants (tolère de 6 à 8 % de NaCl (Poids/Volume) ; les modérément tolérants (tolère de 18 à 20 % de NaCl (P/V) ; et les extrêmement tolérants (se développe de 10 % jusqu'à saturation NaCl) (Messaoudi, 2012).

5. Ecologie des actinobactéries et leur distribution dans la nature

Les actinobactéries sont adaptées à divers milieux écologiques. Ainsi, ils peuvent être présents dans les sols, dans les eaux douces ou salines et dans l'air (Goodfellow, 1983).

Toutefois, ils sont particulièrement abondants dans le sol, particulièrement dans les sols alcalins et les sols riches en matières organiques où ils constituent une partie importante de la population microbienne (Loqman, 2009).

La fonction écologique principale des actinobactéries au sein des écosystèmes est la décomposition des substances organiques (Prescott, 2010), grâce à leurs capacités de produire une large gamme d'enzymes hydrolytiques, comme les protéases, les nucléases, les lipases...etc. (Prakash, 2012).

6. Classification des actinobactéries

La taxonomie des actinobactéries est basée sur un ensemble de caractères morphologiques, chimio-taxonomiques, moléculaires et physiologiques. L'ensemble des caractéristiques de chaque taxon bactérien est répertorié dans le Manuel de Bergey (Goodfellow, 2012).

6.1. Classification morphologique

Les critères morphologiques font appel aux caractéristiques culturales sur différents milieux de culture et aux caractéristiques micro-morphologiques tels que : le mycélium fragmenté ou non, présence ou non de mycélium aérien, production des spores, production ou non de pigments mélanoides... etc (Shirling et Gotlieb, 1966 ; Bouras et al., 2008).

6.2. Classification chimio-taxonomique

La composition de la paroi cellulaire en acides aminés, glucides et lipides constituent le principal caractère utilisé en chimio-taxonomie (Prescott, 2003).

6.2.1. Acides aminés

Détermination de la forme isométrique de l'acide di-aminopimélique pariétal (DAP) qui se peut se présenter sous forme LL ou DL, ou encore être placée par autres acides aminés tels que la lysine, l'ornithine ou l'acide di-aminobutyrique. La glycine est aussi un acide aminé taxonomiquement important présent chez certains genres, dans la paroi cellulaire.

Les parois sont classées en huit groupes chimiques pariétaux en fonction de leur composition en DAP mais aussi en d'autres acides aminés (Holt et al., 1994). Le tableau suivant regroupe quelques genres d'actinobactéries selon la composition de leur paroi.

Tableau 2. Groupes chimiques d'actinobactéries selon la présence de DAP dans leur paroi cellulaire (Holt et al., 1994).

Classe	Présent chez le genre
GI	<i>Arachnia, Pimelobacter, Nocardioides</i> et <i>Streptomyces</i>
GII	<i>Actinoplanes</i> et <i>Actinomyces</i>
GIII	<i>Dermatophilus, Maduromyces</i> et <i>Frankia</i>
GIV	<i>Micropolyspora</i> et <i>Nocardioformes</i>
GV	<i>Actinomyces</i>
GVI	<i>Microbacterium, Oerskovia, Promicromonospora, Actinomyces</i> et <i>Arcanobacterium</i>
GVII	<i>Agromyces</i> et <i>Calvibacter</i>
GVIII	<i>Aureobacterium, Curtobacterium</i> et <i>Cellulomonas</i>

6.2.2. Glucides

Les glucides sont taxonomiquement importants et sont regroupés en 4 groupes majeurs représentés dans le Tableau 3.

Tableau 3. Types des glucides caractéristiques présents chez des actinobactéries (Lechevalier et Lechevalier, 1970).

Groupe	Type de glucides	Genres
Spectre glucidique A	Arabinose+Galactose	<i>Nocardia, Actinopolyspora</i> et <i>Prauserella</i>
Spectre glucidique B	Madurose	<i>Actinomadura</i> et <i>Streptosporangium</i>
Spectre glucidique C	Pas de sucres caractéristiques	<i>Nocardiopsis</i>
Spectre glucidique D	Arabinose +Xylose	<i>Micromonospora</i> et <i>Actinoplanes</i>

Les sucres non caractéristiques (n'ayant pas d'importance taxonomique) sont le glucose, le ribose, le mannose et le galactose (quand celui-ci n'est pas couplé à l'arabinose ou à la xylose).

Les actinobactéries ayant les chimiotypes V, VI, VII et VIII ne produisent pas un véritable mycélium. Ils se présentent sous forme de cellules bâtonnets ou coccoïdes, ou parfois avec un mycélium très rudimentaire. Le Tableau suivant résume les principaux chimiotypes chez les actinobactéries (Larpen, 2000).

Tableau 4. Principaux chimiotypes chez les actinobactéries (Larpent, 2000).

Chimiotype	Acides aminés	Sucres caractéristiques	Genre
Type IC	LL-DAP, glycine	Pas de sucres caractéristiques	<i>Streptomyces</i> et <i>Nocardioïdes</i>
Type IID	DL-DAP	Glycine, arabinose et xylose	<i>Actinoplanes</i> et <i>Micromonospora</i>
Type IIIB	DL-DAP	Madurose	<i>Streptosporangium</i> et <i>Actinomadura</i>
Type IIIC	DL-DAP	Pas de sucres caractéristiques	<i>Thermomonospora</i> et <i>Nocardiosis</i>
Type IIIE	DL-DAP	Galactose et rhamnose	<i>Saccharothrix</i> et <i>Actinosynnema</i>
Type IVA	DL-DAP	Arabinose et galactose	<i>Nocardia</i> , <i>Amycolatopsis</i> et <i>Pseudonocardia</i>
Type V	Lysine, ornithine	Pas de sucres caractéristiques	<i>Actinomyces</i>
Type VI	Lysine	Pas de sucres caractéristiques	<i>Oerskovia</i> et <i>Promicromonospora</i>
Type VII	Glycine, DAB	Pas de sucres caractéristiques	<i>Agromyces</i> et <i>Clavibacter</i>
Type VIII	Ornithine	Pas de sucres caractéristiques	<i>Aureobacterium</i> et <i>Curtobacterium</i>

DAP = acide diaminopimélique, DAB = acide diaminobutyrique.

6.2.3. Lipides

Il existe des genres qui sont très différents mais qui possèdent le même chimiotype. Pour les distinguer chimiquement, d'autres analyses chimiques concernant la composition de la membrane et de la paroi en lipides sont nécessaires. Les lipides qui sont taxonomiquement importants sont les suivants:

6.2.3.1. Phospholipides

La composition membranaire en phospholipides est l'un des caractères les plus importants. Elle permet de distinguer entre eux la plupart des genres ayant le même chimiotype. En fonction de cette composition, Lechevalier et al. (1977) ont divisé les actinobactéries en 5 types de phospholipides: PI à PV (Tableau 5).

Tableau 5. Types de phospholipides caractéristiques présents chez les actinobactéries (Lechevalier et al., 1977).

Types de phospholipides		Genres
PI	Phosphatidylglycérol	<i>Actinomadura</i>
PII	Phosphatidyléthanolamine	<i>Streptomyces</i> et <i>Pseudonocardia</i>
PIII	Phosphatidylcholine	<i>Nocardiopsis</i> et <i>Amycolatopsis</i>
PIV	Phospholipides avec : Glucosamine + Phosphatidyléthanolamine	<i>Nocardia</i> et <i>Nonomuraea</i>
PV	Phosphatidylglycérol + Phospholipides glucosamine	<i>Oerskovia</i>

6.2.3.2. Acides gras

Les acides gras les plus communs, chez les actinobactéries appartiennent soit au groupe de molécules comportant de 12 à 20 atomes de carbone, soit au groupe des acides mycoliques à 20-90 atomes de carbone. La présence d'acides mycoliques est caractéristique des genres tels que *Nocardia*, *Mycobacterium* et *Rhodococcus* (Harir, 2018).

6.2.3.3. Acides mycoliques

Les acides mycoliques sont des lipides pariétaux complexes et insaturés ; la recherche de ces acides ne concerne que les actinobactéries appartenant au chimiotype IVA qui sont distingués entre eux en fonction de la présence ou de l'absence des acides mycoliques. Ainsi, dans ce groupe (chimiotype IVA), *Nocardia* (ayant des acides mycoliques) a été séparé d'*Amycolatopsis* et de *Pseudonocardia* (n'ayant pas d'acides mycoliques), ces derniers étant différenciés entre eux par la composition en phospholipides (Mordarska et al., 1972).

6.2.3.4. Ménaquinones

Ce sont des lipides solubles situés au niveau de la membrane plasmique et ayant un rôle important dans la respiration. Elles sont impliquées dans le processus de transport des électrons et la phosphorylation oxydative. Leur structure est faite d'un noyau naphtoquinone méthylé (2-méthyl-1-4-naphtoquinone) lié à une chaîne latérale isoprénique. Elles sont différenciées en fonction du nombre des unités isoprènes et du degré d'hydrogénation de la chaîne (Minnikin et al., 1984; Rodríguez Concepción et Boronat, 2013). La composition membranaire en ménaquinones représente un complément de confirmation des résultats déjà obtenus. Elle n'est obligatoire que lors de la description de nouvelles espèces. Les ménaquinones sont présentes chez *Thermopolyspora*, *Microbispora* et *Nocardiopsis* (Boudjella, 2007; Loqman, 2009 ; Saker, 2015).

6.3. Classification moléculaire

Parmi les principales techniques moléculaires utilisées en taxonomie, on cite l'analyse des séquences de l'ADN codant pour l'ARN ribosomique 16 S (ADNr 16 S), l'hybridation ADN-ADN, la détermination du pourcentage guanine-cytosine (GC)%, ainsi que l'analyse des séquences des protéines ribosomiques.

La fiabilité et la rapidité d'exécution de ces techniques ont ainsi permis de réviser la phylogénie des actinobactéries (Stackebrandt et Woese, 1981; Stackebrandt et al., 1997; Rheims et al., 1999). La classification phylogénétique des actinobactéries est montrée dans la figure suivante (Figure 2) :

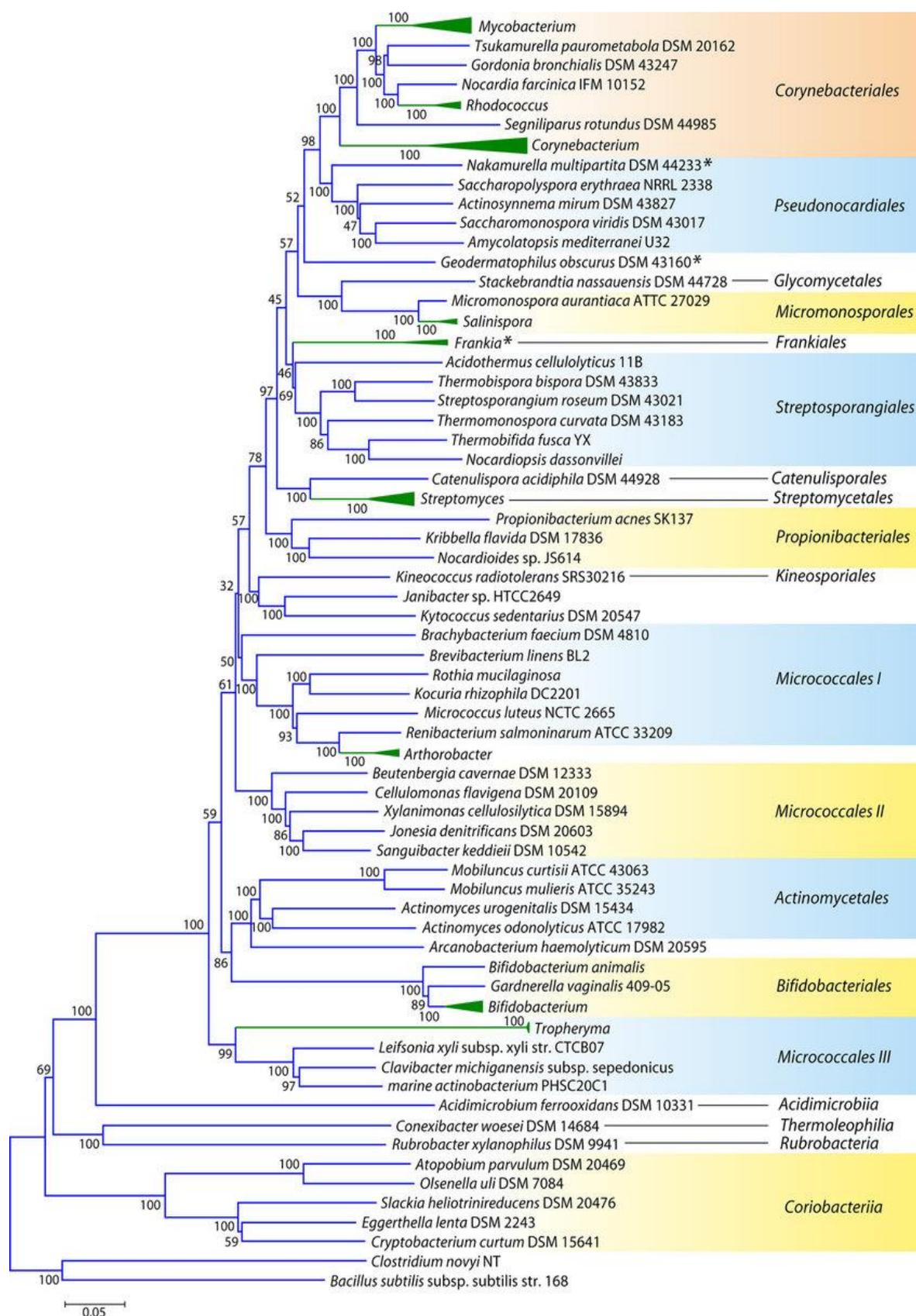


Figure 2. Classification phylogénétique des actinobactéries, basée sur la comparaison séquences d'ARNr 16S (Gao et Gupta, 2012).

6.4. Classification physiologique et taxonomie numérique

En plus de ces caractères, la détermination des espèces se base également sur les caractères physiologiques. Ceux-ci consistent en des tests de dégradation de différents composés glucidiques, lipidiques, protidiques, polymères complexes et de stéroïdes ...etc. D'autres tests interviennent parfois dans la détermination des espèces, comme la résistance aux différents agents chimiques (antibiotiques et divers autres agents), et la tolérance à des conditions extrêmes (température, pH et salinité... etc.). Lorsque les tests physiologiques sont très nombreux, les résultats deviennent difficilement exploitables. Ce qui a amené les systématiciens à appliquer durant une longue période la taxonomie numérique aux actinobactéries (Goodfellow et al., 1990). Cette technique a apporté plus de clarté dans la reconnaissance des espèces et les résultats les plus spectaculaires ont été obtenus sur le genre *Streptomyces*. En effet, le nombre d'espèces de ce genre, qui était de 463 a été réduit à 142 (Williams et al., 1989).

La méthode de classification numérique est développée à la fin des années 1950 qui consiste à utiliser un grand nombre de caractères physiologiques et biochimiques, tous considérés d'égale importance, et permet de définir des pourcentages de similarité entre les organismes grâce à l'utilisation de coefficients (de Jaccard et autres.). Plusieurs groupes ou « clusters » sont ainsi formés suivant les ressemblances des souches définies par un indice de similarité. (Sneath, 1989). Au cours des 20 dernières années, que le genre *Streptomyces* était la pierre angulaire de la recherche de nouveaux antibiotiques ; *Streptomyces* a conduit à la recherche de nouveaux isolats pour cela Shirling et Gottli ont fait recommandés le milieu International *Streptomyces* Project (ISP). Selon le manuel de Bergey, (2012) et Goodfellow, (2012), les actinobactéries sont classées dans le domaine Bactéria et phylum des Actinobacteria qui est subdivisé en 06 classes dont celle d'Actinobacteria se divise en 15 ordres les plus importants sont ceux des Actinomycetales et Streptomycetales (Tableau 6) (Goodfellow, 2012).

Tableau 6. Classification des actinobactéries selon Goodfellow (2012).

Classes	Ordre	Famille
	<i>Actinomycetales</i>	<i>Actinomycetaceae</i>
	<i>Actinopolysporales</i>	<i>Actinopolysporaceae</i>
	<i>Bifidobacteriales</i>	<i>Bifidobacteriaceae</i>
	<i>Catenulisporales</i>	<i>Catenulisporaceae</i> et <i>Actinospicaceae</i>
	<i>Corenybacteriales</i>	<i>Corenybacteriaceae</i> et <i>Dietziaceae</i> , <i>Mycobacteriaceae</i> et <i>Nocardiaceae</i> , <i>Segniliparaceae</i> et <i>Tsukamelluraceae</i>
	<i>Frankiales</i>	<i>Frankiaceae</i> , <i>Acidothermaceae</i> , <i>Cryptosporangiaceae</i> , <i>Geodermatophilaceae</i> et <i>Nokamurellaceae</i>
	<i>Glycomycetales</i>	<i>Glycomycetaceae</i>
	<i>Jiangellales</i>	<i>Jiangellaceae</i>
	<i>Kineosporales</i>	<i>Kineosporaceae</i>
<i>Actinobacteria</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> et <i>Ruaniaceae</i>
	<i>Micromonosporales</i>	<i>Micromonosporaceae</i>
	<i>Propionibacteriales</i>	<i>Propionibacteriaceae</i> et <i>Nocardidoidaceae</i>
	<i>Pseudonocardiales</i>	<i>Pseudonocardiaceae</i>
	<i>Streptomycetales</i>	<i>Streptomycetaceae</i>
	<i>Streptosporangiales</i>	<i>Streptosporangiaceae</i> , <i>Nocardiopceae</i> et <i>Thermonosporaceae</i>
<i>Acidimicrobiia</i>	<i>Acidimicrobiales</i>	<i>Actinomicrobiaceae</i>
<i>Nutriliruptoria</i>	<i>Nutriliruptoriales</i>	<i>Nutrilirutoriaceae</i>
	<i>Euzebyales</i>	<i>Euzebyaceae</i>
<i>Rubrobacteria</i>	<i>Rubrobacteriales</i>	<i>Rubrobacteriaceae</i>
<i>Coriobacteriia</i>	<i>Coriobacteriales</i>	<i>Coriobacteriaceae</i> et <i>Atopobiaceae</i>
	<i>Thermophilales</i>	<i>Thermophilaceae</i>
<i>Thermophila</i>	<i>Solirubrobacteriales</i>	<i>Solirubrobacteriaceae</i> , <i>Conexibacteraceae</i> et <i>Patulibacteraceae</i>

7. Distribution des actinobactéries dans la nature

Les actinobactéries sont adaptées à divers milieux écologiques (Goodfellow et Williams, 1983). Ainsi, ils peuvent être dans les sols, spécialement dans les sols alcalins et les sols

riches en matières organiques où ils constituent une partie importante de la population microbienne (Loqman, 2009), dans les eaux douces ou salines et dans l'air.

Le premier dénombrement des actinobactéries dans le sol est réalisé par Hiltner et Stormer (1903) qui ont indiqué que le pourcentage des actinobactéries représente 13 à 30 % de la totalité microbienne du sol.

Les actinobactéries ont été également isolées dans de nombreux environnements aquatiques. Ils ont été isolés à partir des eaux de mer et sédiments marins (Jensen et al., 1991 ; Ghanem, 2000), d'eau douce (Kitouni et al., 2005) et dans les marécages salés (Al-Zarban,2002; Boughachiche, 2005).

Les actinobactéries se rencontrent également sur les débris des végétaux qu'on trouve au bord des rivières et des lacs, les champs de riz (Wang et al., 2006)et les cavernes naturelles (Lee, 2006), beaucoup sont capables de sporuler, ce qui leur permet de survivre en conditions défavorables tel que la salinité (Zaitlin et Watson, 2006). Cette propriété joue un rôle principal dans leur distribution. Le tableau suivant résume quelques genres d'actinobactéries et leur habitat:

Tableau 7. Répartitions des actinobactéries dans la nature (Goodfellow, 1983).

Genre	Habitats
<i>Actinomodura</i>	Sol
<i>Actinoplanes</i>	Sol, eau et litière
<i>Frankia</i>	Nodule de racine
<i>Microbispora</i>	Sol
<i>Micromonospora</i>	Sol et eau
<i>Nocardia</i>	Sol et eau
<i>Rhodococcus</i>	Sol, eau, fumier et litière
<i>Sacharomonospora</i>	Matière en décomposition
<i>Streptomyces</i>	Sol, eau et litière
<i>Streptosporangium</i>	Sol
<i>Thermomonospora</i>	Matière en décomposition et fermentation de compost

8. Cycle de développement des actinobactéries

Tout comme les eucaryotes multicellulaires, les actinobactéries possèdent un cycle de vie complexe, qui est le résultat de trois processus physiologiques majeurs: la croissance végétative, la différenciation cellulaire puis la mort. Selon Tighidet (2010) et Danilenko et al. (2005), leur cycle de vie commence par la germination des spores, ce processus nécessite la

présence d'ions de calcium. La germination donne naissance à un mycélium primaire ramifié (Figure 3) (O'Gara et al., 2008).

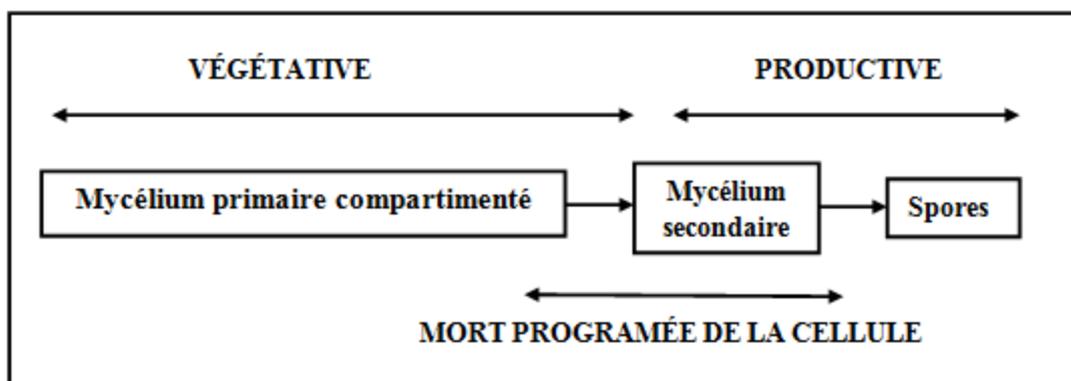


Figure 3. Schéma de cycle de vie de *Streptomyces* dans les conditions naturelles (Manteca et Sanchez, 2009).

Le genre *Streptomyces* possède un cycle de développement complexe sur un milieu solide. Il débute par la germination d'une spore qui donne naissance à un mycélium primaire formé d'hyphes non septées, polynuclées, ramifiées et ancrées dans le milieu solide. La germination des spores comprend quatre étapes : l'activation, l'initiation, l'émergence du tube germinatif et sa croissance (Manteca et Sanchez, 2009 ; Barka, 2016).

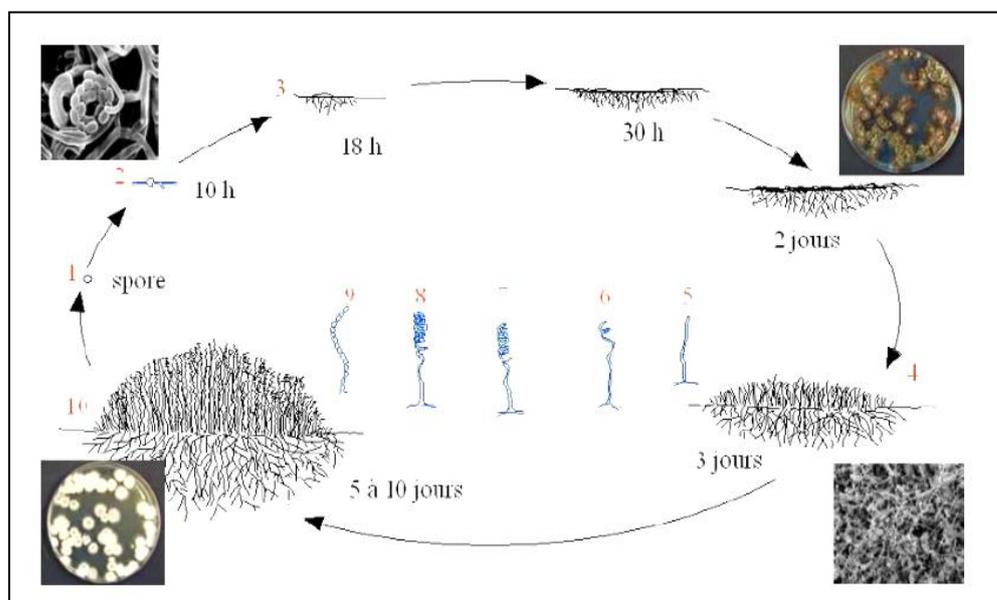


Figure 4. Cycle de développement du genre *Streptomyces* sur milieu solide (Scherr et Nguyen, 2009).

9. Intérêt des actinobactéries

Les actinobactéries possèdent une importance économique majeure et aussi possèdent des rôles importants dans le sol et dans les interactions avec les plantes, mais également pour la synthèse de nombreux métabolites d'intérêt biotechnologique ayant des applications dans divers domaines (industriel, pharmaceutique...etc.). Ils présentent une variété de cycles vitaux qui sont uniques parmi les procaryotes et jouent un rôle majeur dans le recyclage de la matière organique dans l'écosystème du sol.

9.1. Importance dans le domaine agronomique

Les actinobactéries sont des microorganismes qui ont un rôle écologique majeur grâce à leur capacité de produire une large gamme d'enzymes; telles que, les hydrolases extracellulaires, qui leur confèrent un rôle dans la décomposition de la matière organique et des éléments minéraux dans le sol et contribuent ainsi à la fertilisation des sols. Ils sont caractérisés par leur grand pouvoir de transformation des substances organiques complexes, tels que les polysaccharides, les lignocelluloses, la chitine, qui sont difficilement ou non dégradables par les autres microorganismes (William, 1983 ; Valois, 1996). Dans l'agriculture, les actinobactéries protègent les racines des plantes contre les invasions des champignons (Lamari, 2006). Il a été rapporté que les actinobactéries influencent la croissance des plantes grâce à leurs activités anti-microbiennes au niveau du sol et augmentent la vitesse de synthèse et de minéralisation de la matière organique permettant ainsi une bonne nutrition pour les plantes (Yilma, 2008). *Frankia* est connu pour son rôle dans la fixation d'azote atmosphérique en symbiose dans les nodules racinaires de certains arbres dicotylédones (Lechevalier, 1981).

Grâce à leurs propriétés antagonistes, les actinobactéries sont également utilisées dans la lutte biologique des maladies des plantes (Sutthinan, 2009). Elles sont capables aussi de dégrader ou de recycler certaines toxines produites par des champignons toxigènes et réduire aussi leur teneur dans les produits finaux en agro-alimentaire (William, 1983 ; Valois, 1996).

9.2. Importance dans le domaine industriel

9.2.1. Production d'antibiotique

Les actinobactéries tiennent une très grande importance dans le domaine de la biotechnologie des antibiotiques. En effet, 45% des antibiotiques connus, sont naturellement issus des actinobactéries et plus particulièrement du genre *Streptomyces* (Figure 5) (Sibanda, 2010). Parmi les antibiotiques qui ont des applications thérapeutiques, on peut citer: les aminoglycosides, les anthracyclines, les glycopeptides et les bêta-lactamines...etc.

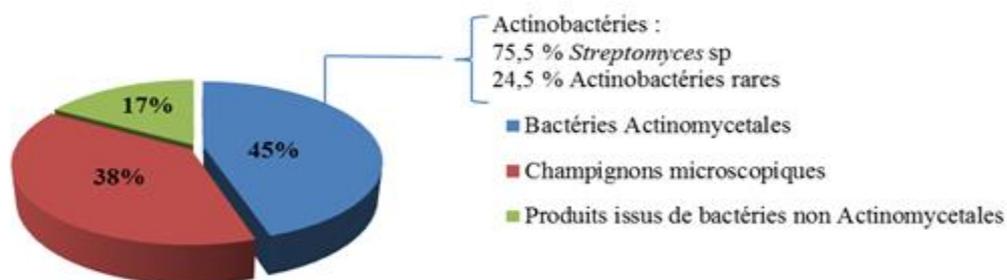


Figure 5. Origine des antibiotiques (Sibanda, 2010).

Les antibiotiques sont des molécules issues du métabolisme secondaire qui ont été particulièrement étudiées du fait de leur importance en thérapie humaine et vétérinaire. Les antibiotiques produits par les actinobactéries sont de différentes classes, y compris les aminosides, les anthracyclines, glycopeptides, β -lactamines, macrolides, nucléosides, peptides, polyènes, polyéthers, terpènes et tétracyclines, qui possèdent une large gamme des activités (Tableau 8) (Ravi Ranjan, 2015).

Tableau 8. Exemples d'antibiotiques produits par des actinobactéries (Boughachich, 2012).

Classes structurales principales d'antibiotiques	Exemples d'antibiotiques	Actinobactéries
Aminocyclitolis	Gentamicine	<i>Micromonospora purpurea</i>
	Paromomycine	<i>Streptomyces rimosus</i>
	Streptomycine	<i>Streptomyces griseus</i>
Ansamycines	Rifamycine	<i>Nocardia mediterranei</i>
Anthracyclines	Daunorubicine	<i>Streptomyces peucetius</i>
B-lactamines	Céphamycine	<i>Streptomyces clavuligerus</i>
	Thiénamycine	<i>Streptomyces cattleya</i>
Macrolides	Avermectine	<i>Streptomyces avremitili</i>
	Spiramycine	<i>Streptomyces ambofaciens</i>
	Tylosine	<i>Streptomyces fradiae</i>
Nucléosides	Polyoxine	<i>Streptomyces cacaoi</i>
Peptides	Nosiheptide	<i>Streptomyces actuosus</i>
	Pristinamycine	<i>Streptomyces pristinaespiralis</i>
	Thiostreptone	<i>Streptomyces azureus</i>
Polyènes	Amphotérine	<i>Streptomyces nodosus</i>
	Nystatine	<i>Streptomyces noursei</i>
Polyéthers	Lasalocide	<i>Streptomyces lasaliensis</i>
	Monosine	<i>Streptomyces cinnamonensis</i>
Tétracycline	Chlortétracycline	<i>Streptomyces aureofaciens</i>
	Oxytétracycline	<i>Streptomyces aureofaciens</i>

Outre les antibiotiques, les actinobactéries produisent d'autres molécules qui ont des applications biotechnologiques variées, telles que : anti-tumorales: actinomycine, adriamycine, rebeccamycine (Uyeda, 2004), anti-virale, anti-parasite; pesticides : antimycine A (Sanglier, 1993).

Comme elles sont utiles dans le traitement du cancer, la bioremédiation et la production des antibiotiques précieux dans le domaine médical tels que la novobiocine, l'amphotéricine, la vancomycine, la néomycine, gentamicine, chloramphénicol, la tétracycline, l'érythromycine, la nystatine...etc. (Mukesh, 2014), et plus de 60% des médicaments approuvés dérivent des composés naturels ont été extraits à partir d'actinobactéries (Demain, 2006 et Anibou, 2008).

Parmi les microorganismes producteurs de métabolites secondaires possédant une activité anti-cellulaire, 70% appartiennent au groupe des actinobactéries et parmi eux, on trouve 95% de *Streptomyces* et environ 21% de ces métabolites présentent une activité anti-fongique (Badji, 2006).

9.2.2. Production des enzymes

Après les antibiotiques, les enzymes sont les produits industriels les plus importants des actinobactéries (Theilleux, 1993). En effet, ce sont d'excellents producteurs d'enzymes à utilisation industrielle telle que des protéases, des chitinases (Tanaka, 1990 ; Vonothini, 2008), des amylases, des cellulases, des xylanases et des lipases (Park, 2002). Des espèces de *Streptomyces* produisent des amylases, des cellulases et des hémicellulases (Figure 6). D'autres sont capables de dégrader la lignine (Jariwala, 2013).

9.2.2.1. Protéases

La protéase est une enzyme importante sur le plan industriel en applications pharmaceutiques, cuir, blanchisserie, alimentaire et les industries de traitement des déchets, ces enzymes sont produites par *Thermoactinomyces* sp., *Nocardiopsis* sp., *Streptomyces pactum*, *Streptomyces thermoviolaceus* et *Streptomyces* sp. (Vonothini et al., 2008).

9.2.2.2. Chitinases

Les chitinases utilisées dans la protection contre les champignons phytopathogènes et dans le traitement des déchets des crustacés (Exemple le recyclage des carapaces de crustacés: la chitine, fermenter les déchets en vue de les utiliser à des fins énergétiques ...etc.). Elles sont généralement produites par *Streptomyces thermoviolaceus* et *Nocardiopsis prasina* (Tsujibo et al., 2003).

9.2.2.3. Amylases

Les amylases (produites par *Streptomyces erumpens* et *Thermobifida fusca*) sont utilisées dans l'industrie alimentaire comme conservateur, dans la production des gâteaux, les jus des fruits et les sirops à base d'amidon et dans la bioremédiation (Mobini-Dehkorde et Javan, 2012).

9.2.2.4. Lipases

Les lipases sont produites par certaines souches Actinomycetales, ces enzymes catalysent l'hydrolyse des triglycérides en diglycérides, en monoglycérides, en glycérol et en acides gras (Sommer, 1997). Elles ont un autre rôle important dans l'industrie alimentaire, la fermentation, l'industrie du textile et du papier (Mukesh, 2014).

9.2.2.5. Xylanases

Les xylanases sont utilisées dans la biotransformation des textiles et la fabrication des aliments pour animaux (comme *Streptomyces* sp. et *Actinomadura* sp.) (Mukhtar, 2017).

9.2.2.6. Cellulases

Les cellulases sont utilisées dans l'industrie du textile, l'industrie des pâtes et du papier et dans la production des vins. Elles sont synthétisées par *Streptomyces ruber* et *Thermobifida halotolerans* (El-Sersy, 2010 ; Mukhtar, 2017).

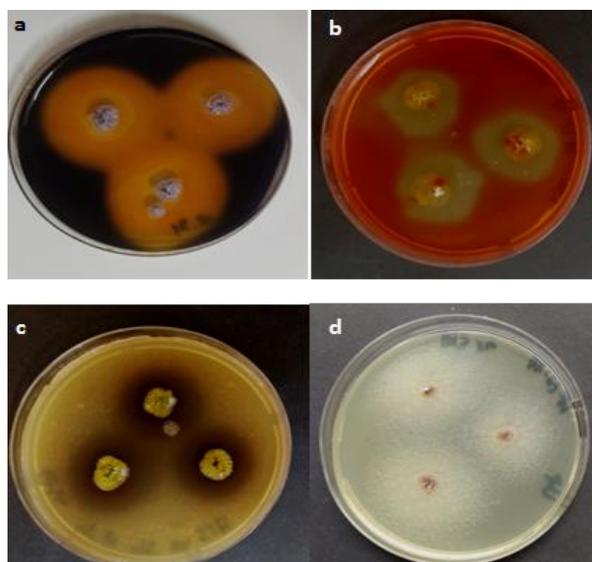


Figure 6. Différents types d'enzymes produites par les actinobactéries. a: amylase, b: cellulase, c: caséinase, d: lipase.

9.2.3. Production de bio-herbicides

Une autre application intéressante des actinobactéries est l'utilisation de leurs métabolites secondaires comme herbicides contre les mauvaises herbes *Streptomyces saganonensis* produit des herbicides (herbimycines). L'ansomycine produite par *Streptomyces* sp. est un type d'inhibiteur de croissance de mauvaises herbes annuelles telles que les gazons de crabe et les mauvaises herbes à feuilles larges (Pillmoor, 1998).

9.2.4. Production de vitamines

La vitamine B12 telle qu'elle existe dans la nature peut être produite par des bactéries ou des actinobactéries (Rickes et al., 1948 ;Litchman et al., 1949). Il a également été démontré que les actinobactéries produisant d'autres vitamines hydrosolubles, tels que la thiamine et le dérivé de l'acide pteroylglutamique qui favorise la croissance de certaines souches de *Leuconostoc citrovorum* et la coenzyme A (Anandan, 2016).

9.2.5. Production de pigments

Les actinobactéries sont caractérisées par la production de divers pigments sur des milieux naturels ou synthétiques, ces pigments sont considérés comme une des caractéristiques culturelles importantes dans la description des organismes. Tous les changements phénotypiques induits par des influences environnementales aideront les actinobactéries car, ils montrent des colonies morphologiquement distinctives et produisent une variété de pigments et de filaments appelés hyphes aériens (Goodfellow et al, 2012).

Ces pigments apparaissent habituellement dans différentes nuances de bleu, violet, rouge, rose, jaune, vert, brun et noir (Figure 7). Les pigments produits par *Streptomyces* peuvent être soit des endopigments (liés à certaines structures cellulaires), soit des exo-pigments (excrétés dans le milieu environnant). Etant donné, que la production du pigment est influencée par le pH du milieu, l'aération, la température de la croissance et les sources de carbone et d'azote, donc peu d'informations sont disponibles sur la nature chimique des pigments. La production des pigments est également liée aux mécanismes respiratoires, aux mécanismes de défense et à la protection aux rayons ultraviolette. Ces actinobactéries ont également la capacité à synthétiser et à excréter des pigments noirs, appelés la mélanine ou le mélanoïde, qui sont considérés comme un critère utile pour les études taxonomiques. D'ailleurs, l'industrie textile produit et utilise environ 1,3 million de tonnes de colorants, de pigments et de précurseurs de colorants.

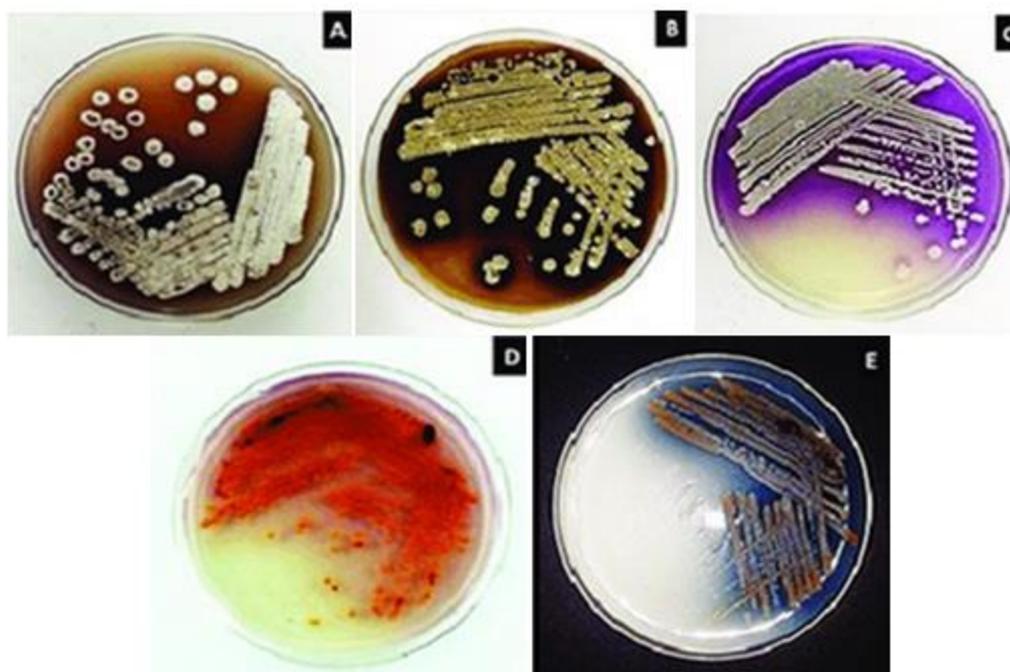


Figure 7. Pigments colorés diffusibles produits par diverses actinobactéries (Zainal Abidin, 2020). A : Pigment coloré diffusible marron, B : Pigment diffusible noir, C : Pigment violet, D : Pigment diffusible rouge et E : Pigment bleu.

En outre, plusieurs actinobactéries ont été trouvées pour produire des pigments diffusibles colorés (Figure 7). La production de pigment diffusible est généralement liée à la libération de mélanine dans le milieu et les pigments jouent un rôle important dans la survie et la croissance des actinobactéries (Parungao et al., 2007). Occasionnellement, d'autres couleurs de pigments ont également été signalées, comme le jaune, le vert et le bleu, et parfois ces pigments présentent des activités anti-microbiennes. Outre le brun et le noir, qui sont les pigments diffusibles les plus courants obtenus à partir d'actinobactéries, des pigments diffusibles de couleur bleue, orange, rose, violette et jaune. De plus, l'extrait d'acétate d'éthyle du pigment violet possède une forte activité inhibitrice contre *B. subtilis*, *S. aureus* et *S. marcescens* (Zainal Abidine et al., 2020).

9.3. Bioremédiation

Les actinobactéries possèdent plusieurs propriétés industrielles, ce sont de bons candidats pour une application dans la bioremédiation des sols contaminés par des polluants organiques. Dans certains sites contaminés, les actinobactéries représentent le groupe dominant parmi les agents dégradants (Johnsen et al., 2002). De nombreuses souches d'actinobactéries ont la capacité de solubiliser la lignine et de dégrader les composés liés à la lignine en produisant des enzymes dégradant la cellulose et l'hémicellulose (Adandan, 2016). Exemple:

Nocardioopsis sp. SD5 à dégrader les déchets de plumes en produisant de l'enzyme kératinase (Saha., 2013).

9.4. Utilisation des actinobactéries en lutte biologique

Dans le domaine de la pathologie végétale, la lutte biologique est la lutte menée contre les agents responsables des maladies des plantes aux moyens micro-organismes antagonistes. Les actinobactéries possèdent les principales propriétés de l'antagoniste idéal (Sabaou et al., 1990) défini par plusieurs auteurs. Ces critères laissent supposer que ce groupe de microorganismes peut jouer un rôle primordial dans le domaine de la protection des plantes contre leurs bio-agresseurs.

Dans le domaine de la pathologie végétale, la lutte biologique est la lutte menée contre les agents responsables des maladies des plantes au moyen de micro-organismes antagonistes. Les actinobactéries possèdent les principales propriétés de l'antagoniste idéal défini par plusieurs auteurs (Sabaou et al., 1990). Ces critères laissent supposer que ce groupe de micro-organismes peut jouer un rôle primordial dans le domaine de la protection des plantes contre leurs bio-agresseurs. D'une manière générale, ces micro-organismes se caractérisent par:

- Un taux de multiplication très élevé. La forte sporulation permet une importante dissémination.
- Un taux élevé de colonisation de la rhizosphère et leur maintien en conditions défavorables.
- Une adaptation à la vie aérienne et souterraine le met en contact direct avec de nombreux pathogènes.
- Les facultés antagonistes des actinobactéries s'expliquent de façons diverses (compétition spatiale et nutritionnelle, hyper-parasitisme et antibiose).
- La phytopathogénicité chez les actinobactéries est inconnue.
- Enfin, la grande variabilité des souches en ce qui concerne les propriétés physiologiques et antagonistes et leur expression peut rendre la sélection difficile (Omrane, 2014).

Chapitre 2. Recherches sur les Actinobactéries en Algérie

1. Introduction

Les actinobactéries représentent l'un des plus grands groupes taxonomiques du domaine des bactéries. Elles se trouvent dans un large éventail de niches écologiques constituant ainsi une partie importante de la microflore tellurique et aquatique (Bull et al., 2011).

Les métabolites secondaires sont synthétisés pour se défendre contre les micro-organismes antagonistes et qu'ils jouent également un rôle majeur dans le cycle de la matière organique dans l'écosystème du sol et des sédiments (Chater et al., 2016 ; Van der Heul et al., 2018).

Les actinobactéries filamenteuses appartenant à la famille des Actinobacteriaceae ont le potentiel de produire des métabolites chimiquement divers et pertinents, comptant des agents antibiotiques, anti-fongiques, anti-tumoraux et anti-inflammatoires connus, ainsi que des substances favorisant la croissance des plantes et des régulateurs. Ces substances trouvent différentes applications, notamment en médecine, en biotechnologie et en agriculture (Donadio et al., 2002), en plus des enzymes à usage industriel (par exemple, les cellulases, les chitinases et les xylanases) responsables de la production de biocarburants et de produits biochimiques (Vrancken et al., 2009 ; Zaho et al., 2016).

Un grand nombre de publications décrivent les utilisations potentielles des bactéries associées aux plantes, en particulier les actinobactéries, comme agents potentiels pour gérer la santé des plantes et/ou pour stimuler leur croissance (Winding et al., 2004 ; Compant et al., 2005 ; El-Tarabily et Sivasithamparam, 2006 ; Huang et al., 2011).

L'intérêt s'est porté sur la recherche de nouveaux agents antibactériens et antifongiques plus efficaces, particulièrement contre les moisissures opportunistes et les infections fongiques causées par *Aspergillus* et *Candida albicans*, ces derniers étant responsables des infections nosocomiales. Alors que la fréquence des infections fongiques augmente de façon alarmante, la thérapie anti-fongique actuelle ne dispose que d'un nombre limité de médicaments en raison de leurs effets secondaires et de leur toxicité.

En plus des antibiotiques et des antifongiques, les actinobactéries sont connues pour produire une large gamme de métabolites secondaires avec un large éventail de bioactivités, y compris anti-tumorales, antioxydants, herbicides et agents favorisant la croissance des plantes.

Bien que les actinobactéries soient connues pour leur métabolisme riche, il est devenu toujours plus difficile de trouver de nouvelles substances bioactives en raison de la

redécouverte fréquente de composés déjà connus. L'une des principales stratégies dans la recherche de nouvelles sources de composés bioactifs est l'isolement de actinobactéries rares (actinobactéries non-Streptomycètes) provenant d'habitats non explorés et peu communs (Adam et al., 2018).

Dans le cadre du thème de recherche sur les actinobactéries en tant que ressource de nouveaux agents thérapeutiques potentiels, plusieurs articles ont été publiés (Tableau 9). Ils couvrent différents aspects, y compris l'isolement et la diversité des bactéries ainsi que l'enquête sur les métabolites secondaires principalement anti-microbiens mais aussi en tant que agents cytotoxiques et promoteurs de la croissance des plantes et avec un regard sur les applications biotechnologiques potentielles (Harir et al., 2018).

Les produits chimiques sont couramment utilisés comme pesticides ou engrais pour améliorer la production agricole. L'utilisation intensive de composés chimiques a non seulement créé des problèmes de résistance aux fongicides et une contamination accrue du sol, mais peut également avoir une toxicité élevée et néfaste sur les communautés microbiennes indigènes et avoir un impact sur l'environnement (Gees et Coffe, 1989 ; De-Oliveira et al., 2010 ; Huang et al., 2011).

En raison de l'inquiétude croissante des consommateurs concernant les résidus de pesticides chimiques dans les aliments et la sécurité de l'environnement, il y a une demande croissante pour le développement de méthodes alternatives visant l'agriculture durable et la protection de l'environnement (Spadaro et al., 2004).

2. Actinobactéries isolées des écosystèmes algériens et leurs métabolites

Plusieurs travaux se sont focalisés sur la recherche des actinobactéries dans les écosystèmes algériens et la recherche de leurs activités biologiques. Le Tableau 9 illustre une sélection de travaux (80 articles) au cours de la période (1999-2021) (liste non exhaustive).

Tableau 9. Récapitulatif sur la recherche sur les actinobactéries en Algérie (travaux réalisés de 1999 à 2021).

Bio-activité	Souche productrice	Composant/Propriété	Lieu/source d'isolement	Référence
Bio-fertilisant	ActinobacteriaMS-1 MS-2 Ag-1 et MS-3	PGPR Co-inoculation <i>Sinorhizobium meliloti</i> – Actinobacteria– <i>Medicago sativa</i>	Sol de Sebkha Melghir	Saidi et al. (2021)
Bio-fertilisant	G10 <i>Streptomyces iakyrus</i> (MG597593) H14 <i>Nocardia psisaegyptica</i> (MG597543) (Meilleures souches)	PGPB Solubilisation du phosphate Acide indole-3-acétique Acide cyanhydrique ACC désaminase	Sol salin de Sebkha d'Ezzemoul et Sebkha de Djendli Nord-est de l'Algérie	Djebaili et al. (2020)
Phytofongique (contre <i>Paeomoniella chlamydo spora</i> et <i>Phaeoacremonium minimu</i>) GTDs	<i>Streptomyces</i> sp. Ms 18 <i>Streptomyces</i> sp. Sb 11	PGPR Composés antifongiques	Sol viticole Nord de l'Algérie Boumerdes, Médéa, Mostaganem, Mascara, Sidi bel Abbes et Tipaza	Laassami et al. (2020)
Isolement et classification	<i>Nocardiopsis</i>	Production de grand nombre de composés biologiquement actifs (fréquence du gène NRPS et PKS-II)	Sol du Sahara Béchar, Adrar, Ouargla, Djelfa, El Oued, Ghardaïa et Laghouat	Meklat et al. (2020)
Phyto-remédiation	<i>Streptomyces</i> sp. Hlh1	Dégradation des hydrocarbures aromatiques (PAHs) (C ₈ – C ₃₀) par <i>Zeamays-</i> <i>Streptomyces</i> Hlh1	Hassi Messoud et Ouargla	Baoune et al. (2019)
Anti-bactérienne	<i>Actinomadura</i> , <i>Nocardia</i> , <i>Nonomuraea</i> et <i>Micromonospora</i> E5N129a et E1N386	Enzymes hydrolytiques et composés antimicrobiens	Lac de Fertaza Nord-est, Algérie	Benhadj et al. (2019)
Anti-cancéreux	<i>Streptomyces</i> spp.	Rubromycine (Téломérase)	/	Boumhira et al. (2019)
Anti-microbien Anti-tumeur	<i>Streptomyces</i> sp. IA1. <i>Streptomyces</i> sp. GSBNT10	Actinomycin D	Sol du Sahara (Ain Amenas et Beni Abbes- Bechar)	Djinni et al. (2019)
Anti-fongique	C8, C31,C34 et C35	Activité de chitinase (Gène GH18)	Sol de région semi-aride Laghouat	Gasmi et al. (2019)
Anti-bactérien Anti-fongique	<i>Saccharothrix xinjiangensis</i> ABH26	Cyanogriside I ,Cyanogriside J Caerulomycine A ,	Sol du Sahara Adrar	Lahoum et al. (2019)

		Caerulomycine F , Caerulomycinonitrile		
Inhibiteur des cellules souches du glioblastome	<i>Streptomyces youssoufiensis</i> SF10	Nigericine, Epinigericine, Abierixine, Ester méthylique de la grisorixine	Dérivé du sol saharien	Leulmi et al. (2019)
Anti-bactérien Anti-fongique	<i>Saccharothrix algeriensis</i> NRRL B-24137	Benzoyl-pyrrothine dithiopyrrolone	Sol de palmeraie saharienne Sud algérien	Merrouche et al. (2019)
Isolement et étude taxonomique	40 souches d'Ezzemoul 22 souches de Djendli	Souches tolèrent 2, 5 et 10% de NaCl: <i>Nocardopsis</i> , <i>Streptomyces</i> et <i>Rhodococcus</i> <u>Le clonage moléculaire:</u> <i>Demequina</i> , <i>Plantactinospora</i> , <i>Friedmanniella</i> , <i>Mycobacterium</i> , <i>Marmoricola</i> , <i>Phytoactinopolyspora</i> , <i>Streptomyces</i> et des actinobactéries non classées	Sol de Sebkhia d'Ezzemoul et Sebkhia de Djendli Nord-est de l'Algérie	Smati et Kitouni (2019)
Anti-bactérien (Bactéries Gram ⁻)	<i>Streptomyces</i> sp. PAL 114	Mzabimycine A et B Antibiotique angulyclique	Région de Mzab, Beni isguen Ghardaïa	Tata et al. (2019)
Dégradation du pétrole	<i>Streptomyces</i> spp. Bmb4, H1h5, H1h1, H1h8, H1h9 et Zah8	PGP Production de biosurfactants Dégradation de n-alcanes de (C ₆ - C ₃₀)	Plante du sol contaminé de Sud Algérien	Baoune et al. (2018)
Anti-microbien	<i>Streptomyces</i> spp. <i>Penicillium</i> spp.	Substances antifongiques non polyéniques	Grotte de Chaabi Tagema Tlemcen	Belyagoubi et al. (2018)
Anti-microbien	<i>Streptomyces thermoviolaceus</i> SRC3	Streptazoline antibiotique adjuvant	Sédiments fluviaux d'eau douce Oued Ziama Mansourah	Djenniet al. (2018)
Anti-bactérien Anti-fongique	<i>Streptomyces</i> sp. HG29	Oligomycine A (NK1) Oligomycine E (NK2)	Sol saharien Hoggar, Tamanrasset	Khebizi et al. (2018)
Bio-remédiation	SRK12 et SRK17	Dégradation de TBM (Sulfonyl urée tribénuron méthyle)	Sol agricole Ain Karma Constantine Ain babouche Oum El Bouagui	Rachedi et al. (2018)
Bio-remédiation	<i>Streptomyces rimosus</i>	Biosorption des métaux lourds	/	Sahmoune M., et al. 2018

Isolement	<i>Streptomyces massili algeriensis</i>	/	Sol extrêmement salin du lac d'Ank el Djamel Oum El Bouaghi	Djaballah et al. (2017)
Anti-microbien contre <i>S.aureus</i> multi résistant	<i>Streptomyces</i> sp. AT37	AT37-1	Sol de Sahara Adrar	Driche et al. (2017)
Anti-bactériens Anti-fongique	<i>Nocardiopsis</i> sp. HR-4	(-)-7-Deoxy-8-O-methyltetrangomycin, (-)-8-Methyltetrangomycin	Sol de lac salé Sebkhia d'Ain Salah (Désert saharien)	Hadj Rabia Boukhalfa et al. (2017)
Isolement et caractérisation	<i>Streptomyces violaceoruber</i> B263 UFL, <i>Streptomyces albus</i> B262 UFL, <i>Streptomyces badius</i> B192 UFL	Production des composés antimicrobiens et anti tumeurs (Rubromycine)	Sol du Sahara	Harir et al. (2017a)
Isolement (Applications biotechnologiques)	<i>Streptomyces cyaneofuscatus</i> sp.	Production des enzymes tyrosinase (PM ~ 30 kD)	Sol du Sahara	Harir et al. (2017b)
Isolement Activité anti-fongique	<i>Streptomyces</i> sp. HG29	Composés antifongiques : Oligomycines A et E	Sol du Sahara Hoggar, Tamanrasset	Khebizi et al. (2017)
Isolement (Décontamination Alimentaire)	<i>Streptomyces</i> ACD6, ABH19 <i>Saccharothrix</i> ABH25	Dégradation d'Aflatoxine B1 (AFB1)	Sol du Sahara Adrar, Beni abbes et Tamanrasset	Lahoum et al. (2017)
Isolement (Application industrielle)	S1M3I et S1M3II	Production des enzymes Lignocellulolytique (Substrat: Grignon d'olive)	Sol du moulin à huile	Meddouni-Haroune et al. (2017)
Caractérisation (Application industrielle)	<i>Actinomadura viridilutea</i> DZ50	Production de kératinolytique protéase (KERDZ) PM 19536.10Da	Eaux usées (port de pêche algérien) Skikda, Jijel, Tlemcen, Oran et Mostaganem	Ben El Houli et al. (2016)
Antifongique (<i>Candida albicans</i> et autres champignons pathogènes)	<i>Streptomyces mutabilis</i> G61	2,4-Di-tert-butylphenol	Échantillon de sol Metlili, Ghardaïa	Belghit et al. (2016)
Isolement	<i>Actinophytocola algeriensis</i>	Nouvelle espèce	Sol de Sahara Ghardaïa	Bouznada et al. (2016)
Isolement	<i>Planomonospora algeriensis</i>	Nouvelle espèce	Sol de Sahara Béchar	Chaabane-Chaouch et al. (2016a)
Isolement	<i>Streptosporangium becharensis</i>	Nouvelle espèce	Sol de Sahara Béchar	Chaabane-Chaouch et al. (2016a)

Isolement Bio-contrôle	<i>Streptomyces asterosporus</i> SNL2	PGP	Plante native du Sahara (<i>Solanum nigrum</i>)	Goudjal et al. (2016b)
Antimicrobien (Champignon phytopatogène)	<i>Actinomadura</i> sp.ACD1	Antibiotique S9	Sol du Sahara Hoggar (Tamanrasset)	Lahoum et al. (2016a)
Isolement	<i>Actinimadura algeriansis</i>	Nouvelle espèce	Sol du Sahara Béchar	Lahoum et al. (2016)
Bio-contrôle Contre <i>Fusarium culmorum</i>	<i>Streptomyces mutabilis</i> IA1	IAA GA3	Sol du Saharan (sol des semis de blé) In Amenas	Toumatia et al. (2016)
Anti-bactérien et anti- fongique	<i>Streptomyces</i> sp. PAL114.	Vineomycine A1 Chaetoglobosine A	Sol du Sahara	Aouiche et al. (2015)
Anti-bactérien	<i>Streptomyces</i> sp. G60	Di-(2-ethylhexyl) phthalate	Sol du Sahara Ghardaïa	Driche et al. (2015)
Isolement	<i>Boungaea algeriensis</i> H8 ^T	Souche extrêmement halophile	Sol salin du Sahara El Goléa	Meklat et al. (2015)
Anti-microbien	<i>Spirillospora</i> sp. LAM143cG3	Composés antibiotiques non- polyéniques	Sol de Sebkh Kenadsa Béchar	Messaoudi et al. (2015)
Isolement et purification d'une souche (bioprocédé)	<i>Actinomadura keratinilytica</i> Cpt20	Pectate lyasethermo-alkaline Pel-20	Compost de volaille Annaba	Saoudi et al. (2015)
Caractérisation	<i>Streptomyces</i> sp. 20r	Production d'α- amylase	Eau de marais salé, Ain Mlila	Oussadi et Kitouni(2015)
Isolement	<i>Actinopolyspora biskrensis</i>	Nouvelle espèce	Sol saharien salin, Biskra	Saker et al. (2015)
Anti-fongique	<i>Streptomyces</i> sp. SY-BS5	Optimisation de la production antifongique	Sol de Boussaâda	Souagui et al. (2015)
Anti-microbien Anti-tumorale	<i>Streptomyces</i> sp. IA1. <i>Streptomyces</i> sp. GSBNT10	Actinomycin D	Sol du Sahara (Ain amenas, Beni Abbes-Bechar)	Toumatia et al. (2015)
Anti-bactérien	<i>Streptomyces</i> WAB9	Nouveau acide hydroxamique	Sol du Sahara Béchar	Yekkour et al. (2015)
Bio-contrôle (Contre <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>radicislycopersici</i>)	<i>Streptomyces</i> sp. ZL2	PGP : IAA Production du sidérophores Solubilisation du phosphore	Plantes indigènes du Sahara (<i>Aristida pungens</i> , <i>Cleome</i> <i>africana</i> , <i>Astragalus armatus</i> ,	Zamoum et al. (2015)

FORL		inorganique	<i>Peganum harmala, Hammadas coparia et Zizyphus lotus</i>)	
Isolement et etude Taxonomique	<i>Actinopolyspora algeriensis</i> H19 ^T <i>A. saharensis</i> H 32 ^T <i>A. righensis</i> H23 ^T <i>A. mzabensis</i> H55 ^T <i>A. biskrensis</i> H254 ^T <i>Saccharothrix algeriensis</i> SA233 ^T <i>S. saharensis</i> SA152 ^T <i>S. hoggarensis</i> SA181 ^T <i>S. tamanrassetensis</i> SA198 ^T <i>Nocardiopsis algeriensis</i> B32 ^T <i>Streptomonospora algeriensis</i> H27 ^T <i>Saccharopolyspora ghardaiensis</i> H53 ^T <i>Actinoalloteichus hoggarensis</i> AH97 ^T <i>Actinokineospora mzabensis</i> PAL84 ^T <i>Prauserellais guenensis</i> H225 ^T <i>Mzabimyces algeriensis</i> H195 ^T	/	Sol du Sahara Biskra, Adrad, Ouargla, Djelfa, El Oued, Ghardaia Tamanrasset	Bouras et al. (2014)
Biocontrôle(contre <i>Rhizoctonia solani</i>)	CA-2 <i>Streptomyces mutabilis</i> NBRC 12800 ^T AA-2 <i>Streptomyces cyaneofuscatus</i> JCM 4364 ^T	Production d'un composé anti-fongique	Plante indigène du Sahara Laghouat	Goudjal et al. (2014)
Isolement et Identification	<i>Streptomyces</i>	/	Eau et sédiments de lac El Kala Lac d'Oubeira El Mellah	Loucif et al. (2014)
Isolement et Identification	<i>Streptomonospora algeriensis</i> H 27 ^T Souche halophile	/	Sol du Djelfa Centre nord de l'Algérie	Meklat et al. (2014)
Bio-contrôle (contre les champignons phytopathogéniques)	<i>Cellulosimicrobium</i> sp. S16	PGP : IAA Production du sidérophores Solubilisation du phosphore inorganique Enzymes: protéase, chitinase, amylase et uréase	Sol rhizosphérique agricole. Béjaia	Nabti et al. (2014)
Anti-fongique Anti-bactérien	<i>Streptomyces</i> spp. PAL114	Saquayamycine A Saquayamycine C	Sol du Sahara Béni-issuen, Ghardaïa	Aouiche et al. (2013)
Anti-microbien (phytopathogènes et	<i>Saccharothrix</i> SA198	Composés antibiotiques A4 et A5	Sol saharien Tamenrasset	Boubetra et al. (2013)

champignons toxigènes)				
Caractérisation	<i>Saccharothrix</i> SA198	Productions des composés antibiotiques	Sol du Sahara Tamanrasset	Boubetra et al. (2013a)
Isolement	<i>Saccharothrix saharensis</i>	/	Sol du palmeraie D'Adrar	Boubetra et al. (2013b)
Anti-fongique et activité anti-bactérienne modérée (Gram+et Gram-)	<i>Saccharothrix</i> SA198	A5 (C ₂₉ H ₃₂ O ₈) et A4 (C ₂₉ H ₃₀ O ₈)	Sol du Sahara	Boubetra et al. (2013c)
Bio-contrôle	<i>Saccharothrix algeriensis</i> NRRLB-24137	PGPR Composés antifongiques	Sol du Sahara Adrar	Campant et al. (2013) Muzammil et al. (2013)
Anti-bactérien Anti-inflammatoire	<i>Streptomyces sundarbansensis</i> WR1L1S8	2-Hydroxy-5-(6-hydroxy-4-oxo-4H-pyran-2-yl)methyl)-2-propylchroman-4-one Phaeochromycines B C, E	Souche endophyte, Tissu interne d'algues marines <i>Fucus</i> sp.	Djinni et al.(2013)
PGP	<i>Streptomyces rochei</i> PT2	Production de phytohormones (IAA) et amélioration de la croissance des plants de tomates	Plantes herbacées spontanées du Sahara (<i>Cleome arabica</i> , <i>Solanum nigrum</i> , <i>Astragalus armatus</i> , <i>Aristida pungens</i> et <i>Panicum turgidum</i>) Hassi R'mel	Goudjal et al. (2013)
Purification (Bio-remédiation)	<i>Actinomadura keratinilytica</i> Cpt29	Production du kératinase (KERAK-29) stable aux détergents	Compost de volaille, Annaba	Habbeche et al. (2013)
Isolement	<i>Actinopolyspora saharensis</i>	Nouvelle espèce	Sol du Sahara, El-Oued	Meklat et al. (2013c)
Isolement et caractérisation taxonomique	<i>Actinopolyspora mzabensis</i>	Souche halophile	Sol du Sahara M'Zab Ghardaïa	Meklat et al. (2013a)
Isolement	<i>Actinopolyspora righensis</i> H23 ^T	Nouveau composé antibiotique angucycline	Sol moyennement salin Oued-Righ, El Oued	Meklat et al. (2013b)
Anti-microbien	<i>Streptomyces</i> sp. PAL 111	Antibiotiques hydrophiles	Sol du Sahara Ghardaïa	Aouiche A., et al. 2012a

Anti-bactérien	<i>Saccharothrix</i> sp. PAL54	D(-)-threo-chloramphenicol	Sol saharien du Ghardaïa	Aouiche A., et al. 2012b
Bio-contrôle (phytofongique)	Lac1, Lac3, Vic8, Pin10, Pru14 et Pru16	Composés d'antibiotiques	Sol rhizosphérique des arbres (<i>Prunus domestica</i> L., <i>Pinus halepensis</i> Mill) Batna, Tebessa et Khanchela. Nord-est, Algérie	Aouar et al. (2012)
Bio-dégradation	<i>Streptomyces</i> sp. AH4	Production de peroxydase d'acide humique HaP3 (PM 60215.18 Da)	Sol algérien	Fodil et al. (2012)
Bio-contrôle	<i>Streptomyces</i> spp. TW3, RI3, TW2	/	Sol saharien Ghardaïa, El Oued	Yekkour et al. (2012)
Bio-dégradation	<i>Streptomyces</i> sp. AM2	Production de peroxydase d'acide humique HaP1 et HaP2	Sol de plaine de Mitidja	Fodil et al. (2011)
Isolement et Taxonomie	Souches <i>Nocardiopsis</i> (halophile à fort potentiel)	Production de grand nombre de composés biologiquement actifs (Haute fréquence du gène NRPS)	Sol non-rhizosphérique du Sahara (Adrar, Béchar, Djelfa, El Goléa, El Oued, Ghardaïa, Laghouat, Ouargla et Tolgoua)	Meklat et al. (2011)
Bio-remédiation (Purification de l'eau)	<i>Streptomyces</i> sp. AB1 <i>Streptomyces</i> sp. AM2 <i>Streptomyces</i> sp. AH4	Dégradation d'acide humique du sol (NHAs)	Sol de plaine de Mitidja (Meftah, Boufarik, Hadjout)	Badiset al. (2009 et 2010)
Antimicrobien Inhibiteur d'enzyme	<i>Streptosporangium</i> sp. Sg3	Angucyclinone R2	Sol saharien, Région d'Adrar	Boudjella et al. (2006 et 2010)
Industriel et économique (Bioéthanol)	<i>Jonesia denitrificans</i> BN-13	Production de xylanase	Sol de Béjaïa	Boucherba et al. (2010)
Purification caractérisation (Application industrielle)	<i>Streptomyces</i> sp. AB1	Production de la sérine alcaline kératolytique protéase KERAB	Plaine de Mitidja Nord Algérie	Jaouadi et al. (2010)
Anti-bactérien, anti-fongique	<i>Saccharothrix algeriensis</i> NRRL B-24137, souche entièrement séquencée	Valerylpyrrothine Isovalerylpyrrothine Formylpyrrothine Aureothricine	Sol saharien	Merrouche et al. (2010)
Bioremédiation	<i>Streptomyces rimosus</i>	Biosorption de Al ³⁺	/	Tassist et al. (2010)

Anti-microbien Anti-cancéreux	<i>Saccharothrix algeriensis</i> NRRL B-24137	Dithiolyrrolone	Sol du Sahara	Bouras et al. (2006,2007 et 2008)
Anti-microbien	<i>Nonomuraea</i> sp. NM94	Production de composés antibactériens	Sol de Sahara Beni-Abbes	Badji et al. (2007)
Bio-remédiation (effluents industriels)	<i>Streptomyces rimosus</i>	Biosorption de Cu ²⁺ , Zn ²⁺ , Cr ⁶⁺	/	Chergui et al. (2006)
Anti-microbien	A4	Bréfeldine A: sous classe 4a	Eau de Sebkha Ain M'Lila, Algérie	Boughachiche et al.(2005)
Anti-bactérien	A9	Produits antibiotiques	Sud-est Biskra	Reghioua et al. (2006)
Bio-remédiation	<i>Streptomyces rimosus</i>	Bio-sorption de bleu de méthylène	/	Yeddou et al. (2006)
Anti-fongique	<i>Actinomadura</i> AC170	Composés antifongiques	Sol du palmeraie Adrar, Algérie	Badji et al.(2005)
Anti-microbien	<i>Streptosporangium</i> Sg10	Antibiotique classé B glycosylé aromatique	Beni Abbes, Béchar Sol du Sahara	Boudjella et al. (2005)
Anti-fongique	<i>Streptomyces</i> sp. 30 et C3	Composés antifongiques	Sol non rhizosphérique El-Oued	Boudemagh et al. (2005)
Isolement	93% <i>Streptomyces</i> 7% <i>Actinomadura</i>	Production de Composés bioactifs (antibactériens et antifongiques)	Eau,Sol et écorces d'arbres Sebkha d'Ain M'lila Nord-est Algérie	Kitouni et al. (2005)
Anti-microbien	<i>Nocardiopsis</i> SA 103	ZA01 ZA02	Sol non rhizosphérique Adrar, Benis Abbes, Hoggar, M'sila, GassiTouil, Tolgua, Tougourt	Zitouni et al. (2005)
Bio-remédiation	<i>Streptomyces rimosus</i>	Biosorption de Ni ²⁺	/	Selatnia et al. (2004a)
Bio-remédiation	<i>Streptomyces rimosus</i>	Biosorption de Pb ²⁺	/	Selatnia et al. (2004b)
Anti-microbien	<i>Saccharothrix</i> sp. SA 103	Mutactimycine PR, Mutactimycine	Sol saharien Tamanrasset	Zitouni et al. (2004)

Anti-bactérien, anti-fongique	<i>Saccharothrix</i> sp. SA 233	3-Methyl-2-butenoylpyrrothine Tigloylpyrrothine n-Butyropyrrothine iso-Butyropyrrothine Thiolutine	Sol de palmeraie saharienne Adrar	Zitouni et al. (2004) Lamari et al. (2002)
Bio-remédiation	<i>Streptomyces rimosus</i>	Biosorption de Fe ³⁺	/	Selatnia et al. (2003)
Bio-remédiation	<i>Streptomyces rimosus</i>	Biosorption de Zinc par lot	/	Mameri et al. (1999)

3. Sites d'échantillonnage algériens fournissant des actinobactéries cultivables

De la mer Méditerranée au désert saharien le plus chaud du monde. Cela affecte une grande biodiversité, riche et diversifiée en actinobactéries, à laquelle correspond une grande chimio-diversité de métabolites. Un certain nombre d'actinobactéries ont été isolées de différents écosystèmes, y compris des plantes sahariennes (Zamoum et al., 2015 ; Goudjal et al., 2013 ; Baoune et al., 2018), des grottes (Belyagoubi et al., 2018), des eaux usées (Silini et al., 2015 ;Souagui et al., 2019) , des sédiments de rivière (Djinni et al., 2018), des zones hypersalines (Meklat et al., 2012 ; Meklat et al., 2013), des sols du désert saharien (Sabaou et al., 1992, Sabaou et al., 1998) et des algues dérivées (Djinni et al., 2013). Les sites d'échantillonnage étudiés en Algérie pour l'isolement des actinobactéries sont les suivants :

Adrar, Tamanrasset, Béchar, El Oued, Touggourt, Ghardaïa, In Amenas, Biskra, Laghouat, Sahara , Oum el Bouagui, Boumerdes, Médéa, Mostaganem, Sidi Bel Abbes, Tipaza, Bouira, Tlemcen, Boussaâda, Batna , Tébessa, Khanchela, Ain M'Lila, Djelfa, M'sila, Jijel, Béjaïa, Ouargla, Annaba, Constantine et Mitidja. La figure suivante représente les différents sites d'échantillonnage avec le nombre d'isolats de chaque site selon les travaux cité dans ce chapitre.

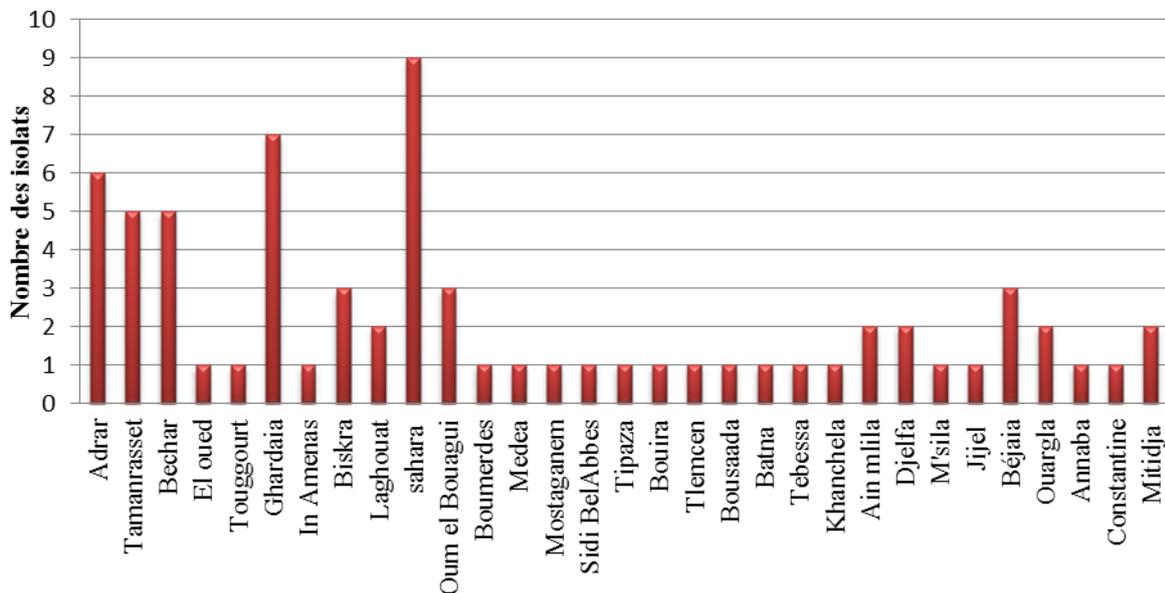


Figure 8. Différents sites d'échantillonnage avec le nombre des isolats de chaque site.

4. Différents genres des actinobactéries isolées en Algérie

La diversité des actinobactéries provenant des écosystèmes en Algérie est signalée dans plusieurs travaux ainsi que les structures chimiques des métabolites secondaires associés à leurs activités biologiques. De plus, l'attention est portée sur les nouvelles espèces et genres étudiés et sur les nouveaux composés bioactifs rapportés depuis 1999.

Ces microorganismes présentent une ressource de nouveaux agents thérapeutiques potentiels, les actinobactéries couvrent différents aspects, y compris l'isolement et la diversité des bactéries ainsi que l'étude de la production de métabolites secondaires ciblant un large spectre d'activités biologiques (principalement anti-microbiennes mais aussi cytotoxiques et autres) et avec un regard sur les applications biotechnologiques potentielles (Harir et al., 2018).

D'après le Tableau 9, qui résume les travaux faits en Algérie sur les actinobactéries ; la Figure 9, illustre la proportion de nouveaux genres d'actinobactéries décrits depuis 1999 dans différents écosystèmes algériens. Plus de 29 nouvelles espèces et le nouveau genre *Bounagaea* ont été découverts, ainsi que la nouvelle famille Mzabimycetacea proposée par Saker et al.(2014). Les mêmes auteurs ont publié *Mzabimyces algeriensis* comme une nouvelle souche isolée d'un échantillon de sol d'une palmeraie de la région du Mzab-Ghardaïa (sud de l'Algérie). Il faut préciser que cette souche a été récemment reclassée dans le genre *Halopolyspora* et identifiée comme *Halopolyspora algeriensis* comb sp. par comparaison des données phénotypiques, chimio taxonomiques et phylogénétiques et hybridation ADN-ADN (Lai et al., 2017).

Parmi les 29 nouvelles espèces et 16 genres appartenant à l'ordre des Actinomycetales, *Saccharothrix* est le genre le plus retrouvé et le plus abondant, représentant 20,68% du total des nouvelles espèces des actinobactéries des régions du sud de l'Algérie, suivi par l'*Actinopolyspora* avec une proportion de 17,24% (Figure 9).

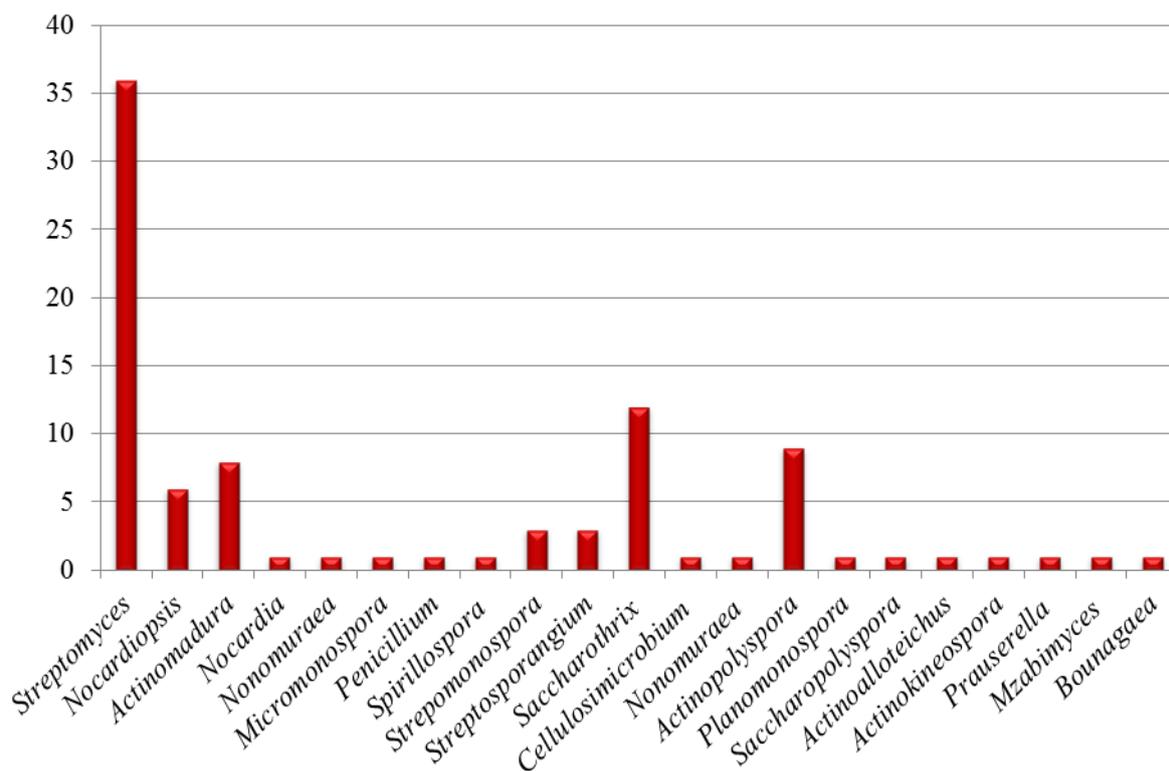


Figure 9. Genre des actinobactéries isolés à différents régions en Algérie.

Le nombre et la diversité des genres d'actinobactéries provenant du désert saharien témoignent de la richesse de cet écosystème particulier. Les sites d'échantillonnage considérés pour l'isolement et l'étude des actinobactéries ont été essentiellement concentrés sur le sol saharien et les palmeraies. Les régions d'Adrar, de Ghardaïa et de Tamanrasset sont associées à la découverte de 18 nouvelles espèces : *Saccharothrix algeriensis* sp. nov., *Saccharothrix saharensis* sp. nov., *Nocardiopsis algeriensis* sp. nov., *Actinomadura adrarensis* sp. nov., *Streptosporangium algeriense* sp. nov., *Saccharopolyspora ghardaiensis* sp. nov., *Actinopolyspora mzabensis* sp. nov., *Halopolyspora algeriensis* comb. nov., *Actinokineospora mzabensis* sp. nov., *Saccharothrix isguenensis* sp. nov., *Actinophytocola algeriensis* sp. nov., *Streptosporangium saharense* sp. nov., *Saccharothrix ghardaiensis* sp. nov., *Saccharothrix hoggarensis* sp. nov., *Saccharothrix tamanrassetensis* sp. nov., *Actinomadura algeriensis* sp. nov., et *Actinoalloteichus hoggarensis* sp. nov. appartenant à 11 genres différents. Le genre commun et unique obtenu dans chacune de ces trois régions étudiées (Adrar, Ghardaïa, et Tamanrasset) est le seul genre *Saccharothrix*, représente le genre le plus abondant retrouvé dans les régions arides.

5. Intérêt des travaux réalisés en Algérie sur les actinobactéries

Les produits naturels bioactifs sont classés en fonction de leurs activités biologiques, en se concentrant sur l'isolement et l'élucidation de leurs structures chimiques et sur leur production par des changements classiques des conditions de culture et de nouvelles approches statistiques, lorsqu'elles sont présentes dans les travaux originaux. Selon le Tableau 9 qui énumère les métabolites, en résumant les données sur les sources, les souches productrices et les activités biologiques, la Figure 10 donne une récapitulation sur l'intérêt des travaux réalisés en Algérie.

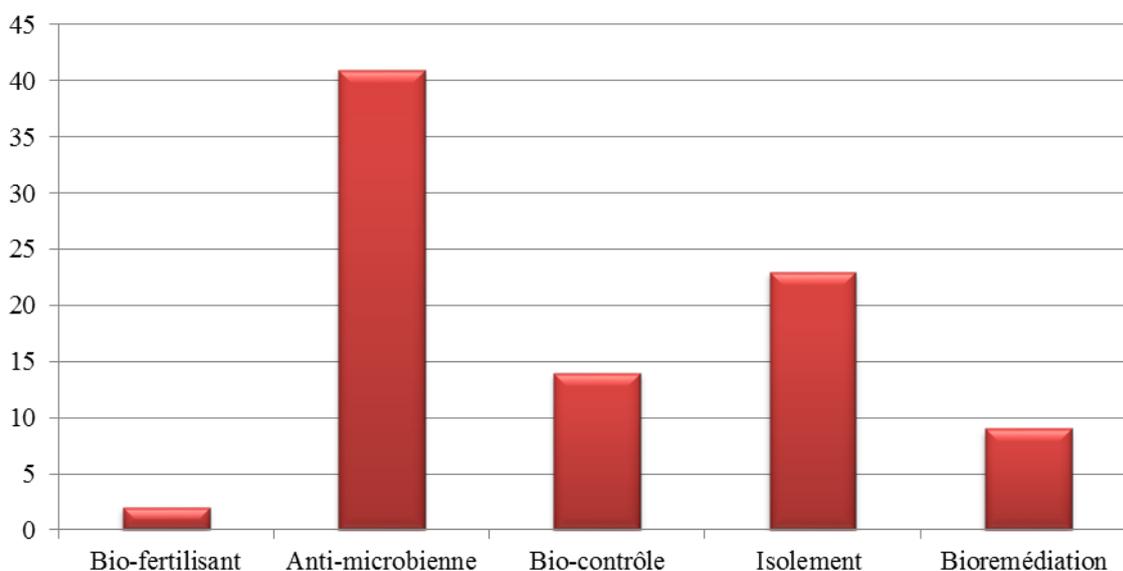


Figure 10. Intérêt des travaux réalisés sur les actinobactéries en Algérie.

5.1. Intérêt antimicrobien des métabolites secondaires dérivés d'actinobactéries de l'Algérie

Lamari et al. (2002) ont isolé les nouveaux métabolites de la dithiopyrrolone, la 3-méthyl-2-butenoylpyrrothine, la tigloylpyrrothine et la n-butyropyrrothine, ainsi que l'isobutyropyrrothine et la thiolutine connues, à partir d'une souche de sol de palmeraie saharienne *Saccharothrix* sp. SA233. Ces nouveaux métabolites ont montré des propriétés antibactériennes élevées.

Saccharothrix algeriensis NRRL B-24137 (souche entièrement séquencée) isolé d'un échantillon de sol saharien collecté en 1992 dans une palmeraie à Adrar par Merrouche et al. (2010, et 2011) qui ont isolé les nouveaux dérivés de la dithiopyrrolone, la valérylpyrrothine, l'isovalérylpyrrothine et la formylpyrrothine, ainsi que l'uréothricine, présentant une bio-activité modérée contre certains champignons filamenteux et levures. De

plus, Le composé sorbyl-pyrrothine a été le plus actif de la série contre les bactéries Gram-positives.

La nouvelle molécule de benzoyl-pyrrothine dithiopyrrolone est obtenue de *S. algeriensis* NRRL B-24137. Zitouni et al. (2004) ont purifié le nouvel antibiotique anthracycline mutactimycine PR et la mutactimycine C déjà signalée à partir de la souche *Saccharothrix* sp. SA 103 collectée de Tamanrasset.

Certains des mêmes auteurs ont également isolé 54 souches de *Nocardiopsis* et 32 souches de *Saccharothrix* du sol de Sahara algérienne, identifiées par des caractéristiques morphologiques et chimio-taxonomiques. Ces souches ont montré une activité antibactérienne contre *B. subtilis* et *M. lutesus* et antifongique contre *M. ramannianus* et *S. cerevisiae* ainsi que contre les champignons mycotoxinogènes *Fusarium graminearum*, *F. solani*, *F. culmorum*, *Aspergillus carbonarius*, *A. ochraceus* et *Penicillium citrinum*. L'analyse phylogénétique d'une souche collectée du sol saharien dans le sud-ouest de l'Algérie a identifié la souche *Streptosporangium* Sg10 comme une nouvelle espèce génomique potentielle (Boudjella et al., 2006).

Les mêmes auteurs ont également rapporté sur la souche *Streptosporangium* sp. Sg3 collectée d'Adrar, qui a produit trois pigments, appelés R1, R2, et R3, qui ne présentent aucune activité contre les champignons et les bactéries Gram-négatives, avec la plus forte inhibition contre les bactéries Gram-positives montrée par R2 (Boudjella et al., 2010).

L'isolat du sol désertique collecté à Beni-Abbes (sud-ouest de l'Algérie) *Nonomuraea* sp. NM94 produit cinq composés bioactifs ; l'extrait de chlorométhane de la souche a été révélé actif contre certaines bactéries Gram-positives, levures et champignons (Baji et al., 2007)

La souche PAL54A isolée d'un sol saharien à Ghardaïa a produit le chloramphénicol; il s'agit donc de la première production de cet antibiotique par une espèce de *Saccharothrix*.

Les actinobactéries d'origine marine et, en particulier, les actinobactéries endophytes marines sont également des sources prometteuses de nouvelles classes de composés anti-microbiens. L'un des exemples les plus représentatifs est la production du nouveau polykétide ainsi que des phéochromicines B, C et E. Les métabolites ont été isolés à partir d'une fermentation à l'état solide de *Streptomyces* sp. WR1L1S8 obtenue à partir d'une algue brune marine, *Fucus* sp.

Le composé 2-Hydroxy-5-((6-hydroxy-4-oxo-4H-pyran-2-yl) méthyl)-2-propylchroman-4-one a montré une activité bactériostatique sélective contre le staphylocoque doré résistant à la méthicilline (SARM) (Djinni et al., 2013).

La nouvelle souche *Saccharothrix* SA198 provenant d'un échantillon du sol saharien de Tamanrasset a fourni les nouveaux antibiotiques A4 et A5, ces métabolites purs ont présenté des activités modérées contre les bactéries Gram-positives et -négatives et des effets puissants contre les champignons phytopathogènes et toxinogènes (Boubetra et al., 2013).

Les anthracycline saquayamycine A et C connues pour leurs activités anti-bactériennes et anti-cancéreuses, ont été obtenues à partir d'une nouvelle souche de *Streptomyces* spp. PAL114 collectée à Ghardaïa (Aouiche et al., 2014). Un autre métabolite appartenant à la famille des anthracyclines, l'aquayamycine de type vineomycine A1 a été purifié à partir de la même souche de *Streptomyces* sp. PAL114. Cette souche a également produit dérivé de cytochalasine chaetoglobosine A, les deux métabolites ont montré des effets modérés contre *B. subtilis* et *Candida albicans* et sur les champignons filamenteux (Aouiche et al., 2015)

Le nouvel acide hydroxamique a été purifié à partir de *Streptomyces* WAB9, une souche isolée du sol saharien collecté dans la région de Béchar. Il a montré une activité anti-bactérienne envers une gamme de micro-organismes multi-résistants, en particulier *Pseudomonas aeruginosa* IPA1 et *E. coli* E52 (Yekkour et al., 2015).

Driche et al. (2015) ont rapporté l'isolement du phtalate de di-(2-éthylhexyle) à partir de la nouvelle souche *Streptomyces* sp. G60 obtenue à partir d'un échantillon de sol de Ghardaïa. Le composé Di-(2-éthylhexyl) phthalate a été testé pour son activité contre différentes souches de *Staphylococcus aureus* et de MRSA, obtenant des effets importants.

Belghit et al. (2016) ont isolé le 2,4-di-tert-butylphénol à partir d'une culture de la souche *Streptomyces mutabilis* provenant d'un sol saharien collecté à Metlili (région de Ghardaïa). Le composé connu était actif contre les champignons pathogènes.

A partir de la nouvelle souche *Streptomyces* sp. AT37 obtenue à partir du sol saharien d'Adrar (sud-ouest de l'Algérie), le dérivé furanone a été identifié comme l'antibiotique connu E-975. Le composé a montré une activité modérée contre les *S. aureus* multi résistants et a inhibé la formation de biofilms (Driche et al., 2017).

Les espèces de *Nocardiopsis* sont connues pour être présentes dans les sols sahariens, caractérisés par des propriétés salines et hyper-salines. La nouvelle souche halotolérante *Nocardiopsis* sp. HR-4, collectée dans le sol salin nommé Sebkhha de l'Ain, a fourni deux

polycétides aromatiques angucyclinones. En particulier, la stéréochimie de la (-)-7-désoxy-8-O-méthyltétrangomycine connue a été attribuée par comparaison avec la valeur polarimétrique obtenue pour la même molécule par synthèse totale stéréo sélective (Kesenheime et al., 2006).

Djinni et al. 2018 ont purifié la (+) - streptazoline produite par *Streptomyces thermoviolaceus* SRC3, une souche dérivée de sédiments d'eau douce (Rivière Oued Ziama, Béjaia et Jijel).

Les oligomycines A et E ont été produites comme principaux métabolites par la souche *Streptomyces* sp. HG29 isolée d'un sol saharien collecté dans le Hoggar (Khebizi et al., 2018). Les deux métabolites ont déjà été décrits comme ayant un large spectre de bioactivités, principalement anti-fongiques.

Une série d'antibiotiques polyéther comprenant lanigéricine, l'épinigéricine, l'abierixine, et le nouveau ester méthylique de la grisorixine ont été isolés à partir de la souche *Streptomyces youssoufiensis* SF10 collectée dans la montagne Chélia, à Khenchela. (Leulmi et al., 2019). La nigéricine, le membre principal de la série, est connue pour son fort antagonisme antibactérien tandis que les métabolites apparentés, la gisorixine et l'abierixine, présentent une faible activité contre les bactéries Gram-positives.

Très récemment, une nouvelle souche *Saccharothrix xinjiangensis* ABH26, isolée d'un échantillon de sol collecté dans la région d'Adrar a été étudiée par Lahoum et al., 2019 ; a donné des métabolites cyanogriside I et J .

Isolés toujours de la même souche algérienne, Lahoum et al. 2019 ont également rapporté l'identification des méthoxy-bipyridine scaerulomycine A, caerulomycine F et caerulomycine onitrile. Les cinq métabolites ont présenté une inhibition modérée sur les bactéries pathogènes Gram-positives et de faibles effets sur les champignons filamenteux et les levures pathogènes. Le composé caerulomycine F s'est révélé le plus actif de la série, principalement sur les champignons et les bactéries Gram-positives.

5.2. Intérêt des métabolites secondaires dérivés d'actinobactéries effet inhibiteur de croissance de cellules tumorales

Les actinobactéries sont responsables de plus de la moitié des composés cytotoxiques d'origine microbienne approuvés dans le traitement du cancer (Busi et al., 2018 ; Ravikumar et al., 2012).

La lactone polypeptidique actinomycine D, également connue sous le nom de dactinomycine, a été le premier antibiotique présentant une activité anticancéreuse et il est maintenant couramment utilisé comme médicament en monothérapie et en thérapie combinée dans le traitement d'une variété de tumeurs malignes très agressives, y compris la tumeur de Wilm et le sarcome d'Ewing (Schmidt et al., 2017).

Il a été identifié pour la première fois à partir d'*Actinomyces* puis produit par diverses espèces de *Streptomyces* et de *Micromono sporas* dans le monde. En Algérie, Toumatia et al.(2015) et Djinni et al. (2019) ont isolé de nouvelles souches produisant de l'actinomycine D et ils ont montré que le genre *Streptomyces* isolé du sol saharien de Ain amenas *Streptomyces* sp. IA1 et Beni Abbes-Béchar *Streptomyces* sp. GSBNT10 avait une puissante activité antibactérienne et anti-fongique contre une large gamme de champignons phytopathogènes.

De même, la souche *Streptomyces albidoflavus* S19, dérivée d'eaux usées collectées dans la région de Bejaia, a été étudiée comme productrice d'anti-fongiques. Les antibiotiques polyéthers nigéricine et le nouveau ester méthylique de grisorixine isolés de *Streptomyces youssoufiensis* SF10 ont fourni des activités cytotoxiques significatives contre les cellules de glioblastome, avec une activité plus élevée pour l'ester méthylique de grisorixine, correspondant à une prolifération cellulaire inhibant la croissance plus élevée que le médicament temozolomide (Leulmi et al., 2019).

La nigéricine a également montré une activité dans la suppression des métastases du cancer colorectal (Zhou et al., 2012)

5.3. Intérêt des métabolites secondaires dérivés d'actinobactéries : effet des agents d'amélioration de la croissance des plantes

Parmi les métabolites dérivés des actinobactéries, les agents stimulant la croissance des plantes jouent un rôle important en agriculture, à la fois pour améliorer la croissance des plantes et pour contrôler ou inhiber les phytopathogènes qui infectent les plantes hôtes. Un certain nombre de rapports sur l'isolement d'actinobactéries endophytes associées aux plantes, principalement du genre *Streptomyces* (Goudjal et al., 2012) de diverses familles de plantes et même du sol (Ameur et al., 2012) ont été rapportés. Leur potentiel métabolique en tant qu'agents de contrôle biologique et promoteurs de croissance des plantes a été décrit (Merrouche et al., 2017).

Ce qui peut remplacer les produits chimiques et les pesticides. En détail, selon Rugthaworn et al.(2007) l'effet biocontrôle des actinobactéries peut être soit par la lyse des parois cellulaires

fongiques, soit par l'antibiose grâce à leur capacité d'inhibition de la croissance, de compétition ou d'hyper-parasitisme sur plusieurs champignons phytopathogènes.

Un effet d'amélioration de la croissance des plantes sur la germination des graines et l'élongation des racines a été observé par (Goudjal et al., 2013) par la production d'acide indole-3-acétique, une phytohormone très répandue chez les bactéries. Ce métabolite agit comme une auxine naturelle commune produite par la voie métabolique du L-tryptophane pour dix-huit souches de *Streptomyces* isolées à partir de cinq plantes désertiques spontanées bien adaptées aux conditions climatiques arides du Sahara algérien.

De plus, Goudjal et al. (2014) ont isolé deux souches CA-2 et AA-2 liées à *Streptomyces mutabilis* NBRC 12800T et *S. cyaneofuscatus* CM 4364^T, respectivement à partir de racines de plantes indigènes du Sahara algérien, qui ont montré à la fois un potentiel de contrôle *in vivo* biocontrôle de *Rhizoctonia solani* damping-off.

De même, Zamoum et al. (2015) ont rapporté la production d'acide indole-3-acétique et de sidérophores par la souche endophyte *Streptomyces caeruleatus* ZL2. Ils ont observé l'amélioration de la résistance des plants de tomates à la pourriture des racines du *Fusarium oxysporum* sp. *radicislycopersici*, ainsi que la capacité d'améliorer la croissance des plantules, proposant ainsi l'application possible de l'isolat ZL2 dans la protection des cultures.

En outre, l'étude menée par Toumatia et al. (2016) sur les propriétés de stimulation de la croissance des plantes de la souche *Streptomyces mutabilis* IA1 dérivée du sol saharien, a démontré un effet protecteur puissant et prometteur sur les semis de blé contre *F. culmorum*, qui est l'agent causal de la brûlure des semis, montrant sa capacité à promouvoir la croissance par la production d'acide indole-3-acétique et d'acide gibbérellique (GA3).

L'étude de Merrouche et al. (2017) a permis de mettre en évidence le puissant effet antifongique de *Saccharothrix algeriensis* NRRL B-24137 dû à la production de composés dithiopyrrolones agissant contre le *Fusarium oxysporum*, affectant le lin, la lentille, le pois chiche et la tomate.

Une étude aussi de Goudjal et al. (2014) sur des actinobactéries endophytes appartenant au genre *Streptomyces*, collectées à partir de plantes sahariennes spontanées, a permis d'isoler l'acide indole-3-acétique et a montré une activité favorisant la croissance des plants de tomates.

5.4. Actinobactéries endophytes pour des applications de biocontrôle et de stimulation de la croissance des plantes et comme agents biopesticides

Certaines souches d'actinobactéries ont été signalées comme des agents de biocontrôle efficaces contre les microorganismes phytopathogènes causant des maladies des racines, et des feuilles (El-Tarabily et al., 2009).

Plusieurs espèces de *Streptomyces*, telles que *S. tox-ytricini*, *S. aurantiogriseus*, et *S. vinaceusdrappus*, ont montré des résultats intéressants dans le biocontrôle de *R. solani* damping-off des plants de tomates et de riz (Cao, 2004 ; Patil, 2011 ; Harikrishnan, 2014 ; Yandigeri, 2015).

Les espèces de *Streptomyces* ont également été signalées comme étant efficaces dans la lutte contre les phytopathogènes appartenant aux genres *Sclerotinia* (El-Tarabily, 2000), *Pythium* (WooetKamei, 2003 ; Joo, 2005 ; Ling, 2010), et *Alternaria* (Al-Askar, 2011 ; Srividya, 2012).

Il a également été démontré que les actinobactéries favorisent la croissance des plantes hôtes (Sadeghi, 2012). Elles colonisent la rhizosphère de nombreuses espèces végétales et jouent divers rôles bénéfiques, tels que l'augmentation de la disponibilité des nutriments pour les plantes (Hamdali et al., 2008), la protection des jeunes plants contre les pathogènes du sol (Cao et al., 2005), l'augmentation du taux de germination des graines (Glick et al., 1997 ; El-Tarabily, 2008), la croissance des plantes (De-Oliveira et al., 2010 ; Nimnoi et al., 2010) et la tolérance au stress abiotique (Yang et al., 2009). En outre, diverses actinobactéries ont été signalées comme développant une association symbiotique avec la plante hôte et produisant des composés actifs, tels que des régulateurs de croissance végétale et l'ACC-désaminase (El-Tarabily et al., 2009 ; Glick, 2014).

De plus, elles ont été capables de coloniser les racines des plants de tomate avec succès (El-Tarabily et al., 2009). Diverses espèces de *Streptomyces* endophytes, telles que *S. rimosus*, *S. viridis* et *S. olivaceoviridish* ont été signalées pour améliorer la croissance des plantes hôtes en augmentant la germination des graines, l'élongation des racines et le poids sec des racines (El-Tarabily et al., 2009 ; Khamna et al., 2010), dans ce contexte, le tableau 9 expose les connaissances actuelles sur les actinobactéries très prometteuses isolées de diverses niches écologiques en Algérie et dans le Sahara algérien et leurs applications dans le bio-contrôle des champignons phytopathogènes et l'amélioration de la croissance des plantes cultivées.

Goudjal et al., 2016 ont étudié la souche endophyte SNL2 de *S. asterosporus*, isolée des racines d'une plante indigène *Solanum nigrum* du Sahara algérien, pour le bio-contrôle de la pourriture des racines du *F. oxysporum* sp. *radicis lycopersici* ou FORL et pour l'amélioration de la croissance des plants de tomates cultivés dans un sol sableux saharien. Cependant, la bactérisation des semences de tomates avec les spores SNL2 a montré un fort potentiel de bio-contrôle de la maladie de la pourriture des racines et a amélioré la croissance des tomates de manière significative. Parmi les souches d'actinobactéries isolées des niches écologiques sahariennes en Algérie, Zamoum et al. (2017) ont formulé trois souches de *Streptomyces* spp. endophytes sous forme de poudre mouillable et de granulés. Les produits formulés ont été stockés pendant une année à une température ambiante, puis étudiés pour le bio-contrôle de *R. solani* damping-off de plantules de tomates cultivées dans des conditions de serre standard. Les formulations de poudre mouillable à base des trois actinobactéries ont réduit le taux de la maladie de manière significative.

Cependant, la formulation de poudre mouillable à base de spores de la souche CA2 de *S. mutabilis* a atteint le plus haut potentiel de bio-contrôle contre ce pathogène. Des études complémentaires sont conseillées pour optimiser le processus de formulation, les conditions de stockage et le mode d'application, afin d'améliorer la viabilité des spores et l'efficacité des bio-fongicides formulés.

5.5. Intérêt des actinobactéries effet de biosorption

La biosorption est considérée comme un procédé alternatif pour l'élimination des polluants métalliques. Elle est simple, efficace et économique. De nombreuses industries telles que les tanneries, les revêtements, les industries automobiles, aéronautiques et sidérurgiques génèrent de grandes quantités d'eaux usées contenant diverses concentrations de Cu^{+2} , Zn^{+2} et Cr^{+2} . Ces concentrations sont généralement trop faibles pour être traitées par la méthode standard.

Les principales techniques couramment utilisées pour la récupération des ions métalliques dans les effluents industriels sont la précipitation, la coagulation et l'absorption, l'échange d'ions, le traitement par membrane et l'extraction par solvant. Ces techniques souffrent de divers inconvénients (Volesky, 2001).

L'utilisation de matériaux d'origine biologique peu coûteux et de déchets comme adsorbants des ions métalliques dissous s'est avérée apportée des solutions économiques à ce problème mondial.

Parmi les travaux réalisés en Algérie sur la biosorption, les études réalisées proposent un nouveau biosorbant pour le traitement des eaux chargées en métaux lourds et en d'autres polluants: *Streptomyces rimosus*, bactérie mycélienne, Gram+, appartenant aux actinobactéries. Dans toute les études, la biomasse de *Streptomyces rimosus* est obtenue à partir d'une usine de production d'antibiotiques (oxytétracycline) à Médéa (Algérie) était capable d'accumuler les ions métalliques d'une solution aqueuse diluée (Selatnia et al., 2004). Ce biosorbant a prouvé son efficacité pour le traitement des eaux chargées en métaux lourds tels que le zinc par lot (Mameri et al., 1999), le cuivre, le zinc et le chrome (Chergui et al., 2007) le plomb (Selatnia et al., 2004a) le cadmium (Selatnia et al., 2004b) le nickel (Selatnia et al., 2004c) et le fer (Selatnia et al., 2004d) , le bleu de méthylène (Yeddou et al., 2006).

6. Conclusion

Un intérêt croissant sur l'exploration d'environnements moins étudiés tels que les écosystèmes marins, forestiers, sebkha et arides et des associations symbiotiques a été observé en Algérie pour l'isolement de nouvelles espèces d'actinobactéries et des métabolites bioactifs isolés.

Ce chapitre a présenté un aperçu sur la diversité complète des phyla d'actinobactéries rapportés des écosystèmes algériens durant plus de 20 ans. Comparé à toutes les niches géographiques qui ont fourni 29 nouvelles espèces, il est évident qu'une forte abondance de nouvelles espèces d'actinobactéries est associée au sol saharien algérien, donnant 27 nouvelles espèces appartenant à 15 genres. Une cinquantaine de métabolites secondaires ont été isolés et identifiés, dont 17 nouvelles structures moléculaires, puis évalués pour leurs activités biologiques, principalement anti-bactériennes et anti-fongiques, mais aussi cytotoxiques et favorisant la croissance des plantes.

Les points suivants sont proposés et soulignés pour les futures recherches dans ce domaine :

1. Étude de la diversité des actinobactéries dans les écosystèmes algériens et l'exploration de niches écologiques peu étudiées telluriques et marines ainsi que le renforcement des recherches dans le désert algérien ;
2. Développement de techniques de culture plus adaptées pour l'isolement de nouvelles et rares espèces d'actinobactéries dans ces niches ;
3. Des études métaboliques et génomiques approfondies des nouvelles espèces isolées.

Matériel et méthodes

Le présent travail a été réalisé au niveau du laboratoire de Biomasse de l'Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables (URAER), Ghardaïa.

1. Matériel

1.1. Matériel biologique

Le matériel biologique de cette étude qui comporte 22 isolats d'actinobactéries ont été fourni par l'enseignante Djemouai N. de la collection du Laboratoire de Biologie des Systèmes Microbiens (LBSM) de l'Ecole Normale Supérieur (ENS) de Kouba, Alger.

1.2. Conservation des isolats obtenus

Les isolats purs sont ensemencés sur le milieu International *Streptomyces* Project (ISP2) coulé en pente dans des tubes à vis. Ces derniers sont incubés pendant une à trois semaines puis conservés à 4°C.

2. Méthodes

2.1. Caractérisation morphologique des souches

2.1.1. Etude macro-morphologique

L'aspect phénotypique des colonies et les caractères cultureux sont déterminés sur les milieux ISP2 et ISP4 (Annexe 1). Les inoculums sont ensemencés par la méthode de stries en zigzag croisées sur les milieux cités précédemment par une anse stérile et les boîtes de Pétri ont été ensuite incubées à 28 ± 2 °C. Après 15 à 21 jours d'incubation, les caractères suivants sont notés : la couleur, taille, élévation, transparence, surface, la production de pigment diffusible. Les différentes couleurs sont déterminées à l'aide de la charte de couleurs « Color Name Chart Illustrated with Centroid Color: ISCC-NBS » (Shirling et Gottlieb, 1966).

2.1.2. Etude micro-morphologique

L'étude micro-morphologique est essentielle pour la reconnaissance des genres. Les isolats poussant sur les milieux ISP2 et ISP4 (Annexe1) sont observés directement sur les boîtes de Pétri au microscope optique (Zeiss) en utilisant les grossissements x 10 et x 40. Nous avons noté la sporulation du mycélium aérien, la fragmentation ou non du mycélium du substrat, etc... (Shirling et Gottlieb, 1966).

2.2. Etude de l'effet PGPB des isolats d'actinobactéries

2.2.1. Solubilisation du phosphore

Ce test permet d'évaluer la capacité de nos isolats à solubiliser les phosphates sur milieu de Pikovskaya (PVK) (Annexe1). Ce milieu contient du $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ comme seule source de phosphate (Pikovskaya, 1948). Les isolats sont déposés sous forme de spots sur le milieu PVK solide. Après incubation à $28 \pm ^\circ\text{C}$ pendant 10 à 15 jours, la solubilisation est détectée par la formation d'un halo tout autour des colonies (Banerjee et al., 2010).

2.2.2. Solubilisation du potassium

L'activité de solubilisation du potassium (K) a été vérifiée par la culture de nos isolats sur le milieu gélosé d'Alexandrov (ALK) (Annexe 1) ou la source de K inorganique est le mica. La solubilisation est détectée par la formation d'un halo tout autour des colonies après incubation pendant 10 jours à 30°C (Sugumaran et Janartham, 2007).

2.2.3. Production des sidérophores sur milieu CAS solide

La détection de la synthèse des sidérophores a été réalisée dans le milieu Chrome Azurol Sulfate (CAS) proposé par Schwyn et Neilands (1987) (Annexe 1). La méthode est basée sur la compétition pour le fer entre un complexe ferrique de CAS et un sidérophore produit par le microorganisme. Une spot de chaque bactérie a été posée sur le milieu de gélose CAS (Louden et al., 2011) puis a été incubée à 30°C pendant 48 à 72 h (Novinscak et al., 2018).

Une réaction positive est indiquée par un changement de couleur du réactif CAS du bleu à l'orange lorsque le sidérophore bactérien se lie au fer présent dans le milieu (Schwyn et Neilands, 1987).

2.2.4. Activité de l'ACC désaminase

L'activité de la désaminase de l'ACC a été vérifiée en plaçant chaque bactérie sur du milieu minimal de sels de Dworkin et Foster (DF) (Annexe 1) (Dworkin et Foster, 1958) complété par de l'ACC, comme décrit par Wang et al. (2000). Chaque isolat a également été cultivé sur du milieu DF additionné de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ en tant que témoin positif (Novinscak et al., 2018).

2.3.5. Production d'ammonium

La production de l'ammonium (NH_3) est testée sur l'eau peptonée selon la méthode de Capuccino et Sherman (1992). Elle consiste à inoculé 100 μl de la culture bactérienne dans les tubes contenant 10 ml d'eau peptonée, puis incubé à 30°C pendant 48 h à 72 heures.

L'addition de 0.5 ml du réactif de Nessler (Annexe 2) donne une couleur jaune à marron qui indique la production de NH₃ (Bakker et al., 1987).

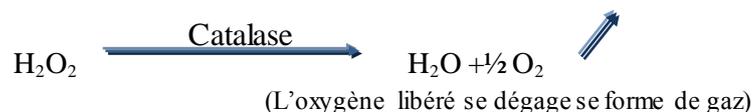
2.3.6. Production d'HCN

La capacité de nos souches à produire l'HCN est effectuée selon la méthode de Lorck (1948), sur le milieu ISP2 additionné de glycine (4,4g/l) (Annexe 1). Les isolats sont ensemencés par stries sur la gélose en boîtes de Pétri. Un disque de papier Whatman N1 de 9 cm de diamètre imprégné d'une solution de picrate de sodium (5% d'acide picrique et de 2% de carbonate de sodium anhydre) est déposé au fond du couvercle de la boîte. Celle-ci est scellée avec du papier parafilm et incubée à 30°C pendant 96 h. Le résultat positif se traduit par le virage du papier Whatman du jaune vers une couleur orange à marron indiquant la production de HCN volatile.

2.4. Mise en évidence des activités enzymatiques

2.4.1. Recherche de la catalase

Cette enzyme permet la dégradation du H₂O₂ qui résulte de l'oxydation par l'oxygène.



La méthode de recherche de la catalase consiste à étaler une colonie sur une lame en verre propre sur laquelle on ajoute une goutte de H₂O₂ à 10 volumes. La présence de l'enzyme se manifeste par un dégagement de bulles de gaz abondant sous forme de mousse : le test de catalase est positif, s'il n'y a pas de bulles : le test catalase est négatif (Zinedine, 2004 ; Delarras, 2007).

2.4.2. Recherche de caséinase

Pour détecter l'activité protéolytique, des milieux de culture solide gélosés contenant des sources de protéines comme 5% du lait écrémé (Annexe 1), ou ISP9 avec 20% de lait écrémé (Habbeche et al., 2013 ; Viswanathan et al., 2015).

L'ensemencement de la souche à tester s'est fait par spot et l'incubation a été effectuée à 28 ± 2 °C pendant 7-10 jours, l'apparition d'une auréole claire autour des colonies indique la dégradation de la caséine (Raval et al., 2012 ; Royet al., 2014).

2.4.3. Recherche de lipase

La méthode de Sierra (1957), avec quelques des modifications est utilisée pour détecter l'activité lipolytique. L'étude de l'hydrolyse de Tween 80 est démontrée en ajoutant des

Tweens hydrosolubles à un milieu nutritif de Sierra (Annexe1), ou remplacé Tween 80 par Tween 20. Ce test a été réalisé en prenant 1% Tween 20 avec le milieu ISP2. L'ensemencement est fait en spots et les boîtes de Pétri sont incubées à 28 °C pendant 7 jours (Kishore, 2011 ; Jeffri et Halizah, 2014).

2.4.4. Dégradation de la cellulose

Pour révéler l'activité cellulolique, un repiquage des souches est effectué sur milieu gélose nutritive additionné au Carboxy Méthyl Cellulose (CMC) (Annexe 1). Les boîtes sont ensemencées par des spots, puis incubées pendant 7-10 jours à 28 ± 2 °C (Carrim et al., 2006). Après l'incubation, une solution de rouge Congo (1%) (Annexe 2) est ajoutée à la surface des colonies pendant 30 minutes, puis la surface est inondée avec 1M de NaCl pendant 15 mn pour la décoloration. L'apparition d'un halo clair autour des colonies traduit la présence d'une cellulase extracellulaire.

2.4.5. Production d'amylase

Ce test se réalise sur le milieu gélose nutritive additionné d'une concentration d'amidon de 1 à 2 % d'amidon (Delarras, 2014). L'ensemencement s'est fait par spot de la souche à tester, et incubé à 28 ± 2 °C pendant 7 jours (Khwaja et al., 2011 ; dos Santos et al., 2012). Après incubation, l'hydrolyse de l'amidon est mise en évidence par l'inondation des boîtes avec une solution de lugol à 0,1% (Annexe 2).

L'absence de la coloration autour des colonies, indique que l'amidon a été hydrolysé. Les zones contenant de l'amidon se colorent en brun soit par la solution d'iode pendant 1min jusqu'à ce que tout le milieu devient coloré en bleu. La formation d'une zone jaune claire autour des colonies en milieu bleu a indiqué l'hydrolyse de l'amidon et confirmé la production d' α -amylase (Tatsinkou et al., 2005 ; Boudemagh, 2007; Haritha et al., 2010).

2.4.6. Détermination de l'activité pectinase

L'activité pectinase a été recherchée sur milieu TSA additionné de 0.5 % de pectine. Les boîtes ensemencées sont incubées à 28 ± 2 °C pendant 7-10 jours. Les colonies produisant de la pectinase ont montré des zones claires contre une couleur opaque du milieu non hydrolysé (Das et al., 2012 ; Saoudi et al., 2015).

2.4.7. Synthèse de gélatinase

Ce test est réalisé sur le milieu nutritif gélosé contenant 1% de gélatine (Annexe 1) selon la méthode de Williams et Cross (1971). Le milieu est coulé dans des boîtes de Pétri puis

ensemencé par touche de la souche et incubé à 30°C. Une solution de chlorure de mercure (Annexe 2) permet de mettre en évidence la dégradation de la gélatine, qui se traduit par la présence d'une auréole claire autour des colonies (Whaley et al., 1982).

2.4.8. Production de la tyrosinase

Ce test est réalisé sur la gélose à la tyrosine (Annexe 1). Le milieu est coulé dans des boîtes de Pétri puis ensemencé par des spots de la souche à tester et incubé à 30 °C.

L'examen s'est fait après deux jours et s'est poursuivie jusqu'aux 21 jours d'incubation. La dégradation de la tyrosine se manifeste par une auréole décolorée autour des colonies qui peut se transformer graduellement en noire (Raval et al., 2012; Roy et al., 2014).

2.4.9. Production de la chitinase

La capacité de nos isolats à décomposer la chitine colloïdale a été testée sur milieu gélosé à la chitine (Annexe 1), dont la composition par litre est: 4 g de chitine colloïdale, 1.1 g Na₂HPO₄, 0.2 g MgSO₄·7H₂O, 0.7 g KH₂PO₄, 0.001 g FeSO₄, 0.001 g MnSO₄, 2 g (NH₄)₂SO₄ et 15 g d'agar; et le pH est ajusté à 8 ± 0.2 (Ronald, 2010). Les isolats sont inoculés en spots et incubés à 30 °C pendant 10 jours. L'apparition d'un halo clair autour des colonies indique un résultat positif (Roberts et Selitrennikoff, 1988).

2.4.10. Production de l'uréase

La recherche de l'uréase s'est effectuée sur milieu de Christensen (Annexe1) (Hammad et al., 2013) dans des boîtes à Pétri, qui ont été ensemencé par touche de la souche à tester, puis incubées à 30 °C pendant 10 - 14 jours. La lecture s'est faite après incubation. Si la souche possède une uréase, la production de NH₃ fait virer l'indicateur rose-rouge au rouge violacé.

2.5. Etude des caractères biochimiques

Les tests biochimiques permettent en général de distinguer les espèces, même étroitement apparentées entre elles (Tortora et al., 2003). Grâce à cette étude, il est possible de connaître certaines caractéristiques du métabolisme bactérien. Dans cette étude, nous avons utilisé les galeries API 20 NE, API 20 E et API 50 CH pour identifier nos isolats. La galerie API 20 NE et API 20 E, se compose de 20 micro-tubes contenant milieux et substrats sous forme déshydratée alors que la galerie API 50 CH se compose de 50 micro-tubes permettant l'étude de la fermentation de substrat, appartenant à la famille des hydrates de carbone et dérivés (hétérosides, polyalcools, acides uroniques).

Après ensemencement des isolats, la lecture se fait après incubation à 30°C pendant 24/ 48/ 72 h, on note sur la fiche des résultats de toutes les réactions.

2.5. Identification moléculaire par le séquençage du gène de l'ARN 16S et analyse phylogénétique

Un isolat a été choisi pour une identification moléculaire. La boîte de Pétri libellée est envoyée à la compagnie Macrogen (Netherlands) où toute la procédure a été réalisée, depuis l'extraction d'ADN avec des kits, la purification de l'ADN génomique avec des kits : Big Dye (R) Terminator v3.1 Cycle Sequencing Kit (Applied Biosystems), le contrôle de son qualité par mesure spectrophotométrique et par électrophorèse sur gel d'agarose, l'amplification par Polymerase Chain Reaction (PCR) en utilisant deux amorces: 27f (5'-AGAGTTTGATCCTGGCTCAG-3') et 1492r (5'-GGTACCTTGTTACGACTT-3').

Le séquençage a été réalisé avec les mêmes amorces utilisées dans la PCR. Pour l'Analyse phylogénétique, les séquences partielles de l'ARNr 16S des souches obtenues sont comparées avec les séquences des ARNr 16S disponibles par la recherche des BLAST (<http://blast.ncbi.nlm.nih.gov>), dans le National Center of Biotechnology Information- USA (NCBI) data-base.

Résultats et discussion

1. Caractérisation morphologique des souches

1.1. Macromorphologique

L'étude macromorphologique des souches d'actinobactéries après une culture sur les milieux ISP2 et ISP4 a aidé dans l'identification possible des souches étudiées. Selon nos observations, la plupart des souches présentent une croissance abondante sauf les deux souches S01 et S11. Elles sont d'une taille moyenne, d'un aspect poudreux, rugueux ou lisse, qui adhèrent à la surface de la gélose, de différentes couleurs : grisâtre, jaunâtre, blanc laiteuse et blanc jaunâtre (figure 11).



Figure 11. Photographie présentant l'aspect macroscopique de quelques souches sur le milieu ISP2.

1.2. Micromorphologique

Les résultats des observations microscopiques des isolats confirment l'appartenance de ces isolats aux groupes des actinobactéries, ce test a permis d'apprécier un certain nombre de caractères tels que l'aspect des filaments qui contribuent à l'identification des actinobactéries.

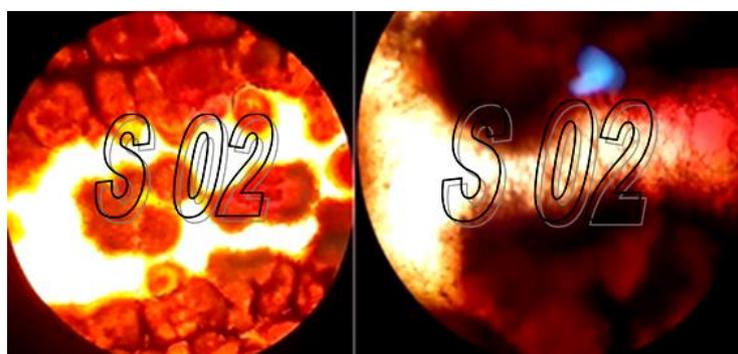


Figure 12. Aspect microscopique de la souche S02 au grossissement X10 et X40 d'actinobactéries au microscope optique (Zeiss).



Figure 13. Aspect microscopique de la souche S 09 au grossissement X10 et X40 d'actinobactéries au microscope optique (Zeiss).



Figure 14. Aspect microscopique de la souche S 13 au grossissement X10 et X40 d'actinobactéries au microscope optique (Zeiss).

Les descriptions morphologiques des différentes souches étudiées ont conduit à une identification possible des souches étudiées (Tableau 10).

Tableau 10. Identification possible des souches testées.

Code	Identification possible
S 01	<i>Streptomyces</i> RF
S 02	<i>Streptomyces</i> S
S 03	<i>Streptomyces</i> S
S 04	<i>Streptomyces</i>
S 05	<i>Streptomyces</i> S
S 06	<i>Streptomyces</i>
S 07	<i>Streptomyces</i> S
S 08	<i>Streptomyces</i> S
S 09	<i>Streptomyces</i> S
S 10	<i>Streptomyces</i> S
S 11	<i>Streptomyces</i> S
S 12	<i>Streptomyces</i> SRA RFS + RA
S 13	<i>Streptomyces</i> stérile
S 14	<i>Nocardioïdes</i>

S 15	<i>Streptomyces</i> S
S 16	<i>Streptomyces</i> RF
S 17	<i>Streptomyces</i> S
S 18	<i>Streptomyces</i>
S 19	<i>Streptomyces</i> S
S 20	<i>Streptomyces</i> S
S 21	<i>Streptomyces</i> S
S 22	<i>Streptomyces</i> RF

2. Effet PGPB des souches testées

Les résultats obtenus des tests des activités PGPB des souches d'actinobactéries étudiées sont représentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 11. Résultats des activités PGPB des souches d'actinobactéries testées.

	HCN	Sidé	AMM	Acc	Pkv	AlPv	FePv	ALK
S 01	-	+	-	-	+	+	+	+
S 02	-	+	+	+	+	+	+	+
S 03	-	-	-	-	+	+	+	+
S 04	-	+	-	+	+	+	+	+
S 05	-	+	+	+	+	+	+	+
S 06	-	+	+	+	+	+	+	+
S 07	-	-	-	+	+	+	+	+
S 08	-	+	+	+	+	+	+	+
S 09	-	+	+	+	+	+	+	+
S 10	-	-	+	-	+	+	+	+
S 11	-	+	+	+	+	+	+	+
S 12	-	-	-	+	+	-	-	+
S 13	-	+	-	-	+	+	-	+
S 14	-	+	-	+	+	+	+	+
S 15	-	-	-	+	+	+	+	+
S 16	-	-	+	+	+	+	+	+
S 17	-	+	+	-	+	+	+	+
S 18	-	+	+	+		+	+	+
S 19	-	+	+	+	+	+	-	+
S 20	-	-	+	-	+	-	+	-
S 21		-	-	-	+	+	+	+
S 22	+	+	+	-	+	+	+	+

A partir des résultats obtenus dans le tableau ci-dessus, on constate que :

1. La production de HCN est détectée seulement chez la souche S 22.

2. Huit souches (S 03, S 07, S 10, S12, S 15, S 16, S 20 et S 21) n'ont pas donné de résultats positifs pour la production des sidérophores.

3. La production d'ammonium est exprimée chez 13 souches parmi les 22 souches.

4. Plusieurs souches se sont avérées avoir une activité ACC désaminase.

5. L'activité de solubilisation du phosphore a été trouvée positive pour la majorité des souches et cela pour les trois types de phosphore inorganique testés.

6. La solubilisation du potassium a été positive pour toutes les souches sauf une seule, qui est S 20.

L'un des facteurs nutritifs les plus limitants de la croissance des plantes est le phosphore. L'utilisation des microorganismes solubilisant de phosphate pourrait diminuer l'apport des fertilisants phosphatés selon Vessey (2003).

Le potassium se trouve généralement en très faibles concentrations et plus de 90% du potassium, dans le sol se présente sous forme de minéraux de roche et de silicate insolubles (Kumar et Dubey, 2012).

La sécrétion de l'ACC désaminase par laquelle le précurseur de l'éthylène est dégradé et l'éthylène, qui réduit la croissance des plantes, s'accumule moins est l'une des propriétés des PGPB (Ilangumaran et Smith, 2017 ; Egamberdieva et al., 2019).

3. Résultats de l'activité enzymatique

Le tableau suivant rassemble les résultats obtenus pour les activités enzymatiques testées par les souches étudiées.

Tableau 12. Activité enzymatique des isolats étudiés

	Ami	Cell	Chi	Caséi	Gela	Twée	Tyr	Pec	Urée
S 01	+	+	+	+	+	+	+	-	-
S 02	+	+	+	+	+	+	+	+	-
S 03	+	+	+	+	+	+	+	+	-
S 04	-	+	+	+	+	+	+	-	-
S 05	-	+	+	+	+	+	+	-	-
S 06	+	+	+	+	+	+	+	+	-
S 07	+	+	+	+	+	+	+	+	-
S 08	+	+	+	+	+	+	-	-	-
S 09	+	+	+	+	+	+	+	-	-
S 10	-	+	+	+	+	+	+	-	-
S 11	+	+	+	+	+	+	+	+	-

Tableau 12 (suite). Activité enzymatique des isolats étudiés

	Ami	Cell	Chi	Caséi	Gela	Twee	Tyr	Pec	Urée
S 12	+	+	+	+	+	+	+	-	-
S 13	+	+	+	+	+	+	+	-	-
S 14	-	+	+	+	+	+	-	+	-
S 15	+	+	+	+	+	+	+	+	-
S 16	+	+	+	+	+	+	+	+	-
S 17	+	+	+	+	+	+	+	+	-
S 18	+	+	+	+	+	+	+	+	-
S 19	+	+	+	+	+	+	-	-	-
S 20	+	+	+	+	+	+	+	-	-
S 21	+	+	+	+	+	+	+	-	-
S 22	+	+	+	+	+	+	+	+	-

Ce tableau indique que toutes les souches étudiées ont montré au moins une activité enzymatique parmi les dix différentes activités testées. En fait, les données littéraires ont rapporté que les actinobactéries sont capables de produire un grand nombre d'enzymes, qui sont d'une valeur commerciale élevée (Zhou et al., 2000 ; Chakraborty et al., 2009 ; Avramenko et Galynkin, 2010). Ce résultat, justifie aussi l'intérêt que porte les chercheurs sur ce type de microorganismes, un intérêt qui n'a cessé de s'accroître au cours de ces dernières années, principalement en raison du grand nombre d'applications que les enzymes offrent dans des domaines très variés (Keyhani et Roseman, 1999 ; Bhat, 2000 ; Mobini-Dehkordi et Javan, 2012).

3.1. Hydrolyse de l'amidon

D'après le tableau 12, on remarque que toutes les souches d'actinobactéries étudiées ont pu dégrader l'amidon, à l'exception des souches S 04, S 05, S 10 et S 14 qui se sont révélés dépourvus de l'enzyme amylase. L'activité amylolytique se traduit par la présence d'un halo clair autour de la colonie après l'addition du « Lugol » (Figure 15). Les données bibliographiques ont mentionné que « l' α -amylase » est le type d'enzyme amylolytique le plus produit par les actinobactéries. Il est élaboré par différents genres tels que *Streptomyces* ; *Nocardiosis* et *Streptosporangium* (Vigal et al., 1991 ; Stamford et al., 2001 ; Chakraborty et al., 2009).

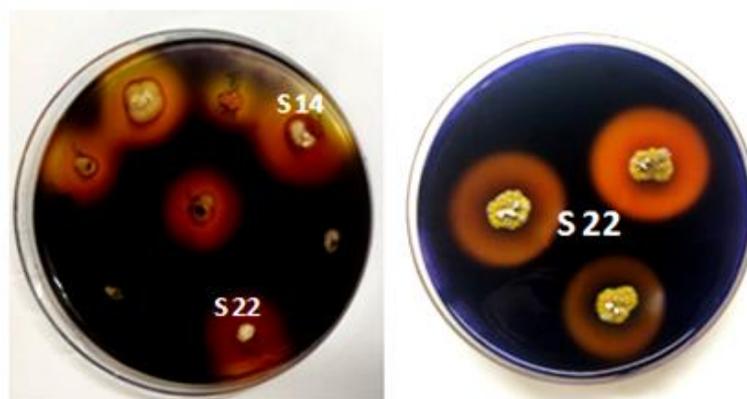


Figure 15. Activité amylolytique des souches S14 et S 22.

3.2. Dégradation de cellulose

D'après les résultats présentés au tableau 12, les 22 souches d'actinobactéries ont pu produire l'enzyme cellulase. Cette activité se traduit par l'apparition d'un halo clair entourant la colonie après l'ajout du « Rouge Congo à 1% » (Figure 16). Différentes cellulases ont été mises en évidence dans différents genres appartenant aux actinobactéries, il s'agit principalement de *Streptomyces* (Jang et Chenks, 2003 ; Loliam et al., 2013), *Micromonospora* (De Menezes et al., 2008 ; 2012), *Cellulomonas* (Saratale et al., 2010) et (Stutzenberger, 1988).



Figure 16. Activité cellulolytique de la souche S 14.

3.3. Dégradation de la chitine

Le test de la chitinase montre un résultat positif pour toutes les souches. La présence d'un halo clair, visible sans l'ajout d'aucun réactif signifie une activité chitinolytique positive (Figure 17). La dégradation de la chitine a été principalement remarquée chez le genre *Streptomyces*. En fait, les chitinases ont été décelées chez: *Streptomyces lividans*, *Streptomyces viridificans*, *Streptomyces aureofaciens*, *Streptomyces venezuelae*, *Streptomyces*

coelicolor et *Streptomyces griseus* (Miyashita et al., 1991; Gupta et al., 1995; Taechowisan et al., 2003; Mukherjee et Sen, 2006; Heggset et al., 2009; Avramenko et Galynkin, 2010; Thiagarajan et al., 2011).

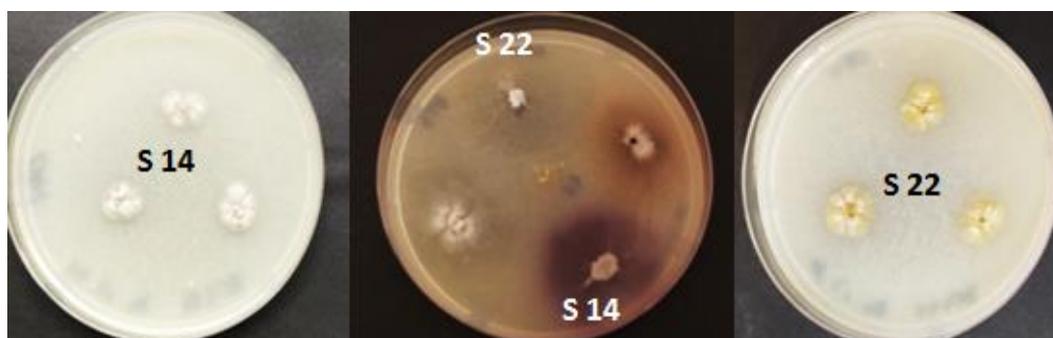


Figure 17. Activité chitino lytique des souches S 14 et S 22.

3.4. Dégradation de la caséine

Le Tableau 12 montre que le test caséinase a été positif pour toutes les souches d'actinobactéries étudiées, cette activité se traduit par la présence d'un halo clair autour de la colonie, visible sans l'ajout d'aucun réactif (Figure18).



Figure 18. Activité caséino lytique des souches S 14 et S 22.

Ces résultats sont en accord avec ceux présentés par El_Shefèi et al. (2010) ou ils ont montré que *Streptomyces albidoflavus* est productrice d'une enzyme protéolytique sur un milieu à base de lait écrémé, et ceux trouvés par Gulue et Deshmukh (2011) ou ils ont signalé que les genres : *Streptomyces*, *Micromonospora*, *Nocardia* et *Saccharopolyspora* possèdent une activité protéolytique ; liée particulièrement à l'enzyme caséinase.

3.5. Dégradation de la gélatine

Toutes les 22 souches ont pu dégrader la gélatine selon le tableau12. Selon ces résultats obtenus, l'hydrolyse de la gélatine précisée par l'apparition d'une auréole claire autour des colonies indiquant la production d'enzyme gélatinase. Toutes les souches d'actinobactéries

montrent une forte dégradation de gélatine comme représentées dans la figure suivante. Les résultats obtenus par Shiroza et al. (1982), confirment que la plupart des actinobactéries sont capables de dégrader différents substrats protéiques tel que la gélatine grâce à leur bagage enzymatique.

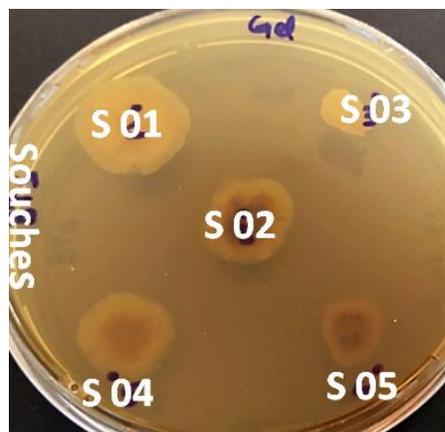


Figure 19. Activité de la gélatinase chez des souches S 01, S03, S02, S04 et S05.

3.6. Dégradation des lipides

Le même tableau 12, démontre que toutes les souches possèdent l'enzyme lipase qui leur permet de dégrader le tween 80. Cette activité se traduit par la présence d'un halo opaque, blanc perlé jaunâtre à bord net sous la colonie ou à sa limite (figure 20). Verma et Khuller (1983) ont rapporté la production d'une phospholipase C (lécithinase) chez *S. griseus* qui a été active à pH=7,5.

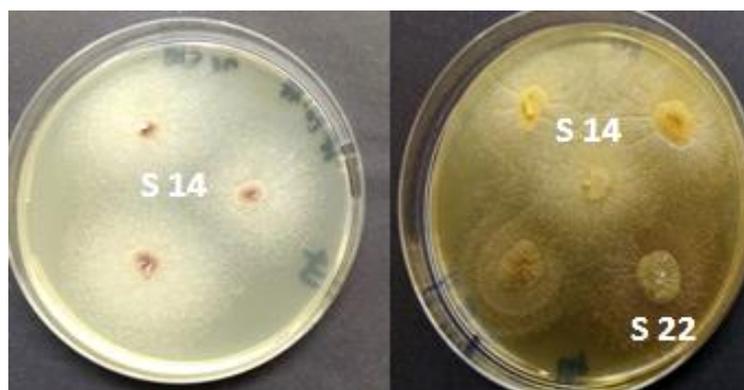


Figure 20. Activité de lipase chez de la souche S14 et S 22.

3.7. Dégradation de la L-tyrosine

Le résultat de la dégradation de la L-tyrosine, tel que mentionné dans le tableau 12, indique que seulement 06 souches parmi les 22 souches ont capables de dégrader la tyrosine S 01, S

06, S 13, S 16, S 17 et S 18. En fait, une activité positive se manifeste par l'apparition d'un halo clair, qui peut se transformer en noir (Figure 21).

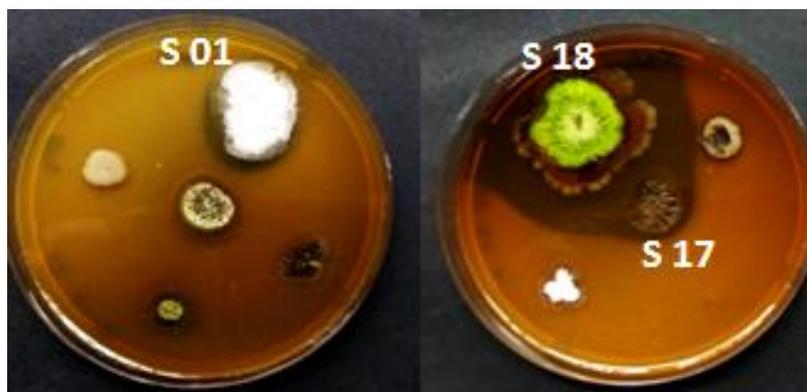


Figure 21. Activité tyrosinolytique des souches S 01, S 17 et S 18.

3.8. Dégradation de l'urée

Selon les résultats présentés au tableau 12, aucune souche parmi les 22 souches n'a pas pu dégrader l'urée.

3.9. Résultats de la catalase

Toutes les souches d'actinobactéries ont présenté un dégagement gazeux abondant sous forme de mousse qui indique la dégradation de l'eau oxygénée donc, catalase positive. Les résultats obtenus par Qiong Ying et al. (2012) montrent que les souches d'actinobactéries sont aérobies à catalase positive.

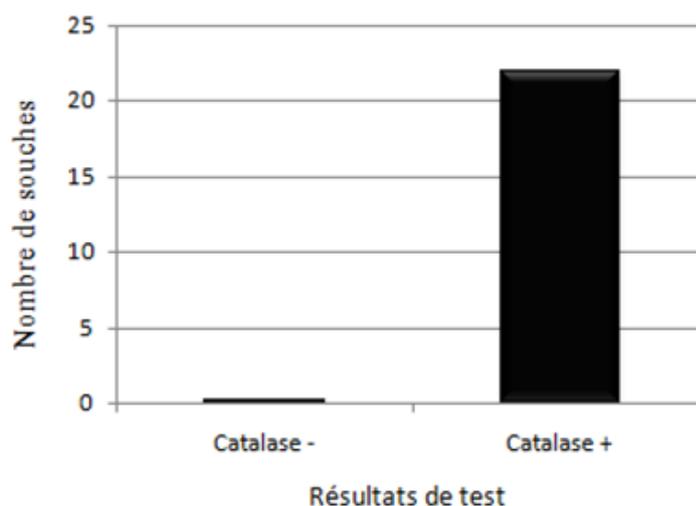


Figure 22. Nombre des isolats d'actinobactéries présentant le test catalase.

3.10. Dégradation de la pectine

Selon les résultats de tableau 12, 11 souches parmi les 22 souches ont pu dégrader la pectine. L'activité pectinolytique fut l'une des activités décelées chez les actinobactéries. Plusieurs espèces se sont montrées productrices de pectinase telles que *Streptomyces viridochromogenes* (Agate et al., 1962) et *Thermomonospora fusca* (Stutzenberger, 1987).

Les résultats présentés nous permettent de déduire que la cellulose, la chitine, la caséine, la gélatine, et le tween 80 sont les substrats les plus dégradés avec un pourcentage de 100 % des souches étudiés; suivi par la tyrosine 86.66% ; ensuite l'amidon avec 81% et la pectine avec 50%, alors que l'urée présente 0 % car aucune souche parmi les souches étudiées n'a présenté une activité uréase.

Nos résultats sont en accord avec ceux présentés par Gulve et Deshmukh (2011) pour l'étude des activités enzymatiques de 90 souches d'actinobactéries isolées à partir des sédiments marins, où leurs isolats ont dominé quant à la production des enzymes protéolytiques: 76% et 70 % pour l'action sur le lait écrémé et la dégradation de la gélatine consécutivement. L'activité uréasique a occupé la dernière position, vu que 15 sur les 90 souches testées (16.67%) possédaient l'enzyme responsable de l'hydrolyse de l'urée. Mais ils sont loin de ceux rapportés par Minotto et al. (2014) pour l'étude des activités enzymatiques de 23 souches d'actinobactéries isolées à partir des racines d'une plante de tomate (*Lycopersicon esculentum*) où ils ont montrés que tous leurs isolats possèdent une activité amylolytique ; ainsi que les travaux de Rodrigues (2006) pour l'étude des activités enzymatiques de 188 souches d'actinobactéries où il a mentionné la prédominance de l'activité amylolytique par rapport aux autres activités enzymatiques étudiées et que les genres *Nocardia*, *Nocardiopsis*, *Streptomyces* et *Terrabacter* étaient les plus actifs.

4. Identification des souches S 15 et S 22 par les galeries API 20E et API 20 NE et API50 CH

Le tableau (13) suivant présente les résultats des 3 trois galeries:

Tableau 13. Résultats de l'identification par les galeries API 20E, API 20NE et API 50 CH de souches S 22 et S 15.

N°	TEST	ENYMES et REACTION	S 22	S 15
API 20NE				
1	NO3	Réduction de nitrate en nitrite	+	+
2	TRP	formation d'idole (tryptophane)	R	R
3	GLU	Fermentation de Glucose	+	-
4	ADH	Arginine Dihydrolase	-	-
5	URE	Uréase	-	-
6	ESC	Hydrolyse de β glucosidase (esculine)	+	+
7	GEL	Hydrolyse protéase 'gélatine'	+	+
8	PNPG	β galactosidase	+	+
9	GLU	Assimilation de Glucose	+	-
10	ARA	Arabinose	+	-
11	MNE	Mannose	+	-
12	MAN	Mannitol	+	-
13	NAG	N acétyl glucosamine	+	+
14	MAL	Maltose	-	-
15	GNT	Potassium gluconate	-	-
16	CAP	Acide caprique	-	-
17	ADI	Acide adipique	+	-
18	MLT	Malate	+	-
19	CIT	Trisodium citrate	-	-
20	PAC	Acide Phényl acétique	+	-
API 20E				
1	ONPG	β GALACTOSIDASE	+	+
2	ADH	Arginine dihydrolase	-	-
3	LCD	Lysine décarboxylase	-	-
4	ODC	Ornithine décarboxylase	-	-
5	CIT	Citrate comme source de carbone	-	-
6	H2S	production de H2S à partir de thiosulfate	-	-
7	URE	Uréase	-	-
8	TDA	Tryptophane désaminase	R	R
9	IND	Production d'indole	R	R
10	VP	-	R	R
11	GEL	Gélatinase	+	+
12	GLU	Glucose (utilisation des glucides)	-	-
13	Man	Mannitol(utilisation des glucides)	+	-
14	INO	Inositol(utilisation des glucides)	+	-
15	SOR	Sorbitol(utilisation des glucides)	-	-
16	RHA	Rhamnose(utilisation des glucides)	-	-
17	SAC	Saccharose(utilisation des glucides)	-	-
18	MEL	Mélibiose(utilisation des glucides)	-	-
19	AMY	Amygdaline(utilisation des glucides)	-	-
20	ARA	Arabinose(utilisation des glucides)	+	+
API 50 CH				
1	GLY	Glycérol	+	+

Tableau 13 (suite). Résultats de l'identification par les galeries API

N°	TEST	ENYMES et REACTION	S 22	S 15
2	ERY	Erythritol	+	+
3	DARA	D-arabinose	-	-
4	LARA	L-arabinose	+	+
5	RIB	D-ribose	+	+
6	DXYL	D-xylose	+	+
7	LXYL	L-xylose	-	-
8	ADO	A-adonitol	+	+
9	MDX	Méthyl-βD-Xylopyraoside	-	+
10	GAL	D-galactose	-	+
11	GLU	D-glucose	+	
12	FRU	D-fructose	+	-
13	MNE	D-mannose	+	-
14	SBE	L-sorbose	-	-
15	RHA	L-ramnose	+	-
16	DUL	Dulcitol	+	+
17	INO	Inositol	+	-
18	MAN	D-mannitol	-	-
19	SOR	D-sorbitol	+	-
20	MDM	Méthyl-αD-mannopyranoside	-	-
21	MDG	Méthyl-αD--gluopyranoside	-	-
22	NAG	N-acétylglucosamine	-	-
23	AMY	Amygdaline	-	+
24	ARB	Arbutine	-	-
25	ESC	Esculine citrate de fer	+	+
26	SAL	Salicine	+	+
27	CEL	D-cellobiose	+	+
28	MAL	D-maltose	-	+
29	LAC	D-lactose	-	-
30	MEL	D-melibiose	-	-
31	SAC	D-saccharose	+	-
32	TRE	D-trehalose	+	-
33	INU	Inuline	+	-
34	MLZ	D-mélézitose	-	+
35	RAF	D-rafinose	-	+
36	AMD	Amidon	-	+
37	GLYG	Glycogène	+	-
38	XLT	Xylitol	+	-
39	GEN	Gentiobiose	-	-
40	TUR	D-turanose	+	+
41	LYX	D-lyxose	-	+
42	TAG	D-tagatose	-	-
43	DFURC	D-fucose	+	+
44	LFUC	L-fucose	-	+
45	DARL	D-arabitol	-	-
46	LARL	L-arabitol	-	-

Tableau 13 (suite). Résultats de l'identification par les galeries API

N°	TEST	ENYMES et REACTION	S 22	S 15
47	GNT	Potassium gluconate	-	-
48	2KG	Potassium 2-Cétogluconate	-	-
49	5KG	Potassium 5-Cétogluconate	-	-

+: Positif - : Négatif R: Absence de réactif

Les deux souches S 15 et S 22 ont été testés pour leurs propriétés biochimiques en utilisant les galeries API 20E, API 20NE et API 50CH. Les résultats de cette partie montre que ces deux souches dégradent une large gamme de sources de carbones et présentes plusieurs activités enzymatiques.

5. Identification moléculaire par le séquençage du gène de l'ARN 16S

L'étude des relations de parenté entre les espèces fait intervenir la phylogénie moléculaire, en utilisant les séquences nucléotidiques de l'ARNr 16S. L'étude moléculaire est basée principalement sur l'exploitation des logiciels informatisés qui traitent et analysent les données introduites, et expriment par conséquent, les positions taxonomiques par l'obtention d'arbres phylogénétiques par exemple.

5.1. Obtention de la séquence de l'ARNr 16S

Le séquençage du gène d'ARNr 16S de notre souche a été effectué et les séquences obtenues ont été comparées aux séquences présentes dans le Serveur EzTaxon-e (<http://eztaxon-e.ezbiocloud.net/>; Kim et al., 2012), un outil en ligne pour l'identification des bactéries basé sur les séquences d'ARNr 16S provenant de souches types. La séquence de notre souche est mise dans la barre de EzTaxon pour une identification et un fichier FASTA est télécharger (Figures 23 et 24).

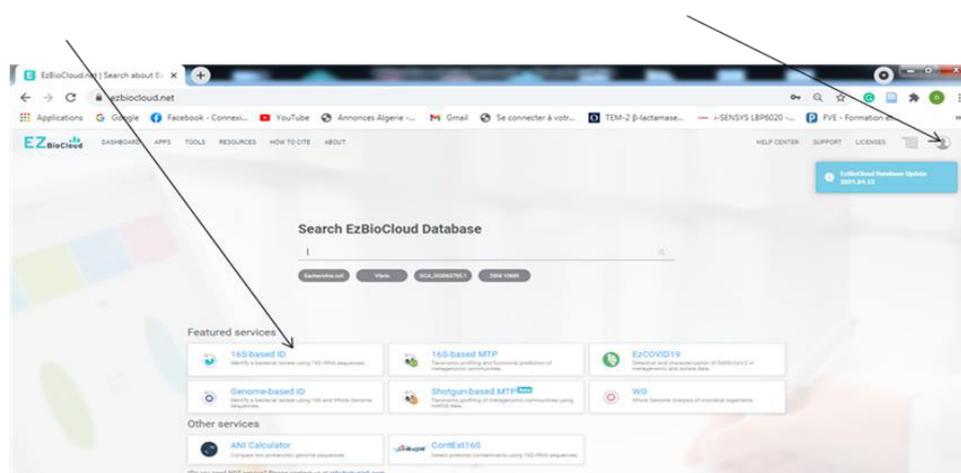
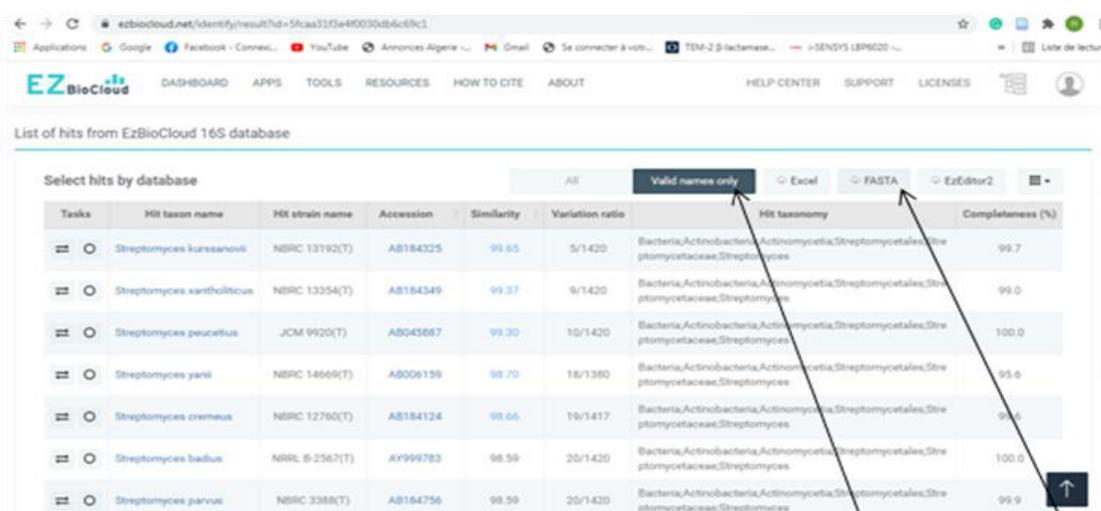
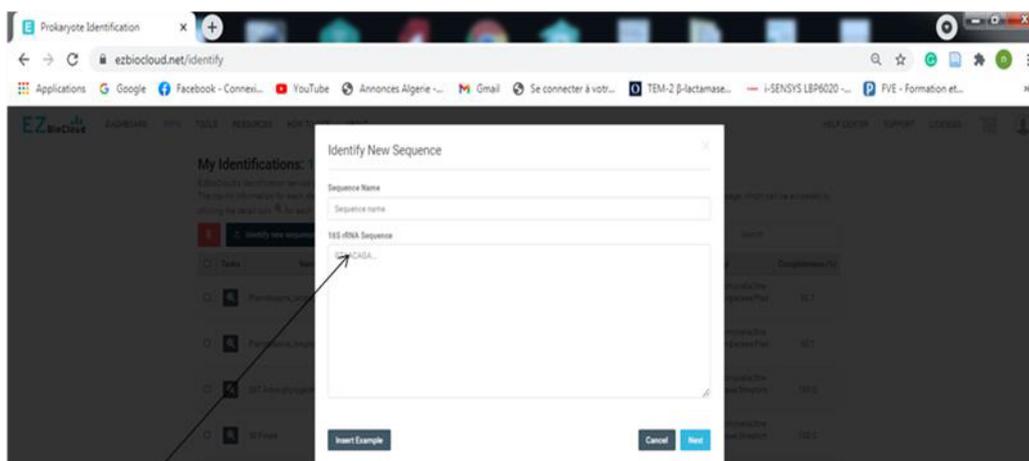


Figure 23. Capture écran du site d'EzTaxon.



Télécharger et ouvrir le fichier
FASTA

1

2

Figure 24. Etapes d'identification de la souche étudiée.

5.2. Téléchargement et installation du logiciel MEGA7

A partir du site ; <http://www.megasoftware.net>, le logiciel MEGA a été téléchargé, puis le logiciel a été installé sur l'ordinateur en suivant les instructions du fournisseur.

5.3. Alignement des séquences

Après ouverture du fichier FASTA, le logiciel MEGA s'ouvre, il faut Sélectionner toutes les séquences puis, cliquer sur MUSCLE, Aligner l'ADN (Align DNA), Computer (Compute) et enfin les séquences dont les base azotées sont alignées par correspondance (T avec A et G avec C), toute ayant des couleurs différentes sont obtenues (Figure 25).

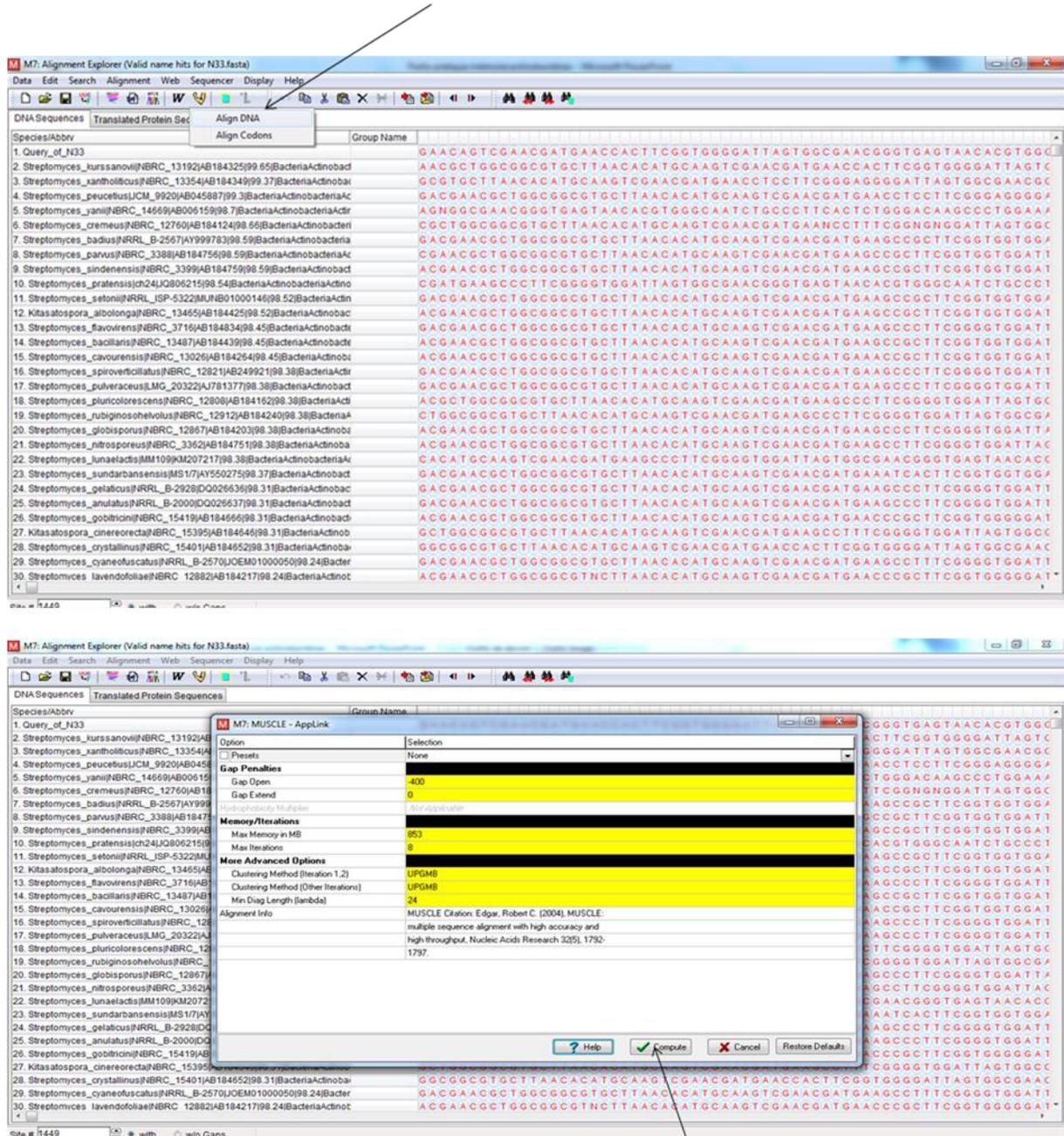


Figure 25. Différentes étapes d'alignement à suivre au cours d'une analyse phylogénétique.

5.4. Construction des arbres phylogénétiques

Sur la première page du programme MEGA7, nous choisissons PHYLOGENY, puis concevoir l'arbre phylogénétique en adoptant la méthode de Maximum Likelihood, puis nous cherchons le fichier enregistré dans l'étape précédente et enfin on clique sur Computer (Compute). A la fin, l'arbre phylogénétique apparaît (Figures 26 et 27).

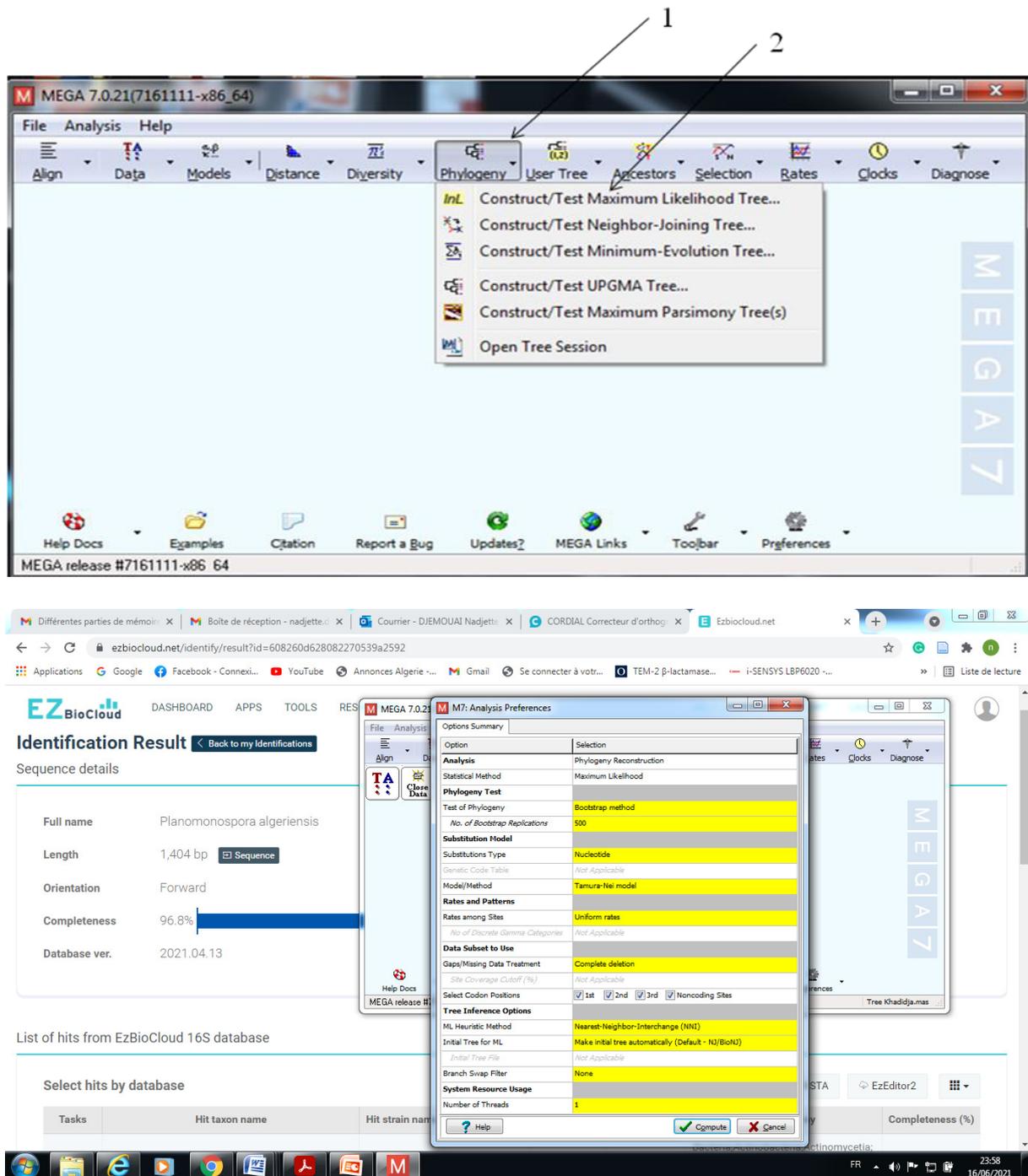


Figure 26. Etapes de la construction de l'arbre phylogénétique en utilisant la méthode de maximul likelihood.

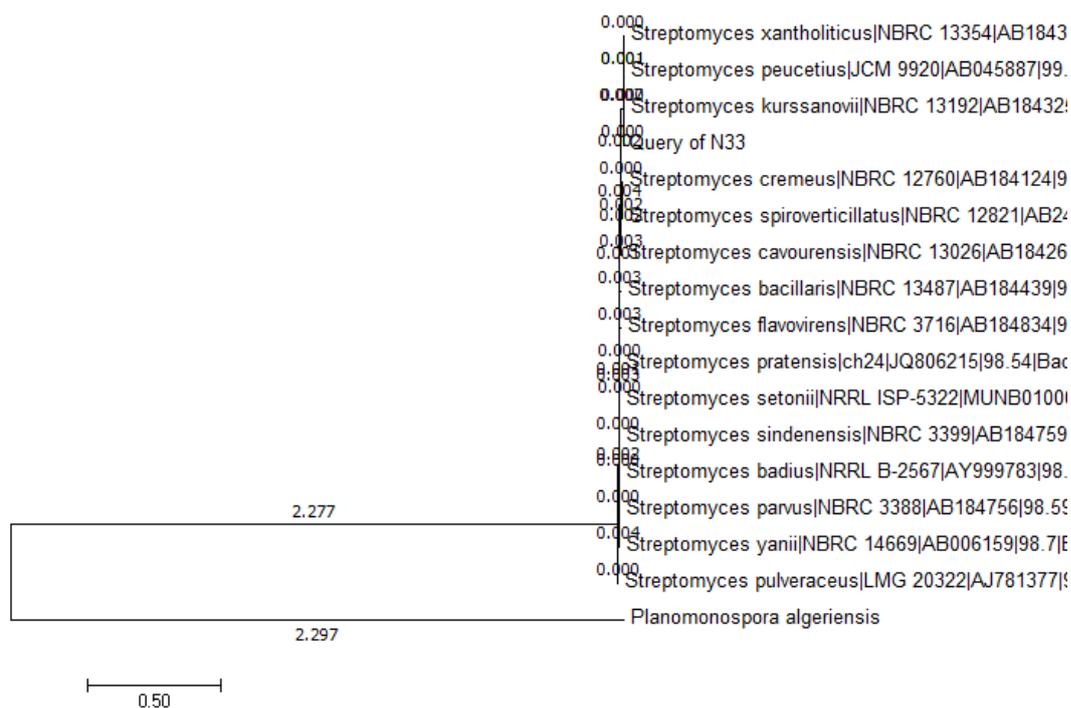


Figure 27. Arbre phylogénétique basé sur l'analyse des séquences de l'ADNr 16S, montrant l'identification de la souche étudiée en utilisant la méthode de Maximum Likelihood.

Les analyses phylogénétiques peuvent être réalisées pour plusieurs alignements de séquences stockés dans le programme MEGA7. Elle comprend des méthodes du maximum likelihood pour générer des arbres phylogénétiques qui représente des graphiques de relations de parenté entre les espèces, supposées ayant un ancêtre commun et Neighbor-Joining qui peuvent être enracinés ou non. Chaque nœud de l'arbre représente l'ancêtre commun de ses descendants. En général, un arbre phylogénétique renferme des clades qui représentent les "espèces" étudiées ou les taxons et des nœuds internes qui représentent les ancêtres virtuels ayant divergés. Des arrêtes qui illustrent les liens de filiation et la valeur de similarité de la séquence du gène de l'ARNr 16S a joué un rôle important dans la délimitation de nouveaux taxons et dans l'identification des souches étudiées.

La souche que nous avons étudiée appartient au genre *Streptomyces* et particulièrement la souche *S. kurssanovii* avec un pourcentage de similitude de 99.65%.

Conclusion

Conclusion

Dans ce travail nous sommes intéressés aux aspects phénotypiques macro-morphologiques et micro-morphologiques, et essentiellement la biodiversité métabolique, pour cela 22 souches d'actinobactéries ont été étudiés.

Nous avons pu constater une diversité culturelle sur le milieu ISP2 qui est apprécié par la couleur du mycélium arien et la présence ou non des pigments solubles. Les souches étudiées ont montré une activité de solubilisation du phosphore et du potassium intéressante. Sur l'ensemble des 22 souches testées, toutes les souches ont présenté une activité catalase positive. Selon les résultats des tests biochimiques, la dégradation de différentes sources de carbone a été notée pour les deux souches étudiées. Ces dernières ont possédé des activités remarquables de dégradation des substrats (cellulose, amidon, caséine, gélatine...) grâce à la production des enzymes hydrolytiques.

Les perspectives qui découlent de ce travail sont nombreuses. Ils encouragent la poursuite des études ; comme suit :

- Etude de la production d'autres enzymes potentiellement produites par nos souches telles que la caséinase.
- Extraction et purification de l'enzyme concernée.
- Recherche de la production de l'acide indole acétique (IAA) chez les 22 souches étudiées.
- Recherche et étude de l'activité antibactérienne des souches étudiées.
- Etude approfondie de toutes les souches afin de les identifier avec exactitude jusqu'au niveau de l'espèce.
- Evaluation des effets des souches promotrices de croissance végétative (PGPR) sur le rendement et l'état nutritionnel des plantes par des tests *in vivo*.

Références bibliographiques

- Adam D., Maciejewsk M., Naômé A., Martinet L., Coppieters W., Karim L., Baurain D., Rigali S. Isolation, characterization, and antibacterial activity of hard-to-culture actinobacteria from cave moonmilk deposits. *Antibiotics*.2018,7, 28.
- Agate AD, Bilimoria MH, Bhat JV (1962). Pectin transeliminase activity in *Streptomyces viridochromogenes*. *Curr. Sci.* 31, 462–463.
- Al-Askar A.A., Abdul Khair W.M., Rashad Y.M. (2011). In vitro antifungal activity of *Streptomyces spororaveus* RDS28 against some phytopathogenic fungi. *Afr. J. Agric. Res.* 6, 2835-2842.
- Alberton LR, de Souza Vandenberghe LP, Assmann R, Fendrich RC, León JR and Soccol CR (2009). Xylanase production by *Streptomyces viridosporus* T7A in submerged and solid-state fermentation using agro-industrial residues. *Braz. Arch. Biol. Technol.*, 52: 171-180.
- Al-Zarban S.S., Al-Musllam A.A., Abbas I., Stackebrandt E., Kroppenstedt R.M. 2002. *Saccharomonospora halophila* sp.nov, a novel halophilic actinomycete isolated from marsh soil in Kuwait. *Int J. Sys. Ev. Microbiol* 52:555-558.
- Ameer H., Ghoul M. Screening of actinomycetes producing antibacterial substances and indole acetic acid (IAA) and optimization of growth and IAA production conditions in *Streptomyces* sp. SF5. *Int. J. Pharm. Biol. Arch.* 2012,3, 545–551.
- Anandan A., Dharumadurai D., Manogaran G.P. 2016. An introduction to Actinobacteria. In : Dhanasekaran D., Jiang Y. (eds). *Actinobacteria: Basics and Biotechnological Applications*. Intech, Rijeka, Pp.3-37.
- Andriambololona, T. 2010. Etude biologique et chimique des métabolites secondaires des actinomycètes telluriques cas de la forêt d'Ankafobe.
- Anibou M. B. 2008. Actinomycetes from Moroccan habitats: isolation and screening for cytotoxic activities. *World. J. Microbiol. Biotechnol*, 2019-2025.
- Aouiche A., Sabaou N., Meklat A., Zitouni A., Bijani C., Mathieu F., Lebrihi A. 2012. *Saccharothrix* sp. PAL54, a new chloramphenicol-producing strain isolated from a Saharan soil. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 28,943–951.
- Aouiche A., Bijani C., Zitouni A., Mathieu F., Sabaou N. 2014. Antimicrobial activity of saquayamycins produced by *Streptomyces* spp. PAL114 isolated from a Saharan soil. *J. Mycol. Med.* 24, e17–e23
- Arijit D, Sourav B, Naimisha RV and Rajan SS. 2013. Improved Production and Purification of Pectinase from *Streptomyces* sp. GHBA10 isolated from Valapattanam mangrove habitat, Kerala, India, *Inter. Res. J. Biol. Sci.* 2, pp 16-22.
- Avramenko SV and Galynkin VA .2010. Features of Biosynthesis of Chitinolytic Enzymes by *Streptomyces griseus* Var. Streptomycine. *Applied Biochemistry and Microbiology*, Vol. 46, No. 4, pp. 405–408.
- Badji B. 2006. Étude de la taxonomie et des antibiotiques antifongiques de trois souches d'actinomycètes d'origine saharienne appartenant aux genres *Actinomadura* et *Nonomuraea*. Thèse de Doctorat. Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou. 226 p.
- Badji B., Mostefaoui A., Sabaou N., Lebrihi A., Mathieu F., Seguin E., Tillequin F. 2007. Isolation and partial characterization of antimicrobial compounds from a new strain *Nonomuraea* sp. NM94. *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.* 34, 403–412.
- Badis A., Ferradji F.Z., Boucherit A., Fodil D., Boutoumi H. 2010, Removal of natural humic acids by decolorizing actinomycetes isolated from different soils (Algeria) for application in water purification.
- Badis A, Ferradji F.Z, Boucherit A, Fodil D., and Boutoumi H. 2009 Characterization and biodegradation of soil humic acids and preliminary identification of decolorizing actinomycetes at Mitidja plain soils (Algeria). *African Journal of Microbiology Research* pp. 997-1007.
- Bakker AW., Schippers B. 1987. *Biologie et biochimie des sols*. Elsevier. *Biologie et biochimie des sols* 19(4),451-457.

- Banerjee A., Ghoshal A. 2010. dégradation du phénol par *Bacillus cereus*: voie et modélisation cinétique. *Technologie des bioressources* 101(14), 5501-5507, 2010.
- Barka E., Vatsa P., Sanchez L., Gaveau-Vaillant N., Jacquard C., Klent HP., Clément C., Ouhdouche Y and Wezel GP van .2016. Taxonomy, physiology and natural products of Actinobacteria. *Microbial Mol Biol* 80 : 1 – 43.
- Baoune H., Aparicio J.D., Acuña A., Ould El Hadj-khelila A., Sanchez L., Polti M.A., Alvarez A., 2019. Effectiveness of the *Zea mays*-*Streptomyces* association for the phytoremediation of petroleum hydrocarbons impacted soils. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 184 (2019) 109591.
- Baoune H., Ould El Hadj-Khelila A., Pucci G., Sineli P., Loucif L., Polt M.A., 2018 Petroleum degradation by endophytic *Streptomyces* spp. isolated from plants grown in contaminated soil of southern Algeria. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 147 (2018) 602–609.
- 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. *J. Mycol. Med.* 26, 160–169.
- BenElhouli M., Zeraï Jaouadia N., Rekika H., Bejara W., Boulkour Touiouib S., Hmidia M., Badis A., Bejara S., Jaouadi B. 2015. A novel detergent-stable solvent-tolerant serine thiolalkaline protease from *Streptomyces koyangensis* TN650. *International Journal of Biological Macromolecules* 79, 871–882.
- Bhat MK .2000. Cellulases and related enzymes. In *Biotechnology Advances* 18 :355–383.
- Boubetra D., Zitouni A., Bouras N., Mathieu F., Lebrihi A., Schumann P., Spröer C., Klenk H.P., Sabaou N. 2013 a. *Saccharothrix saharensis* sp. nov., an actinomycete isolated from Algerian Saharan soil. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 63, 3744–3749.
- Boubetra D., Zitouni A., Bouras N., Mathieu F., Lebrihi A., Schumann P., Spröer C., Klenk H.P., Sabaou N. 2013b. *Saccharothrix hoggarensis* sp. nov., an actinomycete isolated from Saharan soil. *J. Syst. Evol. Microbiol.* 63, 63549–63553.
- Boubetra, D.; Sabaou, N.; Zitouni, A.; Bijani, C.; Lebrihi, A.; Mathieu, F. 2013c .Taxonomy and chemical characterization of new antibiotics produced by *Saccharothrix SA198* isolated from a Saharan soil. *Microbiol. Res.*, 168, 223–230.
- Boucherba N., Benallaoua S., Copinet E., Hebal H., Francis D., 2010. Production and partial characterization of xylanase produced by *Jonesia denitrificans* isolated in Algerian soil. *Process Biochemistry*. Vol 46, 2, 519-525.
- Boudemagh, A. 2007. Isolement, à partir des sols Sahariens, de bactéries actinomycétales productrices de molécules antifongiques, identification moléculaire de souches actives. Thèse de Doctorat en Microbiologie Appliquée. Université Mentouri Constantine. Algérie. 132 p.
- Boudjelal F. 2012. Taxonomie et antagonisme des actinomycètes halophiles d'origine saharienne et caractérisation des composés bioactifs sécrétés par *Actinoalloteichus* sp. AH97. Thèse de Doctorat, Ecole nationale supérieure, El-Harrach, Alger. 14p.
- Boudjella H., Bouti K., Zitouni A., Mathieu F., Lebrihi A., Sabaou N. Taxonomy and chemical characterization of antibiotics of *Streptosporangium* Sg 10 isolated from a Saharan soil. *Microbiol. Res.* 2006, 161: 288–298
- Boudjella. H. 2007. Etude taxonomique et des propriétés antagonistes des *Streptosporangium* des sols sahariens et caractérisation des principaux antibiotiques sécrétés par trois souches. Thèse de Doctorat, Institut National El-Harrach –Alger.
- Boudjella H., Zitouni A., Coppel Y., Mathieu F., Monje M.C., Sabaou N., Lebrih A. 2010. Antibiotic R2, a new angucyclinone compound from *Streptosporangium* sp. Sg3. *J. Antibiot.* 63, 709–711.
- Boughachiche F., Reghioua S., Oulmi L., Zirezer H., Kitouni M., Boudemagh A., Boulahrouf A. 2005. Isolement d'actinomycètes productrices de substances antibactériennes à partir de la sebkha de Ain Mlila. *Science & Techno* 23 : 5-10.
- Bouras N., Meklat A., Boubetra D., Saker R., Boudjelal F., Aouiche A., Lamari L., Zitouni A.,

- Schumann P., Spröer C., Klenk H., Sabaou N. 2014. Diversity of Actinobacteria in Algerian Saharan soil and description of sixteen new taxa. *Revue El Wahat pour les Recherches et les Etudes* (2014) : 67 – 85.
- Bouznada K., Bouras N., Schumann P., Spröer C., Sabaou N., Klenk H.P. 2016. *Actinophytocola algeriensis* sp. nov., an actinobacterium isolated from Saharan soil. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 66, 2760–2765.
 - Busi S., Pattnaik S.S. 2018. Current status and applications of actinobacteria in the production of anti-cancerous compounds. In *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering*, 1st ed.; Singh, B.P., Gupta, V.K., Passari, A.K., Eds.; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, pp. 137–153.
 - Berdy, J. 2005. Bioactive microbial metabolites. *J Antibiot*, 1-26.
 - Cao L., Qiu Z., You J., Tan H., Zhou S., 2005. Isolation and characterization of endophytic streptomycetes antagonistic of *Fusarium* wilt pathogen from surface-sterilized banana roots. *FEMS Microbiol. Lett.* 247, 147152.
 - Cao L., Qiu Z., You J., Tan H., Zhou S. 2004. Isolation and characterization of endophytic *Streptomyces* from surface-sterilized tomato (*Lycopersicon esculentum*) roots. *Lett. Appl. Microbiol.* 39, 42543.
 - Cappuccino J.C., et Scherman N., 1992. In *Microbiology: A laboratory Manual*, 3 edn. Benjamin/Cummings, New York, p:125-179.
 - Carrim AJI., Barbosa EC., Vieira JDG. 2006. Activité enzymatique d'isolats bactériens endophytes de *Jacaranda decurrens* Cham.(Carobinha-docampo). *Archives brésiliennes de biologie et de technologie* 49 (3), 353-359, 2006.
 - Chergui A., Bakhtia M.Z. , Chahbouba A., Haddouma S., Selatnia A., Junter G. A., 2006 Simultaneous biosorption of Cu²⁺, Zn²⁺ and Cr⁶⁺ from aqueous solution by *Streptomyces rimosus* biomass. *Desalination* 206 179–184.
 - Colombié V. 2005. Description de la production de spiramycine par *Streptomyces ambofaciens*. Modilisation métabolique, simulation et capteur logiciel .Thèse de doctorat. Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, p174.
 - Compant S., Duffyb., Nowak J., Clément C., Ait Barka E. 2005. Use of Plant Growth-Promoting Bacteria for Biocontrol of Plant Diseases: Principles, Mechanisms of Action, and Future Prospects. *Appl. Environ. Microbiol.* 71, 4951-4959.
 - Danilenko V.N., Mironov V.A., Elizarov S.M. 2005. Calcium as a Regulator of Intracellular Processes in Actinomycetes .*A Review App Biochem Microbiol* 41(4):319–329.
 - Das A., Soudbakhsh M., Bhattacharya S., Hamedani k ., Suryan S., Prashanthi k. 2012. Enzymatic Screening, Antibacterial Potential and Molecular Characterization of Streptomycetes Isolated from Wayanad District in Kerala, India. *International Journal of pharmacy and biological science* 2(1):201-210.
 - Delarras C. 2007. *Microbiologie pratique pour le laboratoire d'analyses ou de contrôle sanitaire*. Lavoisier. Tome1.476 p.
 - Demain, A. 2006. Bacterial Pharmaceutical Products in Procaryotes. 812-833.
 - Dgigal, D. 2003. Interaction entre la communauté microbienne du sol (bactéries et champignons mycorrhiziens) et les nématodes bactérivores; effet sur la nutrition minérale et la croissance de différentes plantes. Thèse doctorat . Université Cheikh Anta de Dakar.
 - De-Oliveira, M.F., Da Silva, M.G., Van Der Sand, S.T. 2010. Anti-phytopathogen potential of endophytic actinobacteria isolated from tomato plants (*Lycopersicon esculentum*) in southern Brazil, and characterization of *Streptomyces* sp. R18, a potential biocontrol agent. *Res. Microbiol.* 161,565-572.
 - Djaballah C.2010. Biodiversité des Actinomycètes Halophiles et Halotolérante Isolat de la sebkha d'Ain Mlila. Mémoire de Magister, Université Mentouri Constantine,56p.

- Djaballah C. E., Kitouni M., Raoult D., Khelaifia S. 2017. *Streptomyces massialgeriensis* sp. nov., a new bacterial species isolated from an extremely saline soil collected from the dry lake of Ank el Djamel in Algeria. 2017. Elsevier, NMNI, 21,18–19
- Djinni I., Defant A., Kecha M., Mancini I. 2013. Antibacterial polyketides from the marine alga-derive dendrophitic *Streptomyces sundarbansensis* : A study on hydroxy pyronetautomerism. Mar. Drugs,11,124–135.
- Djinni I., Djoudi W., Souagui S., Rabia F., Rahmouni S., Mancini I., Kecha M. 2018. *Streptomyces thermioliaceus* SRC3 strain as a novel source of the antibiotic adjuvant streptazolin: A statistical approach toward the optimized production .J. Microbiol. Meth, 148, 161–168.
- Djinni I., Defant A., Djoudi W., Chaabane Chaouch F., Souagui S., Kecha M., Mancini I. 2019. Modeling improved production of the chemotherapeutic polypeptide actinomycin D by a novel *Streptomyces* sp. strain from a Saharan soil. Heliyon, 1695.
- Driche E.H., Belghit S., Bijani C., Zitouni A., Sabaou N., Mathieu F., Badji B. 2015. A new *Streptomyces* strain isolated from Saharan soil produces di-(2-ethylhexyl) phthalate, a metabolite active against methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*. Ann. Microbiol.,65, 1341–1350.
- Driche E.H., Sabaou N., Bijani C., Zitouni A., Pont F., Mathieu F., Badji B. 2017. *Streptomyces* sp. AT37 isolated from a Saharan soil produces a furanone derivative active against multidrug-resistant *Staphylococcus aureus*. World J. Microbiol. Biotechnol., 33: 105–119.
- Dos Santos E.R., Santos Teles Z.N., Campos N.M., de Souza D.A.J., da Rocha Bispo A.S and do Nascimento R.P. 2012. Production of α -Amylase from *Streptomyces* sp. SLBA-08 Strain Using Agro-Industrial By-Products. Braz Arch Biol Technol 55 (5): 793-800.
- Dworkin M. et Foster JW. 1958. Expériences avec certains micro-organismes qui utilisent de l'éthane et de l'hydrogène. Journal de Bactériologie.1958.
- Egamberdieva, D., Wirth, S., Bellingrath-Kimura, S.D., Mishra, J., Arora, N.K., 2019. Salt-Tolerant PlantGrowth Promoting Rhizobacteria for Enhancing Crop Productivity of Saline Soils. Front.Microbiol. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.02791>
- El-Sersy N., Abd-Elnaby H., Abou-Elela G. M., Ibrahim H. A. H. and El-Toukhy N. M.K. 2010. Optimization, economization and characterization of cellulase produced by marine *Streptomyces ruber*. Afr Journal Biotechnol 9 (38): 6355-6364.
- El-Tarabily K.A. et Sivasithamparam K., 2009. Non-streptomycete actinomycetes as biocontrol agents of soil-borne fungal plant pathogens and as plant growth promoters. Soil. Biol. Biochem. 38. 1505- 1520.
- El-Tarabily, K.A., 2008. Promotion of tomato (*Lycopersicon esculentum*Mill) plant growth by rhizosphere competent 1 aminocyclopropane-1-carboxylic acid deaminase-producing streptomycetes actinomycetes. Plant Soil 308, 161 174.
- Ensign, J. 1993. Physiology of some actinomycetes genera.657-660.
- Eunice J.A., Prosser J.I., 1983. Mycelial growth and branching of *Streptomycescoelicolor*.A3 (2) on solid medium. J. gen Microbiology, 129, 2029-2036.
- Fodil D., Jaouadi B., Badis A., Zaraï N., Ferradji F.Z., Bejar S., Boutoumi H., 2012. A thermostable humic acid peroxidase from *Streptomyces* sp. strain AH4: Purification and biochemical characterization. Bioresource Technology 111: 383–390.
- Fodil D., Badisa A., Jaouadi B., Zaraï N., Ferradji F.Z., Boutoumi H., 2011. Purification and characterization of two extracellular peroxidases from *Streptomyces* sp. strain AM2, a decolorizing actinomycetes responsible for the biodegradation of natural humic acids. International Biodeterioration & Biodegradation 65 (2011) 470-478.
- Gees, R., Coffe, M.D., 1989. Evaluation of a strain of *Myrothecium rarisidum* a potential biological agent against *Phytophthora cinnamomi*. Phytopathology 79, 1079-1084.
- Glick, B.R., 2014. Bacteria with ACC deaminase can promote plant growth and help to feed the world. Microbiol. Res. 169, 30 39.

- Glick, B.R., Liu, C., Ghosh, S., Dumbroff, E.B., 1997. Early development of canola seedlings in the presence of the plant growth-promoting rhizobacterium *Pseudomonas putida* GR12-2. *Soil. Biol. Biochem.* 29, 1233-1239.
- Ghanem N.B., Sabry S.A., El-Sherif Z.M., Abu El-Ela G.A. 2000. Isolation and enumeration of marine actinomycetes from seawater and sediments in Alexandria. *Journal of Applied Microbiology* 46:105–111.
- Goodfellow, M. (1983). Ecology of Actinomycetes. *Ann Rev Microbiol*, 189 -216.
- Goodfellow M., Williams S. T. 1983. Ecology of actinomycetes. *Ann Rev Microbiol* 37:189-216.
- Goodfellow M and O'Donnell AG (1989). Search and discovery of industrially significant actinomycetes. *Proceeding of the 44th Symposium on Society for General Microbiology, (SCGM'89)*. Cambridge University Press, Cambridge. pp343-383
- Goodfellow, M. (2012). Actinobacteria phyl. Nov. In: Whitman W.B, Goodfellow .M, Kämpfer. P, Busse H-J, Trujillo M.E, Ludwig. W, Suzuki. K.I, Parte A (eds). (éd. 2ème, Vol. 5). New York: Bergey's Manual of systematic Bacteriology.
- Goudjal Y., Zamoum M., Sabaou N., and Zitouni A., 2018. Endophytic Actinobacteria from Native Plants of Algerian Sahara: Potential Agents for Biocontrol and Promotion of Plant Growth. *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering*. 2018.
- Goudjal, Y., Zamoum, M., Meklate, A., Sabaou, N., Mathieu, F., Zitouni, A., 2016a. Plant-growth promoting potential of endosymbiotic actinobacteria isolated from sand truffles (*Terfezia leonis* Tul.) of the Algerian Sahara. *Ann. Microbiol.* 66, 91-100.
- Goudjal, Y., Zamoum, M., Sabaou, N., Mathieu, F., Zitouni, A., 2016b. Potential of endophytic *Streptomyces* spp. for biocontrol of *Fusarium* root rot disease and growth promotion of tomato seedlings. *Biocontrol Sci. Technol.* 26 (12), 1691-1705.
- Goudjal Y., Toumatia O., Sabaou N., Barakate M., Mathieu F., Zitouni A. 2013 Endophytic actinomycetes from spontaneous plants of Algerian Sahara: Indole-3-acetic acid production and tomato plants growth promoting activity. *World J. Microbiol. Biotechnol.*, 29, 1821–182.
- Goudjal Y., Toumatia O., Yekkour A., Sabaou N., Mathieu F., Zitouni A. 2014. Biocontrol of *Rhizoctonia solani* damping-off and promotion of tomato plant growth by endophytic actinomycetes isolated from native plants of Algerian Sahara. *World J. Microbiol. Res.* 169, 59-65.
- Gulve R and Deshmukh A., 2011. Enzymatic activity of Actinomycetes isolated from
- marine sediments. *Recent Research in Science and Technology*, 3(5): 80-8.
- Gupta R, Saxena RK, Chatuverdi P and Viridi JS., 1995. Chitinase production by *Streptomyces viridificans* : its potential in fungal cell wall lysis. *J Appl Bacteriol* 78, 378–383.
- Habbeche A., , Saoudi B., Jaouadi B., Haberra S., Kerouaz B., Boudela M., Badis A , Ladjama A., 2014. Purification and biochemical characterization of a detergent-stable keratinase from a newly thermophilic actinomycete *Actinomadura keratinolytica* strain Cpt29 isolated from poultry compost. *J. Biosci. Bioeng.*, 413-421.
- Habbeche A., Haberra S., Saoudi B., Kerouaz B., Ladjama A. 2013. Keratinase production from a thermophilic Actinomycete strain Cpt29 newly isolated from poultry compost. *J Minerova Biotechnol* 25: 151-159.
- HadjRabia-Boukhalfa Y., Eveno Y., Karama S., Selama O., Lauga B., Duran R., Hacène H., Eparvier V. 2017. Isolation, purification and chemical characterization of a new angucyclinone compound produced by a new halo tolerant *Nocardioopsis* sp. HR-4 strain. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 2017,33, 126–135.
- Hamdali, H., Hafidi, M., Virolle, M.J., Ouhdouch, Y., 2008. Growth promotion and protection against damping-off of wheat by two rock phosphate solubilizing actinomycetes in a P-deficient soil under greenhouse conditions. *Appl. Soil Ecol.* 40, 510-517.
- Harir M. 2018. Caractérisation des molécules bioactives produites par des souches d'actinobactéries isolées des sols arides et semi arides d'Algérie. Thèse de doctorat, Université Ahmed Ben Bella,

Oran,9 p.

- Harir, M.; Bellahcene, M.; Baratto, M.C.; Pollini, S.; Rossolini, G.M.; Trabalzini, L.; Fatarella, E.; Pogni, R. 2018. Isolation and characterization of a novel tyrosinase produced by Sahara soil actinobacteria and immobilization on nylon nanofiber membranes. *J. Biotechnol.* 10, 54–64.
- Harir M., Miloud B., Zohra F., García-Arenzana J.M., Veloso A., Rodríguez-Couto S., 2017a. 2017. Isolation and Characterization of Actinobacteria from Algerian Sahara Soils with Antimicrobial Activities. *Spring 2017, Vol 6, No2.*
- Harikrishnan, H., Shanmugaiah, V., Balasubramanian, N., Sharma, M.P., Kotchoni, S.O., 2014. Antagonistic potential of native strain *Streptomyces aurantiogriseus* VSMGT1014 against sheath blight of rice disease. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 30, 31493161.
- Haritha R., Siva Kumar K., Jagan Mohan Y.S.Y.V., 2010 . Amylolytic and proteolytic actinobacteria isolated from marine sediments of Bay of Bengal. *International J Microbiol Res* 1(2): 37–44.
- Heggset EB, Hoell IA, Kristoffersen M, Eijsink VG and Varum KM., 2009. Degradation of chitosans with chitinase G from *Streptomyces coelicolor* A3 (2): production of chito-oligosaccharides and insight into subsite specificities. *Biomacromolecules* 10, 892–899.
- Huang X., Zhang N., Yong X., Yang X., Shen Q., 2011. Biocontrol of *Rhizoctonia solani* damping-off disease in cucumber with *Bacillus pumilus* SQR-N43. *Microbiol. Res.* 167, 135143.
- Ilangumaran, G., Smith, D.L., 2017. Plant growth promoting rhizobacteria in amelioration of salinity stress: A systems biology perspective. *Front. Plant Sci.*
- <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01768>
- Jani S.A., Chudasama C.J., Patel D.B., et al. 2012. Optimization of extracellular protease production from alkali thermo tolerant actinomycetes: *Saccharomonospora viridis* SJ-21. *Bull Environ Pharmacol Life Sci* 1(6): 84–92.
- Jang HD and Chens. Production and characterisation of thermostable cellulase from *Streptomyces* transformant T3-1.2003. *Worked Journal Microbiol Biotechnol* 19:263-268.
- Jaouadia B., Abdelmalek B., Fodil D., Ferradji F.Z., Rekika H., Zaraï N. , Bejar S., 2010. Purification and characterization of a thermostable keratinolytic serine alkaline proteinase from *Streptomyces* sp. strain AB1 with high stability in organic solvents. *Bioresource Technology* 101 (2010) 8361–8369.
- Jariwala, F. 2013. Endophytic actinomycetes. Not only to the plants; they even produce numerous bioactive compounds which are of human benefit. *Biological Sciences*, 1, 73-78.
- Jeffrey L. S., Halizah H., 2014. Biological active compounds from actinomycetes isolated from soil of Langkawi Island, Malaysia. *African Journal of Biotechnology* 13(49) : 4523-4528.
- Jensen P.R., Dwight R., Fenical W. 1991. Distribution of actinomycetes in near-shore tropical marine sediments. *Apple Environ Microbiol* 57 (4):1102–1108.
- Johnsen S.A., Subramaniam M., Katagiri T., Janknecht R. and Spelsberg T.C., 2002. Transcriptional regulation of Smad2 is required for enhancement of TGFβ/Smad signaling By TGFβ inducible early gene. *Journal of cellular biochemistry*, 87 (2), 233-241.
- Joo, G.J., 2005. Purification and characterization of an extracellular chitinase from the antifungal biocontrol agent *Streptomyces halstedii*. *Biotechnol. Lett.* 27, 14831486.
- Kalakoutski L., 1976. Comparative aspects of development and differentiation in actinomycetes. *Bacteriol. Rev*, 40(2),469-524.
- Kasana R.C., Salwan R., Dhar H., Dutt S., Gulati A., 2008. A rapid and easy method for the detection of microbial cellulases on Agar plates using gram's iodine. *Curr Microbiol* 55: 503–507.
- Kesenheimer C., Groth U. (2006). Total synthesis of (–)-8-O-methyltetrangomycin (MM 47755). *Org. Lett*, 8: 2507–2510.
- Keyhani NO et Roseman S., 1999. Physiological aspect of chitin catabolism in marine bacteria. *Biochimica et Biophysica Acta.* (14)73: 108-122.
- Kishore J. P., Manojkumar, Z. Chopdia and Raghunathan T.M., 2011. Lipase biodiversity.

- Indian.JSci.Technol 4(8).
- Kim KJ, Yang YJ and Kim JG., 2003. Purification and characterization of chitinase from *Streptomyces* sp. M-20. J. Biochem. Mol. Biol. 36(2), 185–189.
 - Kitouni M., 2005. Identification d'une Actinomycétales, productrice d'antibactériens, isolée de sols arides des régions de Biskra. Sciences &Technologie.
 - Kitouni M., Boudemagh A., Oulmi L., Reghioua S., Boughachiche F., Zerizer H., Hamdiken H., Couble A., Mouniee D., Boulahrouf A., Boiron P., 2005. Isolation of actinomycetes producing bioactive substances from water, soil and tree bark samples of the north–east of Algeria. Journal de Mycologie Médicale 15 (2005) 45–51.
 - Khamna S., Yokota A., Peberdy J.F., Lumyong S., 2010. Indole-3-acetic acid production by *Streptomyces* sp. isolated from some Thai medicinal plant rhizosphere soils. Eur. Asia J. Biol. Sci. 4, 2332.
 - 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. Med. 2018, 28, 150–160.
 - Khebizi N., Boudjella A., Bijani C., Bouras N., Klenk H. P., Pont F., Mathieu F., Sabaou N., 2017. Oligomycins A and E, major bioactive secondary metabolites produced by *Streptomyces* sp. strain HG29 isolated from a Saharan soil. MYCMED-739; pp11.
 - Khwaja S., Ram P., Santosh K and Manish D.V., 2011. Isolation of soil thermophilic strains of actinomycetes for the production of α - amylase. African Journal of Biotechnology 10(77):17831-17836.
 - Kumar, P., R. Dubey, et al. (2012). "Bacillus strains isolated from rhizosphere showed plant growth promoting and antagonistic activity against phytopathogens." Microbiological research **167**(8): 493-499.
 - Lahoum A., Sabaou N., Bijani C., Bouras N., Pont F., Snini S.P., Mathieu F., 2019 Antimicrobial activities of novel bipyridine compounds produced by a new strain of *Saccharothrix* isolated from Saharan soil. Saudi Pharm. J. 2019, 27, 56–65.
 - Lahoum A., Aouiche A., Bouras N., Verheecke C., Klenk H.P., Sabaou N., Mathieu F., 2016 Antifungal activity of a Saharan strain of *Actinomadura* sp. ACD1 against toxigenic fungi and other pathogenic microorganisms. Journal De Mycologie Médicale (2016).
 - Lamari L., Zitouni A., Dob T., Sabaou N., Lebrihi A., Germain P., Seguin E., Tillequin F., 2002. New dithiolopyrrolone antibiotics from *Saccharothrix* sp. SA 233. II. Physicochemical properties and structure elucidation. J. Antibiot. 2002, 55, 702–706.
 - Lai H.; Jiang, Y.; Saker, R.; Chen, X.; Bouras, N.; Klenk, H.P.; Wei, X.; Jiang, Y.; Sabaou, N., 2017. Reclassification of *Mzabimyces algeriensis* Saker et al. 2015 as *Halopolyspora algeriensis* comb. nov. Int. J. Syst. Evol. Microbiol. 2017, 67, 2787–2790.
 - Larpent, J., 1989. Biotechnologies des antibiotiques. paris :Masson.
 - Lechevalier, M. 1985. Biology of actinomycetes not belonging to genus *Streptomyces* In : Biology of industrial microorganisms. The benjamin Cumming Publishing Company, INC, 315-360.
 - Lechevalier M.P and Lechevalier H.A., 1970. Chemical composition as a criterion in the classification of aerobic actinomycetes. Int. J. Syst. Bacteriol. 20, 435-443.
 - Lechevalier M.P., De Bievre C., Lechevalier H.A. 1977. Chemotaxonomy of aerobic actinomycetes: phospholipid composition. BiochemSystEcol 5: 249-260.
 - Lechevalier M.P., 1981. Ecological association involving actinomycetes. In: Actinomy
 - cetes. Shaal and Pulverer (Eds.). Zbl Bakt Suppl 11: 159-166.
 - Lee S.D., 2006. *Amycolatopsis jejuensis* sp. nov. and *Amycolatopsis halotolerans* sp. nov., novel actinomycetes isolated from a natural cave Int. JSystEvol Microbiol 56:549-553.
 - Leulmi N., Sighel D., Defant A., Khenaka K., Boulahrouf A., Mancini I., 2019. Nigericin and grisorixin methyl ester from the Algerian soil-living *Streptomyces yousoufiensis* SF10 strain: A

- computational study on their epimeric structures and evaluation of gliobla stoma stem cells growth inhibition. *Nat. Prod. Res.* 2019,33,266–273.
- Leveau, J., 1993. *Microbiologie Industrielle*. Paris.
 - Ling, N., Xue, C., Huang, Q., Yang, X., Xu, Y., Shen, Q., 2010. Development of a mode of application of bioorganic fertilizer for improving the bio-control efficacy to *Fusarium* wilt. *Biocontrol* 55, 673-683.
 - Litchman H., Watson J., Ginsberg V., Pierce J.V., Stokstad E.L., Jukes T.H. 1949. Vitamin b 12 b some properties and its therapeutic use. *Experimental biology and Medecine.*,72(3), 643-645.
 - Loqman S., 2009. La lutte biologique contre la pourriture grise de la vigne : Isolement, caractérisation de souches de bactéries Actinomycètes antagonistes à partir des sols rhizosphériques de vignes saines sauvages d'origine marocaine. Thèse doc. Université de Réims Champagne - Adrenne Ecole Doctorale Sciences Exactes et Biologie.
 - Loucif L., Bendjama A., Gacemi-Kirane D., Rolain J.M., 2014 . Rapid identification of *Streptomyces* isolates by MALDI-TOFMS. *Microbiological Research* 169 (2014) 940–947.
 - Louden BC., Haarman D., Lynne AM. 2011. Utilisation du test CAS sur gélose bleue pour la détection des sidérophores. *Journal of microbiology*. 12(1), 51,2011.
 - Lorck H., 1948. Production d'acide cyanhydrique par les bactéries. *Physiologie plantaire*. Tome 1, 2.p. 142-146. Avril 1948.
 - Mameri N., Boudries N., Addour L., Belhocine D., Lounici H., Grib H. And Paus A., 1999 Batch Zinc Biosorption By A Bacterial non living *Streptomyces rimosus* biomass .*Wat. Res.*, pp. 1347-1354, 1999.
 - Manteca A., Sanchez J., 2009. *Streptomyces* Development in colonies and soil, *Applied and environmental Microbiology*, 75(9); 2920-2924.
 - Mobini-Dehkordi M and Fahime A.J. 2012. Application of alpha-amylase in biotechnology.
 - Mukesh, S. 2014. *Actinomycetes : Source, Identification, and Their Applications*.
 - *International Journal Current Microbiology and Applied Sciences*, 2(3), 801-832.
 - Medouni-Haroune L., Zaidi F., Medouni-Adrar S., Roussos S., Azzouz1S., Desseaux v.,Kecha M. 2017. Selective Isolation and Screening of Actinobacteria Strains Producing Lignocellulolytic Enzymes Using Olive Pomace as Substrate. *Iranian J Biotech*. 2017 January; 15(1):e1278.
 - Meklat A., sabaou N., Zitouni A., Mathieu F. et Lebrihi A. 2011. Isolation, Taxonomy and Antagonistic Properties of Halophilic Actinomycetes in Saharan Soils of algeria. *Applied and environmental microbiology*, sept. 2011, p. 6710-6714.
 - Meklat A., Bouras N., Zitouni A., Mathieu F., Lebrihi A., Schumann P., Sproer C., Klenk H.P., Sabaou N. 2013a .*Actinopolyspora saharensis* sp. nov., a novel halophilic actinomycete isolated from a Saharan soil of Algeria. *Antonie Leeuwenhoek* ,103, 771–776.
 - Meklat A, Bouras N., Mokrane S., Zitouni A., Djemouai N., Hans-Peter Klenk, Sabaou N. & Mathieu F. 2020. Isolation, Classification and Antagonistic Properties of Alkalitolerant Actinobacteria from Algerian Saharan Soils. *Geomicrobiology Journal*, 37:9, 826-836.
 - Meklat, A.; Bouras, N.; Mokrane, S.; Zitouni, A.; Schumann, P.; Spröer, C.; Klenk, H.P.; Sabaou, N. 2015. *Bounagaea algeriensis* gen. nov., sp. nov., an extremely halophilic actinobacterium isolated from a Saharan soil of Algeria.*Antonie Leeuwenhoek* 2015,108, 473–482.
 - Meklat A., Bouras N., Zitouni A., Mathieu F., Lebrihi A., Schumann P., Sproer C., Klenk H.P., Sabaou N. 2013b. *Actinopolyspora righensis* sp. nov., a novel halophilic actinomycete isolated from Saharan soil in Algeria. *Antonie Leeuwenhoek* 2013b,104, 301–307 b.
 - Merrouche R., Yekkour A., Lamari L., Zitouni A., Mathieu F., Sabaou N. 2017. Efficiency of *Saccharothrix algeriensis* NRRL B-24137 and its produced antifungal di-thiopyrrolones compounds to suppress *Fusarium oxysporum*-induced wilt disease occurring in some cultivated crops. *Arab. J. Sci. Eng.* 2017,42, 2321–2327.
 - Merrouche R., Bouras N., Coppel Y., Mathieu F., Monje M.C., Sabaou N., Lebrihi A. 2010. Dithiolo

- pyrrolone antibiotic formation induced by adding valeric acid to the culture broth of *Saccharothrix algeriensis*. J. Nat. Prod.2010,73, 1164–1166.
- Merrouche R., Bouras N., Coppel Y., Mathieu F., Sabaou N., Lebrihi A. 2011. New dithiolo pyrrolone antibiotics induced by adding sorbic acid to the culture medium of *Saccharothrix algeriensis* NRRL B-24137.FEMSMicrobiol. Lett.2011,318, 41–46.
 - Merrouche R., Yekkour A., Coppel Y., Bouras N., Lamari L., Zitouni A., Mathieu F., Lebrihi A., Sabaou N. 2019. Effective biosynthesis of benzoyl-pyrrothine dithiolo-pyrrolone antibiotic by cinnamic acid-precursor addition in culture of *Saccharothrix algeriensis* NRRL B-24137.Lett. Appl. Microbiol.2019,68, 165–172.
 - Minotto E, Pasqualini ML, Trindade OM and Van Der Sand ST., 2014. Enzyme characterization of endophytic actinobacteria isolated from tomato plants. Journal of Advanced Scientific Research. 5 (2): 16-23.
 - Miyashita K, Fujii T and Sawada Y.,1991 . Molecular cloning and characterization of chitinase genes from *Streptomyces lividans* 66.J. Gen. Microbiol., 137: 2065–2072.
 - Mobini-Dehkordi M and Fahime AJ . 2012. Application of alpha-amylase in biotechnology. Journal of Biology and today's world. pp: 39-50.
 - Mukherjee G and Sen SK.,2006 .Characterization and identification of chitinase producing *Streptomyces venezuelae*P10.Indian J. Exp. Biol.,42, 541–544.
 - Mukhtar S., Zaheer A., Aiysha D., Abdulla Malik K and Mehnaz S . 2017. Actinomycetes: A Source of Industrially Important Enzymes. J Proteomics Bioinform 10: 316-319.
 - Nabti E., Bensidhoum L., Tabli N., Dahel D., Weiss A., Rothballer M., Hartmann S. 2014.Growth stimulation of barley and biocontrol effect on plant pathogenic fungi by a *Cellulosimicrobium* sp. strain isolated from salt-affected rhizosphere soil in northwestern Algeria. Science directe, 20-26.
 - Nimnoi, P., Pongsilp, N., Lumyong, S., 2010. Endophytic actinomycetes isolated from *Aquilaria crassna* Pierre ex Lec and screening of plant growth promoters production. World J. Microbiol. Biotechnol. 26, 193203.
 - Novinscak U. et Filion M. 2018.Amélioration des rendements en lipides totaux et en acide stéaridonique chez *Buglossoides arvensis* grâce à l'inoculation de PGPR. journal de microbiologie appliquée 125(1), 203-215, 2018.
 - O'Gara F., Dowling D. N., Boesten B. 2008. Molecular Ecology of Rhizosphere Microorganisms: Biotechnology and the Release of GMOs. John Wiley & Sons: Weinheim. Pp: 192.
 - Opatokun SA, Kabbashi N, Alam MZ, Salihu A, Abass A andRuqayyah TLD.2011.Composting of food and yard wastes by locally isolated fungal strains. Afr J Biotechnol 10:18800–18806.
 - Oskay, M. 2004. Antibacterial activity of some actinomycètes isolated from farming of Turkey. African Journal of Bioechnology, 3(9), 441-446.
 - Oussadi M. et Kitouni M. 2015. Statistical optimisation of cultural conditions of an halophilic alpha-amylase production by halophilic *Streptomyces* sp. grown on orange waste powder. Biocatalysis and agricultural Biotechnology 4(4), 685-693, 2015.
 - Park, J.-T. S. 2002. Pathogenesis of *Streptoverticillium albireticuli* on caenorhabditis elegans and its antagonism to soil-borne fungal pathogens. Letters in Applied Microbiology, 361-365.
 - Patil, H.J., Srivastava, A.K., Kumar, S., Chaudhari, B.L., Arora, D.K., 2011. Selective isolation, evaluation and characterization of antagonistic actino-mycetes against *Rhizoctonia solani*. World J. Microbiol. Biotechnol. 26, 21632170.
 - Patke D and Dey S. 1998. Proteolytic activity from a thermophilic *Streptomyces megasporos* strain SDP4. Lett Appl Microbiol 26, 171.
 - Perez J, Munoz-Dorado J, de la Rubia T and Martinez J. 2002. Biodegradation and biological treatments of cellulose, hemicellulose. IntMicrobiol 5:53–63.
 - Perry J.J., Staley J.T., et Lory S. 2004. Microbiologie. Paris, Dunod. Pp 497 - 498.
 - Pillmoor J.B. 1998. Carbocyclic coformycin : a case study of the opportunities and pitfalls in the

- industrial research for new agrochemicals from nature. *Journal of pesticide Science*, 52(1), 75-80.
- Pikovskaya R.I., 1948. Mobilisation of phosphorus in soil connection with species . *Microbiology*,17: 362-370.
 - Prakash A., 2012. *Microorganisms in Environmental Management* springer.
 - Prescott L., 2003. *Microbiologie* (éd. 2^{ème}). Bruxelles :Boeck.
 - Prescott L., 2007. *Microbiologie*. LaBoeck.
 - Prescott L., 2010. *Microbiologie* (éd. 2^{ème}). DeBoeck.
 - Priyanka S.B., 2019. Isolation, Purification and Characterization of Pectinase Enzyme from *Streptomyces thermocarboxydus*. *JBB MS* 1(5).1-6.
 - Rachedi K., Zermane F., Tir R., Ayache F., Durane R., Lauga B., Karama S., Simon M., Boulahrouf A. 2018. Effect of sulfonyleurea tribenuron methyl herbicide on soil Actinobacteria growth and characterization of resistant strains. *Brazilian journal of microbiology* 49(2018)79–86.
 - RathnanR.K ., Ambili M. 2011.Cellulase Enzyme Production by *Streptomyces Sp* Using Fruit Waste as Substrate. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* 5(12): 1114–1118.
 - Raval K.M., Vasawani P.S., Mujumder D.R. 2012. Biotransformation of a single amino-acid L-tyrosine into a bioactive molecule L-Dopa. *International Journal of scientific and research*.
 - Ravi Ranjan K.,Vasantba J., Bhoomi M., Bonisha T., Bhumika C. 2015. Antibacterial
 - Potentials of Actinomycetes Isolated from Gujarat. *Int Journal Pharm Sci Rev Res* 30(15) :78-83.
 - Ravikumar, S.; Fredimoses, M.; Gnanadesigan, M.,2012. Anticancer property of sediment actinomycetes againstMCF-7 and MDA-MB-231 cell lines. *Asian Pac. J. Trop. Biomed.*2012, 2, 92–96.
 - Rheimes H., Felske A., Seufert S., and Stackbrandt S.,1999. Molecular monitoring of an uncultured group of the class of *Actinobacteria* in two terrestrial environements. *Journal of Microbiology Methods*, 36(1-2), 65-75.
 - Rickes E.L., Brink N.G, koniuszy F.R., Wood T.R., Folkers K., 1948 .Cristalline vitamine B 12. *Science*, 107 (2781),396-397.
 - Ronald, M Atlas. , 2010. *Handbook of MICROBIOLOGICAL MEDIA* Fourth Edition, Taylor and Francis Group. Yt P: 349.
 - Roberts, W.K., et Selitrennikoff, C.P., 1988. Plant and bacterial chitinases differ in antifungal activity. *J Gen Microbiol.*134: 169–176.
 - Roy S., Das I ., Munjal M., Karthink I., Kumar G., Kumar S.,Rao R.V.B. 2014.Isolation and characterization of tyrosinase produced by marine anterobactéria and its application in the removal of phenol from aqueous environment *Front. Biol.*9(4): 306-316.
 - Rugthaworn, P.; Dilokkunanant, U.; Sangchote, S.; Piadang, N.; Kitpreechavanich, V. , 2007. A search and improvement of actinomycete strains for biological control of plant pathogens. *Kasetsart J.*, 41: 248–254.
 - Sabaou, N., Boudjella, H., Bennadji, A., Lamari, A.L., Bennadji, H., 1998. Les sols des oasis du Sahara alge rien sources d'actinomyce`tes rares produc-teurs d'antibiotiques. *Sechresse* 9, 4753.
 - Sabaou N., Amir H., and Raunaga D., 1990,. Le palmier dattier et la fusariose. X. Denombrement des actinomcetes de la rhizosphere. Leur antagonisme vis à vis du *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis*. *Anal of Phytopathology*, 12, 253-257.
 - Sabaou, N., Hacene, H., Bennadji, A., Bennadji, H., Bounaga, N., 1992. Distribution quantitative et qualitative des actinomycetes dans les horizons des sols de surface et profonds d'une palmeraie algérienne. *Can. J. Microbiol.* 38, 10661073.
 - Sadeghi, A., Hessian, A.R., Askari, H., Aghighi, S., Shahidi-Bonjar, G.H., 2006. Biological control potential of two *Streptomyces* isolates on *Rhizoctonia solani*, the causal agent of damping-off of sugar beet. *Pak. J. Biol. Sci.* 9, 904910.

- Sanglier, J., 1993. Novel bioactive compounds from actinomycetes :a short review (1988- 1992). Res Microbiol., 633-642.
- Saker R., Bouras N., Meklat A., Zitouni A., Schumann P., Spröer C., Klenk H.P., Sabaou N. 2015. *Actinopolyspora biskrensis* sp. nov., a novel halophilic actinomycete isolated from Northern Sahara. Curr. Microbiol.2015,70,423–428.
- Saker R., 2015. Recherche de nouveaux taxons d’actinobactéries halophiles des sols sahariens et potentialités antagonistes. Thèse de doctorat, Université Ferhat Abbas, Sétif, 14p.
- Saker, R., Bouras, N., Zitouni, A., Ghoul, M., Rohde, M., Schumann, P., 2014. *Mzabimyces algeriensis* Gen. nov., sp. nov., a halophilic filamen-tous actinobacterium isolated from a Saharan soil, and proposal of Mzabimycetaceae Fam. nov. Anton. Van Leeuw. 106 (5), 1021-1030.
- Saha S., Dhanasekaran D., Shanmugapriya S., Latha S., 2013. *Nocardiosis sp.* SD5: a potent feather degrading rare actinobacterium isolated from feather waste in Tamil Nadu, India. Journal of basic Microbiology, 53(7), 608-616.
- Sahmoune M., 2018. Performance of *Streptomyces rimosus* biomass in biosorption of heavy metals from aqueous solutions. Microchemical Journal. MICROC 3157.
- Saidi S., Cherif-Silini H., Chenari B., Bouket AC., Silini A. 2021. Amélioration de la productivité des cultures de *Medicago sativa* par la co-inoculation de -Actinobactéries sous stress salin. Springer. Microbiologie actuelle 78 (4), 1344-1357.
- Saini P., Gangwar M. , Kalia A. , Singh N and Narang D. 2016. Isolation of endophytic actinomycetes from *Syzygium cumini* and their antimicrobial activity against human pathogens. Journal of Applied and Natural Science 8 (1): 416 – 422.
- Sanglier, J.,1993,. Novel bioactive compounds from actinomycetes : à short review (1988-1992). Res Microbiol., 633-642.
- Saoudi B., Habbeche A. , Kerouaz B., Haberra S., BenRomdhane Z., Tichati L., , Boudela M., Belghith H., Gargouri A., Ladjama A. 2015. Purification and characterization of a new thermo alkaliphilic pectate lyase from *Actinomadura keratinilytica* Cpt20. Process Biochemistry (2015).
- Syed DG, Agasar D and Pandey A .,2009. Production and partial purification of α -amylase from a novel isolate *Streptomyces gulbargensis* . Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology, vol. 36,no.2, pp.189–194.
- Schwyn, B., et J. B. Neilands., 1987. Universal chemical assay for the detection and determination of siderophores. Analytical Biochem. 160 :47–56.
- Scherr N., and Nguyen L., 2009. *Mycobacterium* versus *Streptomyces* we are different, we are the same. Current opinion in microbiology, 12(6), 699-707.
- Sibanda, T. A., 2010. Antibiotic Producing Potentials of Three Freshwater Actinomycetes Isolated from the Eastern Cape Province of South Africa. Int J Mol Sci. (7), 2612–2623.
- Sierra G., 1957. A Simple method for the detection of lipolytic activity of microorganisms and some observations on the influence of the contact between cells and fatty substrates. Antonie Van Leeuwenhoek 23:15-22.
- Schmidt, C.; Shubert, N.A.; Brabetz, S.; Mack, N.; Schwalm, B.; Chan, J.A.; Selt, F.; Herold-Mend, C.; Witt, O.;Milde, T.; 2017. Preclinical drug screen reveals topotecan, actinomycin D, and volasertib as potential new therapeutic candidates for ETMR brain tumor patients.Neuro Oncol.2017,19, 1607–1617.
- Schwyn B. et Neilands JB. 1987. Test CAS universel pour la détection et la détermination des sidérophores. Février 1987. Biochimie analytique 160(1), 47-56. PubMed.
- Selatnia A., Boukazoula A., Kechid N., Bakhti M.Z., Chergui A.,2003. Biosorption of Fe³⁺from aqueous solution by a bacterial dead *Streptomyces rimosus* biomass. Process Biochemistry 39 (2003) 1643–1651.
- Selatnia A., Boukazoula A., Kechid N., Bakhti M.Z., Chergui A., Kerchicy.,2004a . Biosorption of lead (II) from aqueous solution by a bacterial dead *Streptomyces rimosus* biomass. Biochemical

- Engineering Journal 19 (2004a) 127–135.
- Selatnia A., Madani A., Bakhti M.Z., Kertous L., Mansouri Y., Yous R., 2004. Biosorption of Ni²⁺ from aqueous solution by a NaOH-treated bacterial dead *Streptomyces rimosus* biomass. Minerals Engineering 17 (2004 b) 903–911.
 - Shirling and Gottlieb, E., 1966,. Methods for Characterisation of *Streptomyces* Species. International journal of systemic and evolutionary microbiology(3), 313-340.
 - Smati M. et Kitouni m., 2019. Diversity of actinobacteria in the marshes of Ezzemoul and Djendli in northeastern Algeria. EJE 2019, 5(2): 41-53.
 - Sneath, P., 1989. Numerical taxonomy. In : Bergey's Manual of systematic Bacteriology, Williams S.T., Sharpe M.E. and Holt J.G. (Eds.). 4, 2303-2305.
 - Sugumaran P. and Janarthnam B. 2007. Solubilisation of potassium containing minerals by bacteria and their effect on plant growth. World journal of agricultural sciences, 3, 350-355.
 - Sommer P., 1997. Genetic and biochemical characterization of a new extracellular lipase from *Streptomyces cinnamomeus*. Appl. Environ. Microbiol (9), 3553-3560.
 - Srividya, S., Thapa, A., Bhat, V.D., Golmei, K., Dey, N., 2012. *Streptomyces* sp. 9p as effective biocontrol against chilli soil borne fungal phytopathogens. Eur. J. Exp. Biol. 2, 163173.
 - Spadaro D., Garibaldi A., Gullino M.L., 2004. Control of *Penicillium expansum* and *Botrytis cinerea* on apple combining a biocontrol agent with hot water dipping and acibenzolar-S-methyl, baking soda, or ethanol application. Postharvest. Biol. Technol. 33, 141-151.
 - Stackebrandt, E.-R., 1997.. Proposal for a new hierarchic classification system. Actinobacteria classis Nov. Int. J. Syst. Evol, 47(2), 479–491.
 - Stackebrandt E., and Woese C.R., 1981. The evolution of prokaryotes. Symposiya of the society for general Microbiology, 32, 1-31.
 - Stamford TL, Stamford NP, Coelho LC, Araujo JM., 2002. Production and characterization of a thermostable glucoamylase from *Streptosporangium* endophyte of maize leaves, Bioresour Technol 83:105–109.
 - 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.
 - Taechowisan T, Peberdy JF and Lumyong S., 2003. Chitinase production by endophytic *Streptomyces aureofaciens* CMUAc130 and its antagonism against phytopathogenic fungi. Ann Microbiol 53, 447–461.
 - Tanaka, Y., 1990. Metabolism and products of Actinomycetes - An introduction (Vol. 4).
 - Tassist A., Lounici H., Abdi N., Mameri N., 2010. Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies on aluminum biosorption by mycelial biomass (*Streptomyces rimosus*). Journal of Hazardous Materials 183 (2010) 35–43.
 - Tatsinkoufossi B., Tavea F., Ndjouenkeu R. 2005. Production and Partial Characterization of Thermostable Alpha Amylase from Ascomycete Yeast Strain Isolated from Starchy Soil. Afr Journal Biotechnol. 14–18.
 - Theilleux T., 1993. Les actinomycètes in Microbiologie industrielle : Les microorganismes d'intérêt. (A. Leveau. J.Y et Mouix. M. Lavoisier Tech et Doc, Éd.).
 - Thiagarajan V, Revathia R, Aparanjini K, Sivamanic P, Girilala M, Priyad CS and Kalaichelvan PT., 2011. Extracellular chitinase production by *Streptomyces* sp. PTK19 in submerged fermentation and its lytic activity on *Fusarium oxysporum* PTK2 cell wall. Int. J. Curr. Sci. 1. pp:30-44.
 - Tighidet S., 2011. Caractérisation d'antifongiques non polyéniques produits par des souches d'actinomycètes et essai d'optimisation de leurs milieux de production. Mémoire de Magister, Université Abderrahmane Mira Bejaia, Pp. 3-7.
 - Toumatia O., Compant S., Yekkour A., Goudjal Y., Sabaou N., Mathieu F., Coppel, Y. , 2018. Biocontrol and plant growth promoting properties of *Streptomyces mutabilis* strain IA1, isolated

- from a Saharan soil from wheat seedlings and visualization in its niches of colonization S. Afr. J. Biot. 105, 234–239.
- Toumatia O., Yekkour A., Goudjal Y., Riba A., Coppel Y., Mathieu F., Sabaou N., Zitouni A., 2016. Antifungal properties of an actinomycete in D-producing strain *Streptomyces* sp. IA1, isolated from a Saharan soil. J. Bas. Microbiol. 55, 221–228.
 - Tortora FC., (2003). Introduction à la microbiologie. Canada. 2eme édition. P : 332.
 - Tuomela M., Vikman M., Hatakka A., Itävaara M., 2000. Biodegradation of lignin in a compost environment: a review. Bioresource Technology, 72(2): 169-183.
 - Tsujibo, H., Okami, Y., Tanno, H., Inamori, Y. 2003. Cloning, sequence and expression of a chitinase gene from a marine bacterium, *Alteromonas* sp. strain O-7. Journal of Bacteriology: 175-181.
 - Uyeda, M., 2004. Metabolites produced by actinomycetes-antiviral antibiotics and enzyme inhibitors. Yakugaku Zasshi, 469-479.
 - Valois, D., 1996. Glucanolytic actinomycetes antagonistic to *Phytophthora fragariae* var. rubis, the causal agent Microbiol (62) 5.
 - Vessey, J. K., 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. Plant and soil 255(2): 571.
 - Viswanathan K., Jeyanthi Rebecca L., Arumugam P., Anbarasu K. 2015. Isolation and screening of protease producing marine Actinomycetes from Chennai coastal region. Int J Adv Res Biol Sci 2(8): 153–157.
 - Volesky B., 2001. Detoxification of metal-bearing effluents: biosorption for the next century, Hydrometallurgy, 59(2001) 203–216.
 - Vonothini G, Murigan M, Sivakumar K and Sudha S., 2008. Optimization of protease production by an actinomycete strain, PS-18A isolated from an estuarine shrimp pond. Afr J Biotechnol 7: 3225-3230.
 - Vujaklija D, Schroder W and Abramic M., 2002.. A novel Streptomyces lipase: cloning, sequencing and high-level expression of the *Streptomyces rimosus* GDS (L)-lipase gene. Arch. Microbiol. 178(2), 124–30.
 - Wang, L., 2006. *Streptacidiphilus oryzae* sp. Nov. An actinomycete isolated from rice field soil in Thailand. J. Sys. Ev. Microbiol, 1257-1261.
 - Wang L., Huang Y., Liu Z., Goodfellow M. Rodriguez C., 2006. *Streptacidiphilus soryzae* .nov., an actinomycete isolated from rice-field soil in Thailand. Int Journal Sys Ev Microbiol 56:1257-1261.
 - Whaley DN., Dowell Jr VR., Wanderlinder LM., Lombard GL., 1982. Milieu gélosé pour la détection de la production de gélatinase par les bactéries aérobies. Journal de microbiologie clinique 15 (2), 224-229, 1982.
 - Winding A., Binnerup S. J., Pritchard H., 2004. Non-target effects of bacterial biological control agents suppressing root pathogenic fungi. FEMS Microbiol. Ecol. 47, 129- 141.
 - Williams, S., 1982. Actinomycetes In Eds. Page A.L., Miller R.H., Keency O.R ; Methods of Soil Analysis, part 2, Chemical and Microbiological Properties, second ed. American. Society of Agronomy Soil Science Society of America, Madison, 969-987.
 - Williams ST. et Cross T., 1971. Actinomycetes. Dans: Booth, C. Eds., Methods in Microbiology, Academic Press, Londres.
 - Woo, J.H., Kamei, Y., 2003. Antifungal mechanism of an anti-pythium protein (SAP) from the marine bacterium *Streptomyces* sp. strain AP77 is specific for *P. porphyrae*, a causative agent of red rot disease in *Porphyra* spp. Appl. Microbiol. Biotechnol. 62, 407-413.
 - Yandigeri, M.S., Malviya, N., Solanki, M.K., Shrivastava, P., Sivakumar, G., 2015. Chitinolytic *Streptomyces vinaceus* drappus S5MW2 isolated from Chilika lake, India enhances plant-growth and biocontrol efficacy through chitin supplementation against *Rhizoctonia solani*. World J. Microbiol. Biotechnol. 31 (8), 12171225.

- Yang, J., Kloepper, J.W., Ryu, C.M., 2009. Rhizosphere bacteria help plants tolerate abiotic stress. *Trends Plant. Sci.* 14, 14
- Yeddou N., Bensmaili A., 2006. Equilibrium and kinetic modelling of methylene blue biosorption by pretreated dead *Streptomyces rimosus*: Effect of temperature. *Chemical Engineering Journal* 119 (2006) 121–125.
- Yekkour A., Meklat A., Bijani C., Toumatia O., Errakhi R., Lebrihi A., Mathieu F., Zitouni A., Sabaou N. 2015. A novel hydroxamic acid-containing antibiotic produced by a Saharan soil-living *Streptomyces* strain. *Lett. Appl. Microbiol.* 2015, 60, 589–596.
- Yilma, S.-S. B., 2008. Large-conductance cholesterol-amphotericine B channels in reconstituted lipid bilayers. *Biosensors Bioelectron.*, 1359-1367.
- Zaima Azira Zainal Abidin, Nurfathiah Abdul Malek, 2020. *Bioprospect Book -2020 - 106 Review: Actinomycetes Diversity and Biosynthetic Capabilities of East Coast of Peninsular Malaysia Coastal water* p 68-75.
- Zaitlin B., Watson S.B., 2006. Actinomycetes in relation to taste and odour in drinking water: Myths, tenets and truths. *Water Res* 40(9) : 1741–1753.
- Zamoum, M., Goudjal, Y., Sabaou, N., Mathieu, F., Zitouni, A., 2017. Development of formulations based on *Streptomyces rochei* strain PTL2 spores for biocontrol of *Rhizoctonia solani* damping-off of tomato seedlings. *Biocontrol Sci. Technol.* 27, 723–738.
- Zamoum, M., Goudjal, Y., Sabaou, N., Barakate, M., Mathieu, F., Zitouni, A., 2015. Biocontrol capacities and plant growth-promoting traits of endo-phytic actinobacteria isolated from native plants of Algerian Sahara. *J. Plant Dis. Prot.* 122, 215223.
- Zhi X.Y., Li W.J., Stackebrandt E. 2009. An update of the structure and 16S rRNA gene sequence-based definition of higher ranks of the class Actinobacteria, with the proposal of two new suborders and four new families and emended descriptions of the existing higher taxa. *Int J Syst Evol Microbiol* 59(3): 589–608.
- Zhou X, Huang J, Ou Z, Wang H and Wang R., 2000. Conditions of enzyme production and properties of alkaline lipase by *Streptomyces Z94-2*. *Wei Sheng Wu Xue*.
- Zhou, H.M.; Dong, T.T.; Feng, L.L.; Feng, B.; Zhao, H.C.; Fan, X.K.; Zheng, M.H. 2012. Suppression of colorectal cancer metastasis by nigericin through inhibition of epithelial-mesenchymal transition. *World J. Gastroenterol*, 18: 2640–2648.
- Zinedine, A., 2004. Détermination des mycotoxines dans les aliments et étude de la réduction des aflatoxines par les bactéries lactiques isolées des ferments panaires traditionnels. Thèse de Doctorat en Microbiologie. Université Sidi Mohammed Ben Abdellah, Maroc.
- Zitouni A., Lamari L., Boudjella H., Badji B., Sabaou N., Gaouar A., Mathieu F., Lebrihi A., Labeda D.P. 2004. *Saccharothrix algeriensis* sp. nov., isolated from Saharan soil. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol*, 54: 1377–1381.
- Zitouni A., Boudjella H., Lamari L., Badji B., Mathieu F., Lebrihi A., Sabaou N., 2005. *Nocardopsis* and *Saccharothrix* genera in Saharan soils in Algeria: Isolation, biological activities and partial characterization of antibiotics. *Res. Microbiol*, 156: 984–993.

Annexes

Annexe 1 : Milieux de culture

- **Milieu ISP 2**

Extrait de levure	4g
Extrait de malt	10g
D-Glucose	4g
Agar	18g
Eau distillée qsp	1000 ml
pH 7,2	
- **Milieu ISP 4**

Amidon soluble	10g
K ₂ HPO ₄	1g
MgSO ₄ .7H ₂ O	1g
NaCl	1g
(NH ₄) ₂ SO ₄	1g
CaCO ₃	2g
Solution saline	1ml
Eau distillée qsp	1000 ml
pH 7,0 - 7,4	
- **Milieu ISP2 additionnée de glycine**

Extrait de levure	4g
Extrait de malt	10g
D-Glucose	4g
Glycine	15g
Agar	18g
Eau distillée qsp	1000 ml
pH 7,2	
- **Milieu de Pikovskaya (PVK)**

Glucose	10g
Ca ₃ (PO ₄) ₂	5g
(NH ₄) ₂ SO ₄	0.5g
NaCl	0.2g
MgSO ₄ .7H ₂ O	0.1g
KCl	0.2g
Extrait de levure	0.5g
MnSO ₄ . H ₂ O	0.002g
FeSO ₄ .7H ₂ O	0.002g
Eau distillée qsp	1000 ml
pH 7.2	
- **Milieu Alexandrov**

Glucose	5g
MgSO ₄ .7H ₂ O	0.5g
CaCO ₃	0.1g
FeCl ₃	0.006g
Ca ₃ (PO ₄) ₂	2g
Eau distillée qsp	1000 ml
pH 7.2	
- **Milieu SMA**

Skim milk agar	28g
Hydrolysate de caséine	5g

Extrait de levure	2.5g
Dextrose	1g
Agar	15g
Eau distillée qsp	1000 ml
	pH 7,2

- **Milieu nutritif de Sierra**

Peptone	10g
CaCl ₂	0.1g
NaCl	5g
Tween 20	10 ml
Agar	15g
Eau distillée qsp l	1000ml
	pH 7.2

- **Milieu gélose nutritive additionné au CMC**

KH ₂ PO ₄	0.7g
K ₂ HPO ₄	0.3g
MgSO ₄	0.25g
Extrait de levure	0.2g
CMC	2g
Gélatine	2g
Eau distillée qsp	1000 ml
	pH 7,0 - 7,4

- **Milieux gélose nutritive additionné d'amidon**

Amidon soluble	10g
Extrait de viande	1g
Extrait de levure	2.5g
Peptone	5g
NaCl	5g
Agar	15g
Eau distillée qsp	1000 ml
	pH 7,2

-

- **Milieu TSA additionné de pectine**

Peptone de caséine	15g
Peptone de soja	5g
NaCl	5g
Pectine	5g
Agar	15g
Eau distillée qsp	1000 ml
	pH 7,2

- **Milieu nutritif gélosé additionné 1% de gélatine**

Peptone	5g
Extrait de bœuf	3g
Gélatine	4g
Agar	15g

Eau distillée qsp 1000 ml
pH = 7,2

- **Milieu gélosé à la tyrosine**

Peptone 5g
Extrait de viande 3g
L-tyrosine 5g
Agar 20g
Eau distillée qsp 1000 ml
pH = 7,2

- **Milieu gélosé à la chitine (CH-v)**

Chitine 2g
K₂HPO₄ 0.35g
MgSO₄·7H₂O 0.2g
KH₂PO₄ 0.15g
NaCl 0.3g
CaCO₃ 0.02g
FeSO₄·7H₂O 10mg
ZnSO₄·7H₂O 1mg
MnCl₂·4H₂O 1mg
Agar 18g
Eau distillée qsp 1000 ml
pH 7.2

Vitamines : thiamine-HCl, riboflavine, niacine,
pyridoxine-HCl, inositol, panthoténate de calcium
à raison de 0.5 mg/l et biotine: 0.25 mg/l.

- **Milieu de Christensen**

Urée 20g
NaCl 5g
Peptone 1g
Glucose 1g
KH₂PO₄ 2g
Rouge phénol 0.012g
Agar 15g
Eau distillée qsp 1000 ml
pH = 6.5

- **Chrome Azurol Sulfate (CAS)**

1. Préparation du colorant :

Solution 1 : CAS (flukaChemicals) 0.06 g dans 50 ml d'eau distillée

Solution 2 : FeCl₂·6H₂O 0.0027 g dans 10 ml de 10mM HCl

Solution 3 : HDTMA 0.073 g dans 40 ml d'eau distillée

– Mélanger la solution 1 avec 9 ml de solution 2.

– Puis mélanger avec la solution 3.

La solution devrait maintenant être d'une couleur bleue. Cette solution doit être autoclavée et stockée dans un récipient en plastique. Avec:

2. préparation des solutions mixtes:

– milieu minimale 9(MM9) solution stock salée : KH₂(15g), NaCl (25g),
NH₄Cl (50g) dans 500 ml d'eau distillée

- Solution stock glucose 20% : Glucose 20 g dans 100 ml d'eau distillée.
 - Solution stock NaOH : NaOH 25 g dans 150 ml d'eau distillée pH~12
 - Solution des acides casamino: acides casamino 3 g dans 27 ml d'eau distillée et stérilisée avec microfiltre
3. Préparation du milieu CAS agar:
- Ajouter 100 ml de MM9 a 750 ml d'eau distillée .
 - Ajouter piperazine-n,N'-bis (2-ethanesulfonic acid) PIPES (32,24 g) ajuster le pH avec la solution NaOH(pH doit amené à 6.8)
 - Ajouter l'agar 15 g
 - Autoclavé et laissé refroidir à 50°C
 - Ajouter 30 ml de la solution stérile des acides casamino et 10 ml de la solution à 20 % de glucose. Puis ajouter 100 ml de la solution CAS bleu sur la paroi de la bouteille avec agitation
 - Verser aseptiquement les boites de Petri (louden et al., 2011)

- **Dworkin et Foster (DF)**

ACC	3mM
KH ₂ PO ₄	4g
Na ₂ HPO ₄	6g
MgSO ₄ .7H ₂ O	2g
Glucose	2g
Acide gluconique	2g
Acide citrique	2g
FeSO ₄ .7H ₂ O	1mg
H ₃ BO ₃	10mg
MnSO ₄ .H ₂ O	11.19mg
ZnSO ₄ .7H ₂ O	124,6 mg
CuSO ₄ .5H ₂ O	78,22 mg
MoO ₃	10 mg
Eau distillée qsp	1000ml
	pH 7,2

- **Milieu DF additionné de (NH₄)₂SO₄**

(NH ₄) ₂ SO ₄	3mM
KH ₂ PO ₄	4g
Na ₂ HPO ₄	6g
MgSO ₄ .7H ₂ O	2g
Glucose	2g
Acide gluconique	2g
Acide citrique	2g
FeSO ₄ .7H ₂ O	1mg
H ₃ BO ₃	10mg
MnSO ₄ .H ₂ O	11.19mg
ZnSO ₄ .7H ₂ O	124,6 mg
CuSO ₄ .5H ₂ O	78,22 mg
MoO ₃	10 mg
Eau distillée qsp	1000ml
	pH 7,2

- **Eau peptonée**

Peptone	10g
NaCl	5g
Eau distillée qsp	1000ml

N.B. l'ajustement du pH des milieux de cultures s'effectue à l'aide d'une solution de NaOH ou d'une solution d'HCL.

Annexe 2 : Solutions et réactifs

- **Solution saline**

CuSO ₄ ,5H ₂ O	0.64g
FeSO ₄ ,7H ₂ O	0.11g
MnCl ₂ ,4H ₂ O	0.79g
ZnSO ₄ ,7H ₂ O	0.15g
Eaudistillée	1000ml

- **Réactif de Nessler**

Peptone	10g
HgCl ₂	10g
KI	7g
NaOH	16g
Eau distillée qsp	100ml

pH13.2±0.05

- **Solution de rouge Congo 1%**

Rouge Congo	0.1g
Eau distillée qsp	100ml

- **Solution de lugol 0,1%**

Iodure de potassium	2g
Iode métalloïde I ₂	1g
Eau distillée qsp	100ml

- **Solution de chlorure de mercure**

HgCl ₂	15g
HClconcentré	20ml
Eau distillée qsp	100ml