



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

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



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

جامعة الإخوة منتوري قسنطينة 1
كلية علوم الطبيعة والحياة

Département : Microbiologie

قسم : الميكروبيولوجيا

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

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Écologie et Environnement

Spécialité : Écologie microbienne

Intitulé :

Production de l'AIA par une souche actinobactérienne rhizosphérique appartenant à l'espèce *Nocardioopsis dassonvillei*

Préparé par : BOUZRAIB KENZA

BELKHALFA LINA

FILALI NORA

Le : 22/09/2021

Jury d'évaluation :

Président du jury : KITOUNI M. (Prof - UFM Constantine1).

Rapporteur : OULMI L. (MCB - UFM Constantine1).

Examineurs : CHABBI R. (MAA - UFM Constantine1).

*Année universitaire
2020- 2021*

Remerciements

Nous tenons à remercier notre chère encadreuse Mme Oulmi Lamia pour avoir accepté la responsabilité de ce travail et pour sa gentillesse, ses encouragements, ses orientations, pour ses aides, sa patience, ses conseils et sa compétence qui nous ont permis de bien mener ce modeste travail.

Nous remercions très vivement, le professeur Monsieur Kitouni Mahmoud qui nous a fait l'honneur de présider notre jury.

Nous remercions s'adressent également Monsieur CHABBI d'avoir accepté d'examiner ce travail.

DEDICACES

En termes d'amour et de fidélité, je dédie ce mémoire,

A ma très chère mère Salima

Tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, La source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et prier pour moi.

Ta prière et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études. Que Dieu te préserve et te garde pour moi.

A mon très cher papa Salim

Aucune dédicace ne saurait exprimer réellement mon profond amour, mon respect et l'estime que j'ai pour vous. Que Dieu vous protège.

A mon très cher frère Yassine, et ma très chère sœur Moufida et ma petite sœur Aya.

A tous mes oncles, tantes, cousins et cousines sur tout: Randa et Bibia.

A tous mes amies intimes: Inas, Zahra, Karima, Kenza et Boutheina.

A mon binôme Nora et Lina.

Kenza

Dédicace

Je dédie ce mémoire

A mon cher père Bachir et ma chère mère Fadhila pour tous leurs sacrifices, leurs amour, leur tendresse, leurs soutien et leurs prières tout au long de mes études.

A ma chère sœur Lamia, pour ses encouragements permanents et son soutien moral tout au long de mon parcours universitaire.

A ma chère sœur Ilham et ses filles Ghofran et Rimas et son petit-fils Djad.

A mes chères binômes Kenza et Lina.

A mes chères amis Ines, Karima, Bouthaina, Kenza et zahra.

A tous mes collègues de la promotion d'Écologie microbienne 2021.

A tous ceux que j'aime.

Nous remercions la doctorante Sara Ghozlane pour son aide, ses précieux conseils et sa patience avec nous tout à long de ce stage.

Nora

Dédicaces

À mes chers parents

qui m'ont transmis le désir d'apprendre et m'ont toujours accompagné tout au long de mes études avec leur amour, leurs encouragements, en hommage à tous les sacrifices que vous avez consenti pour moi. Je vous remercie d'avoir fait de moi ce que je suis.

Aucune dédicace, aucun mot, ne saurait exprimer réellement mon profond amour, mon respect et ma vive gratitude.

Veillez trouver dans ce travail le fruit de toutes vos espérances et vos Sacrifices.

À mes très chers frères, la femme de mon frère et mon petit neveu « **Ayoub** ».

À toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire.

À toute la famille de maman « **Douas** », mon grand-père et ma grand-mère.

Pour ma très chère amis **Nada** un grand merci pour votre fidélité. Je te souhaite une belle vie.

Lina

Résumé

Notre étude a été réalisée sur une souche actinomycétale de la collection du laboratoire de génie microbiologique et application. La souche a été assignée à l'espèce *Nocardiopsis dassonvillei*. L'objectif du travail a été l'étude des caractères morphologique et culturaux de la bactérie et le test de la production de l'acide indole acétique (AIA) qui stimule la croissance des plantes.

Sur les milieux de culture utilisés, ISP5, ISP7, Glucose Asparagine et DSMZ65, la souche a montré un bon développement. Le milieu DSMZ65 a été le meilleur pour une bonne croissance et une bonne sporulation. Sur le milieu ISP7, la bactérie n'a produit aucun pigment mélanoïde. L'examen microscopique au grossissement $\times 100$ a permis de montrer le bon développement mycélien des colonies sur les quatre milieux gélosé et de déterminer grâce à la technique des lamelles la structure microscopique du mycélium du substrat et aérien après 7, 14 et 21 jours d'incubation à 30 °C. En effet la souche présente de longs filaments, ramifiés, plus ou moins enchevêtrés.

La souche a montré une capacité à synthétiser l'hormone végétale l'AIA à différentes conditions physico-chimique (pH, température, NaCl et la taille d'inoculum). La préparation des milieux de fermentation a été à différentes concentration de NaCl (5 et 10 %) et à différentes valeurs de pH (7.5 et 9). Nous avons également fait varier la taille de l'inoculum (1 et 2%) et les températures d'incubation (30 °C et 40 °C). Le dosage de l'AIA a été après 4 jours d'incubation puis 8 jours d'incubation. La mise en évidence de la production de l'AIA est basée sur la filtration des suspensions bactériennes et la réaction de Salkowski. L'apparition de la couleur rose indique la production de l'AIA, et la mesure de la concentration a été réalisée par un spectrophotomètre. Cette étude nous a permis de conclure que le 4^{ème} jours d'incubation est le plus favorable pour la production d'AIA, et les valeurs des facteurs physico-chimique sélectionnés pH : 9, température : 40 °C, NaCl : 5% et taille d'inoculum : 2% sont les meilleures conditions de culture pour la production d'AIA chez cette souche actinomycétale.

Mots clés :

Actinomycètes, *Nocardiopsis dassonvillei*, les phytohormones, Acide indole acétique.

Abstract

Our study was conducted on an actinomycetal strain from the collection of the microbiological engineering and application laboratory. The strain has been assigned to the species *Nocardiopsis dassonvillei*. The aim of the work was to study the morphological and cultural characteristics of the bacteria and to test the production of indole acetic acid (AIA) that stimulates plant growth.

On the culture media used, ISP5, ISP7, Glucose Asparagine and DSMZ65, the strain showed a good development. DSMZ65 medium was the best for a good growth and sporulation. On ISP7 medium, the bacteria did not produce any melanoid pigment. Microscopic examination at $\times 100$ magnification made it possible to show the good mycelial development of the colonies on the four agar media and to determine, using the coverslip technique, the microscopic structure of the substrate and aerial mycelium after 7, 14 and 21 days of incubation at 30°C . In fact, the strain has long, branched, more or less entangled filaments.

The strain showed an ability to synthesize plant hormone IAA under different physicochemical conditions (pH, temperature, NaCl and inoculum size). The preparation of the fermentation media was at different NaCl concentrations (5 and 10%) and at different pH values (7.5 and 9). We also varied the inoculum size (1 and 2%) and incubation temperatures (30°C and 40°C). The AIA assay was after 4 days of incubation and then 8 days of incubation. The demonstration of AIA production is based on the filtration of bacterial suspensions and the Salkowski reaction. The appearance of the pink color indicates the production of AIA, and the concentration measurement was actualized by a spectrophotometer. We can conclude from this study that the 4th day of incubation is the most favorable for the production of AIA, and the values of the physicochemical factors selected pH: 9, temperature: 40°C , NaCl: 5% and inoculum size: 2% are the best culture conditions for the production of IAA in this actinomycetal strain.

Key words:

Actinomycetes, *Nocardiopsis dassonvillei*, Phytohormones, indole acetic acid.

الملخص

تمت دراستنا حول سلالة من الأكتينومييسات من مجموعة مخبر الهندسة الميكروبيولوجية و التطبيقية. حيث صنفت هذه الاخيرة من نوع *Nocardiosis dassonvillei*. ان الهدف من هذا العمل هو دراسة الخصائص المورفولوجيا و الزراعية للبكتيريا و اختبار إنتاج حمض الإندول الأسيتيك (AIA) الذي يحفز نمو النبات.

أظهرت السلالة تطورا جيدا في وسائط الزرع المستخدمة Glucose Asparagine, ISP7, ISP5 و DSMZ65. كان الوسط DSMZ65 هو الأفضل للنمو و البلوغ الجيد. اما على الوسط ISP7 فلم تنتج البكتيريا أي صيغة ميلانويد. بين الفحص المجهرى عند التكبير $\times 100$ ظهور تطور فطري جيد للمستعمرات على وسائط الزرع الأربعة و قد تم تحديد التركيب المجهرى للركيزة الفطرية و الفطريات الهوائية باستخدام تقنية الشريحة بعد 7 و 14 و 21 يوما من الحضانة على 30 درجة مئوية. في الواقع، السلالة لها خيوط طويلة متفرعة، متشابكة إلى حد ما و موجبة الغرام.

أظهرت السلالة القدرة على تصنيع الهرمون النباتي AIA تحت ظروف فيزيوكيميائية مختلفة (درجة الحموضة، درجة الحرارة، كلوريد الصوديوم و حجم العينة المزروعة). كان تحضير وسائط التخمر على تركيزات مختلفة من كلوريد الصوديوم (5 و 10%) و قيم مختلفة من درجة الحموضة (7.5 و 9). قمنا أيضا بتغيير حجم العينة المزروعة (1 و 2%) و درجات حرارة الحضانة (30 درجة مئوية و 40 درجة مئوية). الى جانب اختبار AIA بعد 4 أيام من الحضانة ثم 8 أيام من الحضانة. يعتمد عرض إنتاج AIA على ترشيح المعلقات البكتيرية و كاشف Salkowski و يشير ظهور اللون الوردي إلى إنتاج AIA بالإضافة الى استعمال مقياس الطيف الضوئي لقياس التركيز. تحدد هذه الدراسة أن اليوم الرابع من الحضانة هو الأكثر ملائمة لإنتاج AIA؛ و ان قيم العوامل الفيزيوكيميائية المختارة التي تتمثل في درجة الحموضة: 9، درجة الحرارة: 40 درجة مئوية، كلوريد الصوديوم: 5% و حجم العينة المزروعة: 2% هي أفضل ظروف الزرع لإنتاج AIA من طرف هذه السلالة الأكتينومييساتية.

الكلمات المفتاحية:

الأكتينومييسات، *Nocardiosis dassonvillei*، هرمون نباتي، حمض الإندول الأسيتيك.

Liste des figures

Figure 1 : Caractéristiques macromorphologiques d'actinomycètes.....	3
Figure 2 : Caractéristiques micromorphologiques de quelques genres d'actinomycètes (a) : <i>Actinomyces</i> ;(b) : <i>Corynebacterium</i>	3
Figure 3 : Croissance d'une d'actinomycètes sur milieu solide	4
Figure 4 : Cycle de vie des <i>Streptomyces</i>	4
Figure 5 : Formes et disposition de sporanges chez quelques genres actinomycètes	5
Figure 6: Photographies par microscope électronique du mycélium	5
Figure 7:Organisation des conidies chez quelques genres d'actinomycètes	6
Figure 8 : Morphologie des hyphes en croissance dans le milieu liquide.....	6
Figure 9 : Les symptômes des maladies phytopathogènes chez certaines plantes ; (a) : Pourriture grise sur chasselas. (b) : Jaunissement des feuilles de tomate	10
Figure 10 : les symptômes de la Fusariose ; (a) : Jaunissement des feuilles (b) : Flétrissement des feuilles basses (c) : Brunissement des vaisseaux des parties basses de la tige (d) : Dessèchement brutal de jeunes plantules.	13
Figure 11: Effet des activités antifongiques sur la croissance de la plante de tomate en fonction du temps (T1 : 7 jours, T2 : 15 jours et T3 : 26 jours) en présence et en absence du <i>Fusarium oxysporum</i> . A : Plante inoculée par <i>Fusarium oxysporum</i> et non traitée par l'extrait actif. B : Plante de tomate inoculée par <i>Fusarium oxysporum</i> puis traitée au cours du temps par l'extrait actif de la souche de <i>Streptomyces</i> US80. C : Plante de tomate saine (témoin), non inoculée (smaoui, 2010)	14
Figure 12: Certaines plantes attaquées par <i>Botrytis cinerea</i>	15
Figure 13: Symptômes de la pourriture grise sur différentes parties de la vigne sur ; (a) : feuille, (b) : inflorescence, (c) : rameau, (Web 6). (d) : baie.....	16
Figure 14: Les huit flacons de fermentation contenant 50 ml du bouillon tryptophane en combinaison avec les deux concentrations en NaCl et les deux valeurs du pH.....	24
Figure 15 : la filtration des cultures après fermentations.	25
Figure 16: Préparation du réactif de Salkowski	26
Figure 17: Courbe d'étalonnage de l'AIA.....	26
Figure 18: Aspect macroscopique des colonies de la souche <i>Nocardioopsis dassonvillei</i>	27
Figure 19: Mycélium aérien après : 7 jours (a), 14 jours (b) et 21 jours (c) sur le milieu ISP5. (d) : le mycélium de substrat sur le milieu ISP5.	28

Figure 20: Les caractères cultureux de la souche <i>Nocardiosis dassonvillei</i> sur les quatre milieux.....	29
Figure 21: l'absence de production des pigments mélanoïdes sur le milieu ISP7, (a) : après 7 jours, (b) : après 14 jours, (c) : après 21 jours.....	29
Figure 22: Photographies des cultures de la souche <i>Nocardiosis</i> sur le milieu ISP2 après 7 jours (a) 15 jours (b) et 21 jours (c) d'incubation à 30°	31
Figure 23: Examen en microscopie optique Gx100 de la souche <i>Nocardiosis dassonvillei</i> après coloration de Gram du mycélium primaire (a, d) et du mycélium secondaire (b, c) par la technique des lamelles.....	32
Figure 24 : Examen en microscopie optique Gx100 de la souche <i>Nocardiosis</i> après coloration de Gram du mycélium primaire (a, b) et du mycélium secondaire (c, d) par la technique des lamelles (microscope modèle Optech muni d'une caméra Canon)	33
Figure 25: Aspect de certaines cultures après 5 jours d'incubations (a) :40°C (b) :30°C, M2 : culture bactérienne 2, M3 : culture bactérienne 3, M4 : culture bactérienne 4.	33
Figure 26: La production de l'AIA à différents facteurs physicochimiques ; (a) : après 4 jours, (b) : après 8 jours.....	34
Figure 27 La production de l'AIA après 4 jours d'incubation à différentes conditions physicochimiques.....	35
Figure 28: La production de l'AIA après 8 jours.	35
Figure 29: La production de l'AIA à différentes tailles d'inoculum.	36
Figure 30: la production de l'AIA a différentes valeurs de températures.....	36
Figure 31: La production de l'AIA a différentes valeurs de pH.	37
Figure 32: La production de l'AIA a différentes concentrations de NaCl.	37
Figure 33: Effet du pH sur la Production de l'AIA chez <i>Nocardiosis sp.</i> MADO3.....	37

Liste des tableaux

Tableau 1 : les grands groupes responsables des maladies phtopathogènes	11
Tableau 2 : Les symptômes et les maladies causées par <i>Fusarium oxysporum</i>	12
Tableau 3 : Symptômes de la pourriture grise sur vigne.....	16
Tableau 4 : Certains Antibiotiques synthétisés par <i>Streptomyces</i>	20
Tableau 5 : Les milieux de fermentation avec différent condition physicochimique	25
Tableau 6 : Les caractères macroscopiques de la souche <i>Nocardiopsis dassonvillei</i> sur le milieu ISP5 après 7, 14 et 21 jours d'incubation.....	27
Tableau 7 : Les caractères morphologiques de la souche <i>Nocardiopsis dassonvillei</i> sur les quatre milieux.....	30
Tableau 8 : Les caractères culturaux de la souche N18sur le milieu ISP2après 7, 15 et 21 jours d'incubation.....	30
Tableau 9 : la comparaison des caractères macromorphologique et micro morphologique et micro morphologique souche N18	31
Tableau 10 : Aspect des cultures bactériennes après 5 jours.....	32

Table des matières

Introduction	1
---------------------------	---

Revue Bibliographique

1. Les actinomycètes.....	3
1.1. Définition et Caractéristiques générales	3
1.2. Morphologie et cycle de développement des actinomycètes.....	3
1.3. Classification des actinomycètes	6
1.4. Distribution des actinomycètes.....	7
2. Le rôle des actinomycètes dans la protection des plantes	8
2.1 Généralité sur la phyllosphère et la rhizosphère	8
2.1.1 La phyllosphère	8
2.1.2 La rhizosphère	8
2.1.3 Activité microbienne des actinomycètes dans la rhizosphère.....	9
2.2 Les maladies phytopathogènes	10
2.2.1 L'agent de la fusariose.....	11
2.2.2 L'agent de la pourriture grise	14
2.3 L'importance des actinomycètes en lutte biologique	17
2.3.1 La production des phytohormones.....	18
2.3.2 La production des enzymes	18
2.3.3 La production des antibiotiques.....	19
2.3.4 La solubilisation du phosphore.....	20
2.3.5 La production des sidérophores	21

Matériel et Méthode

1. Le matériel biologique.....	23
2. La mise en culture.....	23
3. La détermination des caractères morphologique	23
3.1 L'étude macroscopique	23
3.2 L'étude microscopique	23
4. La production de l'AIA	24

Table des matières

4.1 La préparation des milieux de fermentation.....	24
4.2 La préparation de l'inoculum	24
4.3 L'inoculation des flacons de fermentation	24
5. Le dosage de l'AIA	25

Résultats et Discussion

1. La culture de la souche <i>Nocardiosis dassonvillei</i>	27
2. La détermination des caractères morphologique de la souche <i>Nocardiosis dassonvillei</i>	28
2.1 L'étude macroscopique	28
2.2 L'étude microscopique.....	30
3. La production de l'AIA	32
3.1 La fermentation.....	32
3.2 Le dosage de l'AIA.....	33
3.3 Les mesures de la production de l'AIA	33
3.4 Effet des différentes conditions de cultures sur la production de l'AIA	34
3.4.1 L'effet de la taille d'inoculum sur la production de l'AIA.....	34
3.4.2 L'effet de la température sur la production de l'AIA	35
3.4.3 L'effet du pH sur la production de l'AIA.....	35
3.4.4 L'effet de la concentration du NaCl sur la production de l'AIA.....	36

Conclusion	39
-------------------------	----

Référence bibliographique	40
--	----

Annexe

Introduction

Le sol, symbole de la production agricole, est le support de la biodiversité. C'est le réacteur biologique qui assure de nombreuses fonctions environnementales. Il offre un habitat pour un très grand nombre de microorganismes qui causent un dommage dans la plante (Arif, 2015).

Les plantes subissent les attaques de nombreux bio-agresseurs. Parmi eux, les virus, les bactéries et les champignons pathogènes qui causent des maladies sur tous les organes des plantes. Ces microorganismes affectent les rendements mais aussi la qualité sanitaire de la récolte par la présence de toxines. Pour diminuer les pertes de rendement occasionnées sur les plantes d'intérêt agricole, actuellement, il est très recommandé d'utiliser des méthodes de lutte biologique, comme l'utilisation des biopesticides telle que les actinomycètes.

Les actinomycètes représentent un groupe bien connu et très diversifié de bactéries Gram-positifs, aérobies et filamenteuses, appartenant à l'ordre Actinomycetales. Ces bactéries sont l'une des composantes majeures des populations microbiennes présentes dans le sol. Ces micro-organismes peuvent affecter directement ou indirectement la croissance des plantes. Elles synthétisent de nombreux métabolites secondaires biologiquement actifs, tels que des agents antimicrobiens (Belkadi et Koliai, 2016).

Généralement, les actinomycètes sont d'importants décomposeurs de la matière organique, ce qui rend le sol fertile et par conséquent l'amélioration des récoltes. Les actinomycètes sont les meilleurs candidats à appliquer sous forme de cellules vivantes. Ils sont connus pour leur production de métabolites bioactifs, comme les enzymes, les phytohormones, les antibactériens, les antiparasitaires et les antitumoraux. Les bactéries actinomycétales du genre *Nocardiopsis*, sont des bactéries halotolérantes ou halophiles dont la croissance est conditionnée par la présence de NaCl en concentration plus au moins importante et une concentration optimale de 10% à 15% (p/v). Le genre *Nocardiopsis* contient 30 espèces différentes reconnues, dont *Nocardiopsis dassonvillei*. Elle a une gamme d'activités biologiques très intéressante, parmi ces activités, elle est capable de produire les phytohormones qui influencent grandement la croissance des plantes (Tammime et Kikaia, 2015).

Les phytohormones participent à la régulation de la croissance et au développement des plantes, en réponse notamment aux facteurs environnementaux. Le terme d'hormone se réfère à des substances organiques actives à très faible concentration produites par les plantes. Parmi ces hormones l'auxine ou l'acide indole acétique (AIA), c'est la première phytohormone découverte et la plus étudiée. Cette hormone a été isolée par Went en 1926, qui

a une influence majeure sur pratiquement tous les aspects physiologiques de la croissance des plantes (Annab et Dafri, 2018).

Notre travail est structuré en deux parties ;

Une première partie qui représente une recherche bibliographique détaillée sur les actinobactéries. Elle porte sur deux aspects, la première traite les actinobactéries, leurs propriétés taxonomique et leurs importances biologique, le second est un aperçu sur les métabolites secondaires synthétisés par ces actinobactéries.

Une deuxième partie pratique expose l'étude morphologique (macroscopique et microscopique) de la souche actinomycétale, suivie d'une étude des conditions de production de l'AIA ainsi que son dosage chez une souche actinobactérienne rhizosphérique appartenant au genre *Nocardiopsis dassonvillei*.

**Revue
bibliographique**

1. Les actinomycètes

1.1. Définition et Caractéristiques générales

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 actinomycètes ont été considérés comme un groupe intermédiaire entre bactérie et champignons. Actuellement, elles sont classées définitivement parmi les bactéries procaryotes (Andriambololona, 2010).

Les actinomycètes ou les actinobactéries sont Gram positifs, une grande partie sont filamenteuses dont la croissance donne lieu à des colonies constituées d'hyphes, c'est-à-dire de filaments qui irradient par croissance centrifuge tout autour du germe qui leur a donné naissance (Digigal, 2003). Elles sont aérobies, saprophytes, mésophiles, hétérotrophes mais certaines chimio-autotrophes, possédant un coefficient de Chargaff (GC%) élevé compris entre 60-70%, la plupart des espèces sont immobiles (Larpent et Sanglier, 1989).

1.2. Morphologie et cycle de développement des actinomycètes

La plus part des actinomycètes sont des bâtonnets, non sporulant, de forme irrégulière, ces bâtonnets peuvent être droits ou légèrement incurvés (Figure 1, 2) (Prescott *et al.* ; 2003).



Figure 1 : Caractéristiques macromorphologiques d'actinomycètes (Alkama et Harouna, 2014).

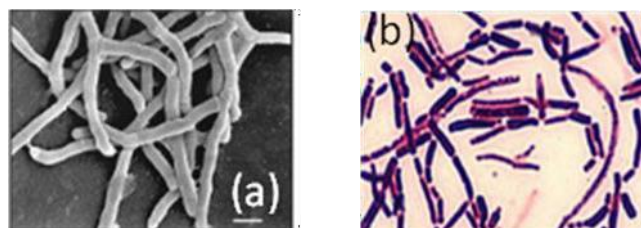


Figure 2 : Caractéristiques micromorphologiques de quelques genres d'actinomycètes (a) : *Actinomyces* ;(b) : *Corynebacterium* (Web 2).

Elles peuvent être regroupées selon les caractères morphologiques. Le premier groupe forme une masse de filaments ramifié simple, Le second se compose des organismes plus complexes que le premier (Merezig et Naami, 2015).

Les actinomycètes peuvent se développer sur le milieu solide par la germination d'une spore qui donne naissance à un mycélium primaire formé d'hyphes qui se ramifie. Le développement du mycélium du substrat vers la partie superficielle donne le mycélium secondaire ou aérien. Les extrémités des hyphes aériens spiralisent puis se cloisonnent et se différencient pour former des spores. Ces spores sont des agents de dissémination (Figures 3 et 4) (Smaoui, 2010).

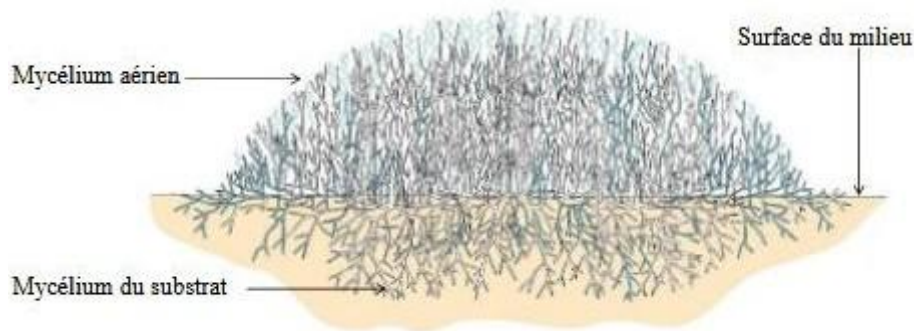


Figure 3 : Croissance d'une d'actinomycète sur milieu solide (Prescott *et al.* ; 2003).

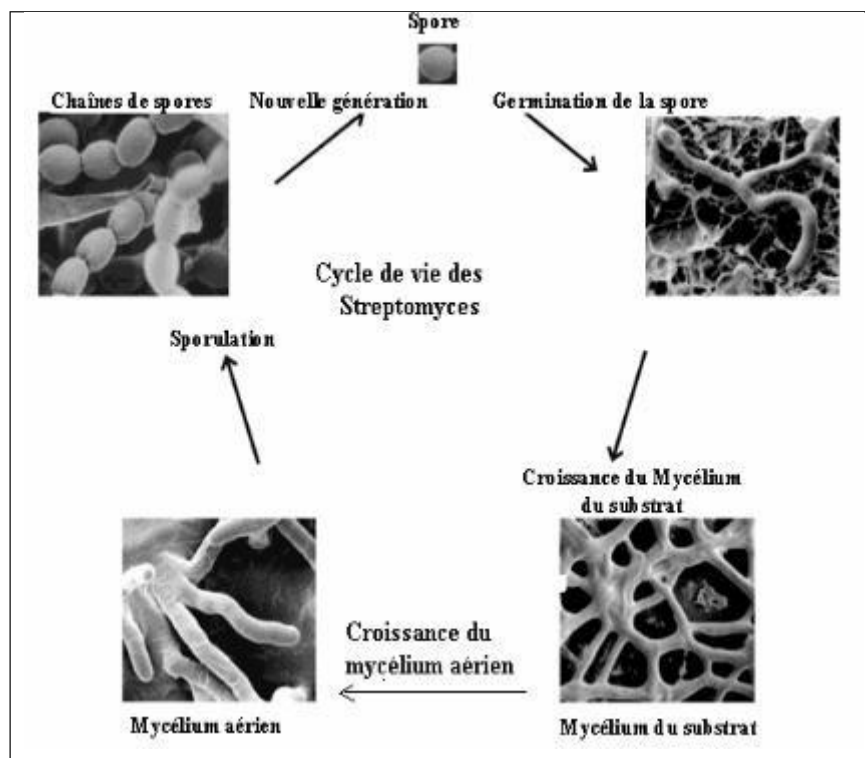


Figure 4 : Cycle de vie des *Streptomyces* (Maalem et Sansri, 2014).

Les différents genres d'actinomycètes peuvent sporuler soit en morcelant certains hyphes pour former des conidies, un peu plus résistantes aux conditions hostiles que les

hyphes, soit en produisant des endospores hautement résistantes à la chaleur et autres adversités, ou des sporanges (Figure 5) (Web 1).

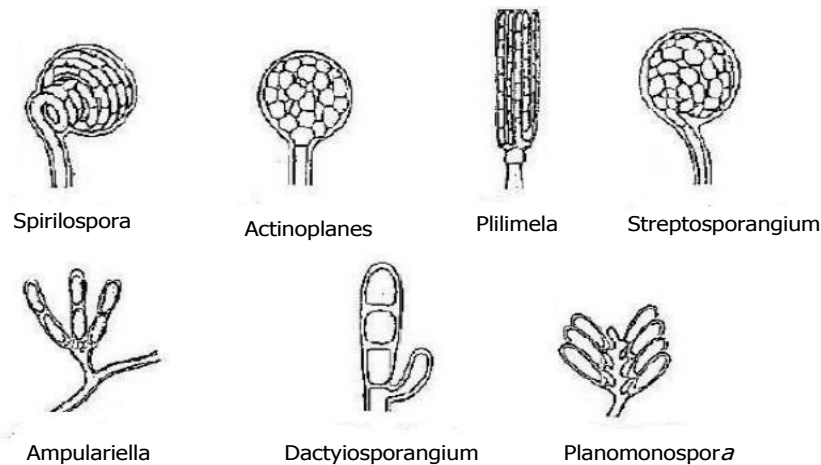


Figure 5 : Formes et disposition de sporanges chez quelques genres actinomycètes (Larpent et Sanglier, 1989).

Les conidies peuvent, suivant les groupes, être produites isolément (*Micromonospora*) (Figure 6), deux à deux longitudinalement (*Microbispora*), en courtes chaînes (*Actinomadura*), en longues chaînettes (*Streptomyces*). Les chaînettes de spores peuvent être ramifiées ou non, droites, sinuées ou en spirales. De plus, elles peuvent être rayonnantes autour d'hyphes sporophores (*Streptoverticillium*) (Web 1).

Il existe d'autres structures morphologiques : des sclérotes sont formés dans le genre *Chainia*, des synnemas (ou corémies) par les *Actinosynnema*, des vésicules, différentes des spores, chez les *Frankia* et les *Dactylosporangium* (Figure 7) (Web 1).



Figure 6: Photographies par microscope électronique du mycélium de l'espèce *Micromonospora* (Belyagoubi, 2014).

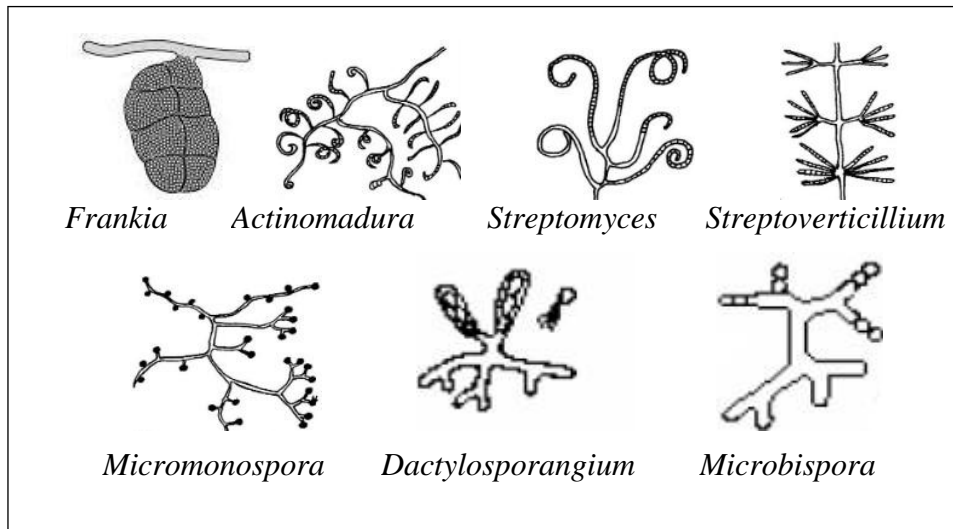


Figure 7: Organisation des conidies chez quelques genres d'actinomycètes (Sabaou, 1988), (Barka *et al.* ; 2016).

En, milieu liquide et sans agitation, les actinomycètes après la germination des spores montent en surface pour croître en contact de l'air pour former les hyphes. Cependant, en milieu liquide avec agitation, il n'y a pas de formation du mycélium aérien ni des spores.

Les actinomycètes forment d'abord des filaments libres, qui se ramifient et s'agrègent pour former des pellets (Figure 8) (Keulen *et al.* ; 2003).

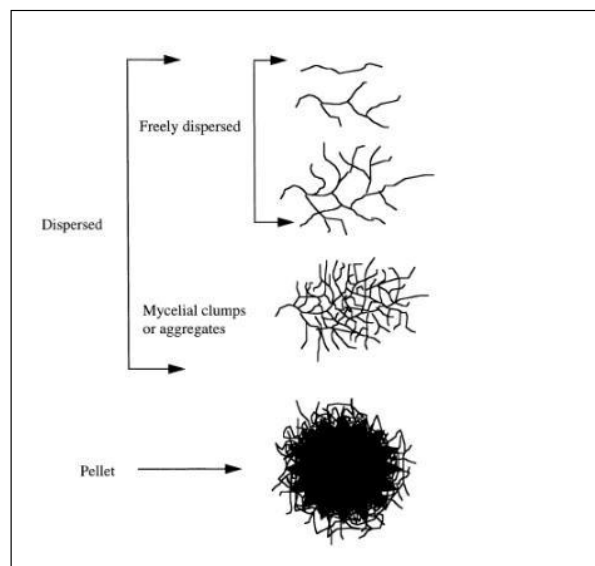


Figure 8 : Morphologie des hyphes en croissance dans le milieu liquide (Almaris, 2007).

1.3 Classification des actinomycètes

La classification des actinomycètes a été longtemps réarrangée. Les actinomycètes sont classiquement classés comme une partie indépendante de la classification des bactéries.

Dans le Bergey's Manual of Systematic Bacteriology les actinomycètes sont rattachés au phylum des Actinobacteria, à la classe des Actinobacteria à la sous classe des Actinobacteridae et à l'ordre des Actinomycetales créée par Buchanan en 1917 (Garrity *et al.* ; 2007).

Actuellement, le phylum Actinobacteria est subdivisé en quatre familles : *Streptomycetaceae*, *Actinomycetaceae*, *Actinoplanaceae*, *Mycobacteriaceae*.

Le "Bergey's Manual of Systematic Bacteriology, 2^{ème} édition, partage les bactéries en 5 volumes:

Volume 1: The Archaea and the deeply branching and phototrophic Bacteria.

Volume 2: The Proteobacteria.

Volume 3: The Firmicutes.

Volume 4: The Bacteroidetes, Spirochaetes, Tenericutes (Mollicutes), Acidobacteria, Fibrobactres, Fusobacteria.

Volume 5: The Actinobacteria.

Dans le volume 5, le phylum Actinobacteria est divisé en six classes à savoir *Actinobacteria*, *Acidimicrobiia*, *Coriobacteriia*, *Nitriliruptoria*, *Rubrobacteria* et *Thermoleophilia*.

La classe Actinobacteria est à son tour divisé en seize ordres qui sont *Actinomycetales*, *Actinopolysporales*, *Bifidobacteriales*, *Catenulisporales*, *Corynebacteriales*, *Frankiales*, *Glycomycetales*, *Jiangellales*, *Kineosporiales*, *Micrococcales*, *Micromonosporales*, *Propionibacteriales*, *Pseudonocardiales*, *Streptomycetales*, *Streptosporangiales* et *Incertae sedis*.

1.4 Distribution des actinomycètes

Les actinomycètes sont retrouvés presque partout dans la nature. Ainsi, elles existent dans le sol, dans les eaux douces ou salines et dans l'air. En particulier le sol, ils se trouvent spécialement dans les sols alcalins et les sols riches en matières organiques où se forment de nombreux microorganismes (Loqman, 2009).

Les actinomycètes préfèrent un pH neutre ou peu alcalin, ils sont généralement mésophiles, d'autres sont thermophiles tolérants des températures avoisinant 50°C et peuvent aller jusqu'à 60 °C (Goodfellow et Williams, 1983).

Les actinomycètes constituent une large partie des microorganismes de la rhizosphère et ont pour fonction écologique de décomposer des substances organiques au sein des écosystèmes (Moncheva *et al.* ; 2002).

La majorité des actinomycètes sont saprophyte mais existent des formes parasites et symbiotiques des plantes ou des animaux (Lechevalier et Lechavalier, 1985 ; GoodFellow, 1985).

Dans la rhizosphère, le genre *Frankia* vit en association avec de nombreux arbres et arbrisseau. Il joue le rôle de fixateurs d'azote au niveau des nodules des plantes non légumineuses (Kitouni, 2007).

2. Le rôle des actinomycètes dans la protection des plantes

2.1 Généralité sur la phyllosphère et la rhizosphère

2.1.1 La phyllosphère

La phyllosphère est la ou les parties aériennes de la plante et principalement les surfaces supérieures et inférieures des feuilles, qui servent d'habitat extrême, instable et oligotrophe. Colonisé par les microbes, ils sont appelés épiphytes. Les algues, les protozoaires et les nématodes habitent la surface des feuilles et des tiges, mais les épiphytes les plus abondants sont des bactéries (Web 3).

La zone de la phyllosphère a comparativement moins de nombre microbien que la rhizosphère car elle est hydrophobes et recouvertes de cire qui limite les exsudats produits par les parties rhizosphériques (Web 3).

La phyllosphère est considérée comme un habitat hétérogène et un environnement hostile en raison des changements rapides de températures et d'humidité, des nutriments limités et de l'irradiation solaire. Par exemple, de nombreuses bactéries épiphytes sont pigmentées pour éviter les dommages causés par les rayons ultraviolets (Web 3).

2.1.2 La rhizosphère

En 1904, le professeur d'agronomie et bactériologiste des plantes allemand Lorenz Hiltner a inventé pour la première fois le terme (rhizosphère) pour décrire l'interface plante-racine, un mot grec (*rhiza*) qui signifie racine. Sphère vient du latin (*sphaera*) qui a le même sens en désignant particulièrement l'interaction entre les bactéries et les racines des légumineuses (Hiltner, 1904 ; Hartmann et al. ; 2008).

La rhizosphère est la région du sol. Elle correspond à la fine couche de sol situées au voisinage et immédiats des racines des plantes. Cette région est influencée directement par les exsudats racinaires. C'est une zone d'échange actif et lieu de nombreux dialogue entre la

Plante et les bactéries (Web 4).

La rhizosphère peut inclure des organismes qui ne sont pas directement bénéfiques et même nuisent aux plantes, mais qui influencent clairement la croissance et la productivité des plantes voire même la suppression des maladies des plantes et des mauvaises herbes. Ces derniers sont très utilisés comme agents de lutte biologique (Web 4).

La rhizosphère joue un rôle important dans la résistance des sols à l'érosion, au gel, aux incendies, aux inondations, etc (Web 4).

2.1.3 Activité microbienne des actinomycètes dans la rhizosphère

Dans la rhizosphère, les bactéries sont les organismes les plus nombreux (leur densité est de l'ordre de 10^9 bactéries par gramme de sol) et les plus variées. Les actinomycètes peuvent atteindre 10^7 unités par gramme de sol (Andriambelison, 2016).

Les actinomycètes sont des microorganismes capables de coloniser la rhizosphère grâce à leurs caractères antagonistes et compétitifs vis-à-vis des autres microorganismes du sol (Andriambelison, 2016), ils sont très impliqués dans le recyclage de la matière organique comme l'écorce, les feuilles et les tiges, grâce à leur capacité de dégrader des substances complexes et incapables d'être décomposés par les autres bactéries non mycéliennes et les champignons (Lamari, 2006). Les bactéries des genres *Streptomyces* et *Thermomonospora* sont capables d'hydrolyser la lignine, la cellulose et l'amidon par grâce à des complexes enzymatiques extra-cellulaires composés α et β amylases. Les bactéries des genres *Micromonospora*, *Nocardia*, *Actinomadura* dégradent la chitine par deux principaux enzymes : la chitinase et la chitobiase (Silini, 2012).

Par conséquent, ils sont activement impliqués dans la fertilisation des sols et le démantèlement des déchets urbains à haute teneur en produits chimiques (Djemai, 2019).

Certaines espèces sont symbiotiques des plantes supérieures. Ces bactéries endophytes forment des associations appelées actinorhizes permettant la fixation d'azote. Le genre *Frankia* forme au niveau des racines, des nodules où l'azote gazeux est fixé grâce à une nitrogénase (Baker, 1988).

Les actinomycètes exercent une influence sur la croissance des plantes (Yilma *et al.* ; 2008) et contrôlent les maladies phytopathogènes comme l'effet antagoniste entre le *Streptomyces* et *Verticillium dahliae* Kleb qui cause la verticilliose de l'olivier (Harir, 2010).

2.2 Les maladies phytopathogènes

La pathogenèse représente l'ensemble des processus pathogènes qui donnent lieu à l'expression des symptômes. Ces derniers comprennent principalement des changements de couleurs, des altérations d'organes, des modifications anatomiques et des altérations du métabolisme. Nous distinguons deux grands types de maladies phytopathogènes (Aouar, 2013): les maladies parasitaires et non parasitaires. La figure suivante illustre certains symptômes des maladies chez les plantes.

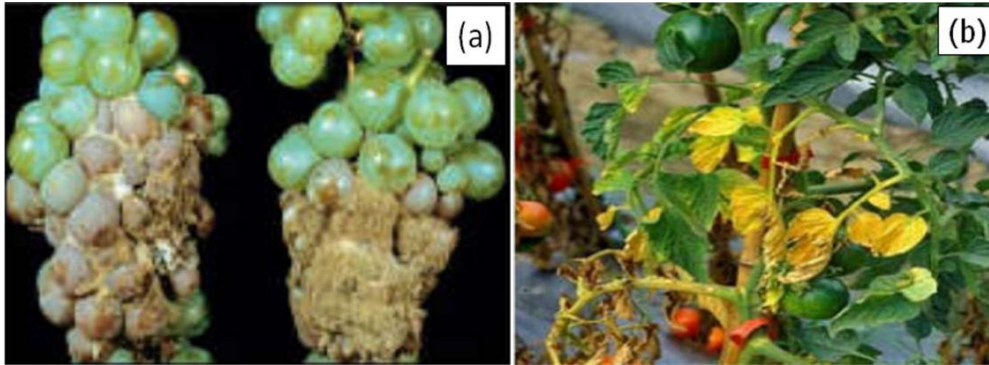


Figure 9 : Les symptômes des maladies phytopathogènes chez certaines plantes ; (a) : Pourriture grise sur chasselas (Ajouz, 2009). (b) : Jaunissement des feuilles de tomate (Aydi, 2013)

Les maladies non parasitaires résultent d'une inadéquation des conditions écologiques (manque au excès de lumière, manque l'oxygène) (Aouar, 2013 ; Web 5). Il peut s'agir de problèmes liés aux conditions climatiques (températures trop basses au trop hautes, manque au excès d'humidité) aux phénomènes de pollution ou à des problèmes nutritifs et la toxicité des pesticides (Aouar, 2013 ; Web 5).

Les maladies parasitaires sont des maladies causées par l'action d'agents pathogènes (virus, des nématodes, bactéries, champignons, protozoaires, les phanérogame parasites, etc...). Ces parasites sont généralement contagieux car ils envahissent l'hôte et s'y multiplient, avant de passer de la plante infectée à la plante saine. Les champignons sont responsables de près de la moitié des maladies connues à ce jours chez les plantes cultivées (Aouar, 2013).

Le tableau ci-dessus présente les grands groupes des bactéries et des champignons phytopathogènes (Aouar, 2013).

Tableau 1 : les grands groupes responsables des maladies phytopathogènes (Aouar, 2013 ; Web 6).

	Agents phytopathogènes		Les maladies
Champignons phytopathogènes	Plasmodiophoromycota		Hypertrophie
	Champignons à thalle unicellulaires ou filamenteux coenocytiques	Oomycota	Pourritures radiculaire
		Chytridiomycota	Vecteurs des maladies virales
		Zygomycota	Mucormycoses
	Les Ascomycota et les Deuteromycota	Les Ascomycètes	Pourriture grise
		Les Deutéromycètes	l'oïdium
Les Basidiomycota		la rouille	
Bactéries phytopathogènes	Proteobacteria		la prolifération des cellules
	Burkholderia		des flétrissements et des nécroses
	Pseudomonas		des pourritures molles
	Erwinia		
Xanthomonas			

2.2.1 L'agent de la fusariose

La fusariose causée par le genre *Fusarium* qui comprenant de nombreux champignons et peuvent produire des métabolites secondaires cause des maladies chez les plantes. Selon une étude de l'American Phytopathological Society menées sur les 101 plantes à intérêt économique, 81 d'entre elles sont attaquées par un ou plusieurs champignons appartenant au genre *Fusarium* comme les céréales, les légumes, les arbres fruitiers provoquant des maladies nommées fusarioses. Les *fusariums* sont généralement impliqués dans les pourritures de racines ou de tiges, des chancres, des flétrissements, des pourritures de fruits ou de semences ou bien des maladies foliaires (Mohammed, 2017).

Ainsi *Fusarium graminearum* est l'espèce principale responsable de la fusariose du blé, *Fusarium solani* var. *Coeruleum* sur la pomme de terre, *Fusarium oxysporum* f. sp.

Lactucae sur la laitue, *Fusarium graminearum* sur le maïs, et *Fusarium oxysporum* sp. *Lycopersici* sur la tomate (Affane et Righi, 2019).

En particulier les *Fusarium oxysporum* sont les plus répandues dans le monde. Ils ne sont pas des parasites obligatoires, en absence de la plante hôte, ils conduisent une vie de saprophyte sur des débris végétaux et des matières organiques (Mohammed, 2017).

Ces champignons persistent dans le sol principalement sous forme de spores de résistance (chlamydospores) en état de dormance. Le cycle d'infection débute par la germination des chlamydospores et les jeunes filaments pénètrent les racines au niveau des blessures ou des ouvertures naturelles. Après pénétration dans la cellule épidermique, le mycélium se ramifie et colonise toutes les cellules avoisinantes. Les hyphes mycéliens progressent à l'intérieur des cellules puis colonisent le cortex. Arrivé au niveau du cylindre central, le parasite s'installe dans les vaisseaux du xylème d'où il se propagera dans la tige par l'intermédiaire des microconidies aisément véhiculées par la sève dans toutes les parties de la plante à la surface des feuilles, se forment des organes fructifères appelés sporodochies qui produisent des macroconidies qui vont à leur tour contaminer d'autres plantes lorsqu'elles sont transportées par le vent, par l'eau ou bien par l'intermédiaire des insectes (Mohammed, 2017).

Le tableau suivant présente les principaux symptômes et maladies causées par l'espèce *Fusarium oxysporum* et la figure numéro 10 illustre les symptômes de la Fusariose.

Tableau 2 : Les symptômes et les maladies causées par *Fusarium oxysporum* (Mohammed, 2017 ; Ghorri, 2016).

Les maladies	Les symptômes
Flétrissure fusarienne	Jaunissement des feuilles de bas en haut avec apparition de racines avortées au bas de la tige. Décoloration de la tige commençant par un léger jaunissement longitudinal évoluant en une bande jaune plus marquée puis en une nécrose beige à marron clair. Les vaisseaux à l'intérieur de la tige brunissent
Pourriture des racines et du collet	Brunissement des racines, de leur cylindre central et des vaisseaux situés au niveau du pivot et du collet et flétrissement juste avant la cueillette. Les feuilles hautes fanent avant les feuilles basses avec une décoloration jaune ou dorée. Les fruits n'ont pas leur brillance normale.
Fonte de semis	Dessèchement brutal de jeunes plantules qui restent dressées, les racines latérales avortent ou encore sont détruites dans un stade assez jeune.

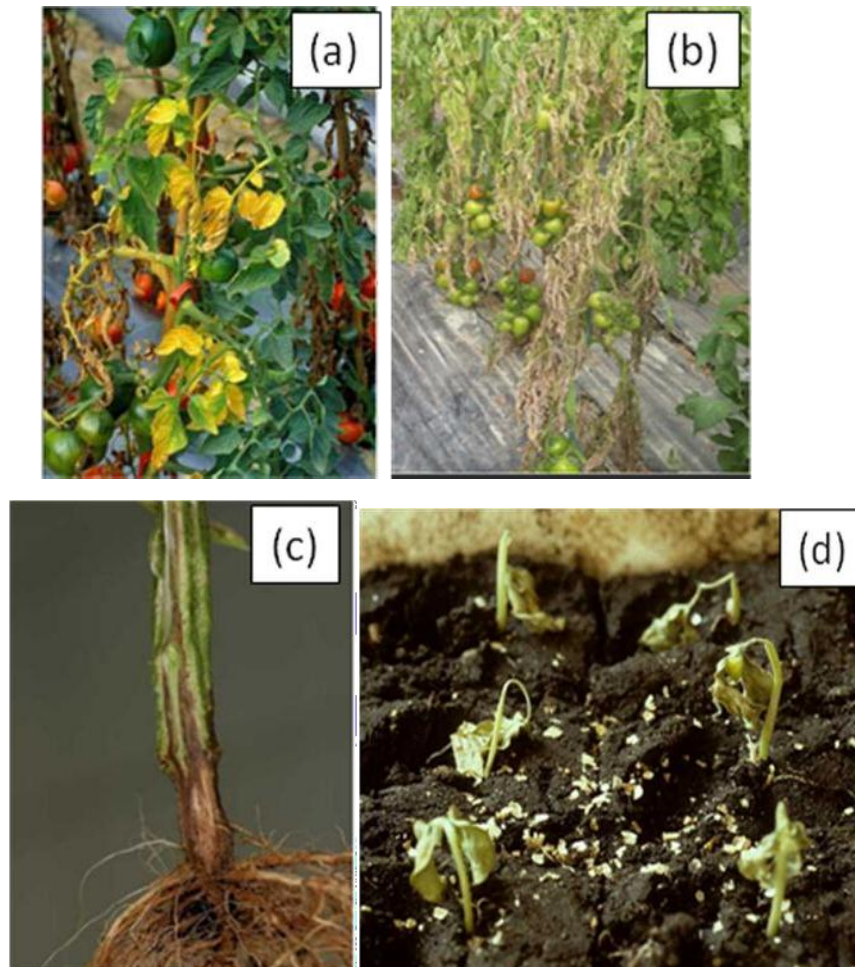


Figure 10 : les symptômes de la Fusariose ; (a) : Jaunissement des feuilles (b) : Flétrissement des feuilles basses (c) : Brunissement des vaisseaux des parties basses de la tige (Mohammed, 2017). (d) : Dessèchement brutal de jeunes plantules (Web 7).

Les *Fusarium oxysporum* réduisent de façon importante la productivité des cultures dans le monde entier, causant des pertes économiques importantes (Aouar *et al.* ; 2019). Pour réduire ces problèmes, on utilise plusieurs traitements par exemple la lutte physique, chimique, biologique et la résistance génétique (Harir, 2010).

La fusariose est contrôlée par les actinobactéries comme *Streptomyces griseoviridis* peut entrer en compétition avec l'agent pathogène au niveau des nutriments, ce qui peut diminuer ou même empêcher la croissance de *Fusarium oxysporum* par la production des sidérophores qui acquière le fer et le rend ainsi non disponible pour l'agent pathogène à proximité des racines qui limite sa croissance (Aouar, 2013). Le sidérophore propose ainsi une protection des plantes à travers le contrôle des phytopathogènes (Sathya *et al.* ; 2017).

En plus de la compétition nutritionnelle, la compétition spatiale contribue aussi à la réduction des infections racinaires par les agents phytopathogènes. En effet, les actinobactéries ayant la capacité de coloniser les racines comme les bactéries promotrices de

la croissance des plantes (Plant Growth Promoting Bacteria, PGPB) protègent les racines et occupent les sites d'infection aux *Fusarium oxysporum* (Aouar, 2013).

La figure suivante illustre l'effet des activités antifongiques sur la croissance de la plante :

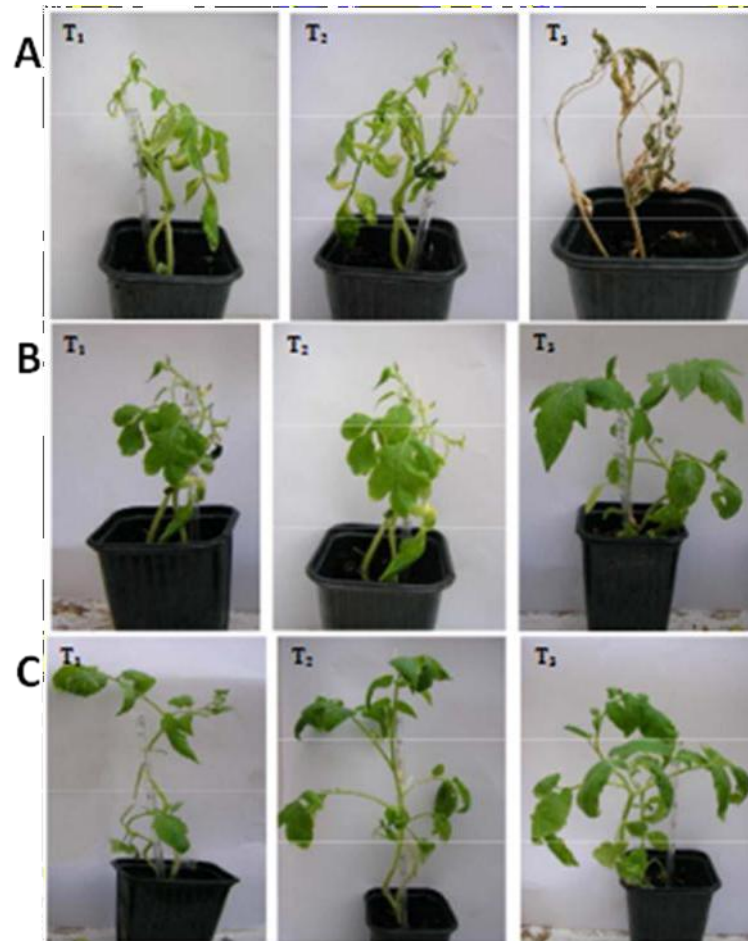


Figure 11 : Effet des activités antifongiques sur la croissance de la plante de tomate en fonction du temps (T1 : 7 jours, T2 : 15 jours et T3 : 26 jours) en présence et en absence du *Fusarium oxysporum*. A : Plante inoculée par *Fusarium oxysporum* et non traitée par l'extrait actif. B : Plante de tomate inoculée par *Fusarium oxysporum* puis traitée au cours du temps par l'extrait actif de la souche de *Streptomyces* US80. C : Plante de tomate saine (témoin), non inoculée (smaoui, 2010).

2.2.2 L'agent de la pourriture grise

Botrytis est un genre qui comprend 22 espèces dont la plupart ont un spectre d'hôtes restreint comme par exemple *B. tulipae* sévissant sur les tulipes, *B. fabae* sur les légumineuses ou *B. squamosa* sur les oignons (Ajouz, 2009). Au contraire, *B. cinerea* est un champignon ubiquiste, opportuniste et polyphage capable d'attaquer plus de 230 espèces de plantes. Il affecte de nombreuses productions végétales d'importance économique en culture sous serre ou en plein champ, comme le raisin, la pomme, la poire, la cerise, la fraise et le kiwi en

production fruitière, l'aubergine, la carotte, la laitue, le concombre, le poivron, la tomate, la courgette en production légumière ou des plantes ornementales comme la rose, le gerbera ou le cyclamen (Ajouz, 2009).

La figure suivante illustre certaines plantes infectées par *B. cinerea*.

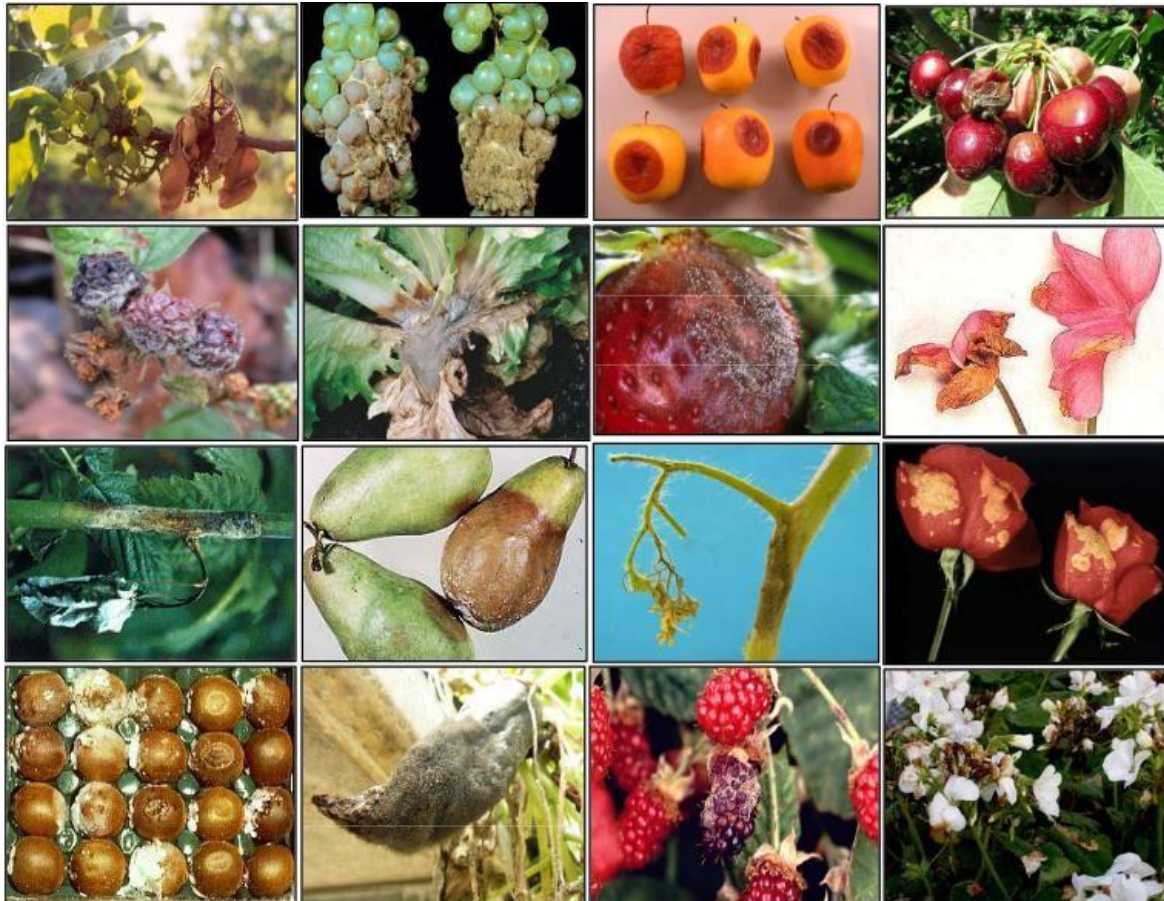


Figure 12: Certaines plantes attaquées par *Botrytis cinerea* (Ajouz, 2009).

B. cinerea est un Ascomycète responsable de la pourriture grise de nombreuses plantes cultivées et sauvages, peut produire du mycélium, des spores asexuées ou conidies, des spores sexuées ainsi que des sclérotés (Ajouz, 2009).

Le cycle de la maladie causée par *Botrytis cinerea* se déroule en plusieurs étapes. Sa capacité à infecter plusieurs plantes hôtes laisse supposer que certaines étapes n'apparaissent pas systématiquement à chaque infection et sur chaque hôte (Meamiche, 2010).

Le cycle d'infection débute au printemps. Les sclérotés et le mycélium conservés dans le sol et sur les débris en décomposition germent et sporulent en abondance pour former l'inoculum primaire. Les conidies sont transportées sur des distances variables par le vent, les courants d'air humides, l'eau, les outils de taille ou les vêtements des ouvriers. Elles germent dans les tissus endommagés ou fragilisés qui seront envahis en premier. L'infection se

transmet aux tissus sains par pénétration directe si les conditions environnementales et l'état général de la plante hôte sont appropriés. Une fois installé, le champignon progresse dans le végétal et envahit progressivement les différents organes, produisant en surface de nouvelles fructifications correspondant à l'inoculum secondaire. Ce dernier assurera la transmission du champignon vers des plants sains (Meamiche, 2010). Le tableau et la figure ci dessous présentent les symptômes de la pourriture grise sur vigne.

Tableau 3 : Symptômes de la pourriture grise sur vigne (Reynier, 2011).

Les organes	Les symptômes
Les feuilles	taches brunâtres à rougeâtres, ayant l'aspect de feuille brûlée, parfois couvert d'un feutrage grisâtre. L'attaque commence par le bord du limbe et envahit peu à peu toute la feuille qui prend alors l'aspect brûlé.
Les inflorescences	l'attaque commence par une nécrose sur le pédoncule qui se développe en une pourriture humide, avec exsudation d'un liquide.
Les rameaux	les attaques sont plus rares et surviennent les années très pluvieuses à partir d'autres organes infectés
Les baies	les baies sont réceptives au Botrytis en générale après la véraison. Les contaminations ont lieu à maturité, à partir de blessures. Les baies se recouvrant d'un feutrage gris caractéristique de <i>B. cinerea</i> (conidiophore et conidies)

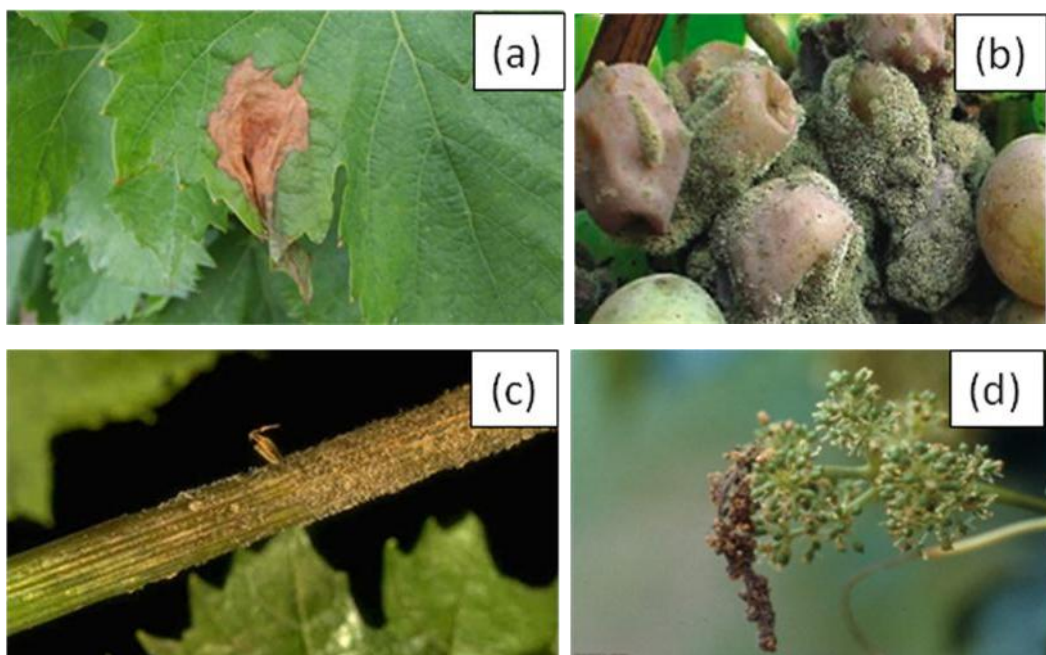


Figure 13: Symptômes de la pourriture grise sur différentes parties de la vigne sur ; (a) : feuille, (b) : inflorescence, (c) : rameau, (Web 8). (d) : baie (Web 9).

Plusieurs travaux montrent que *Streptomyces anulatus* contrôlée *Botrytis cinerea* par la production des antibiotiques comme streptochlorin, nigéricine et piericidin A1 par une activité antifongique. Ces antibiotiques vont ralentir ou arrêter la croissance de *Botrytis cinerea* (Ghadbane, 2014). Une autre étude a montré aussi que la souche *Streptomyces anulatus* S37 isolée de la rhizosphère, protège la vigne, par l'induction de la défense naturelle par la burst oxydatif, l'alcalinisation extracellulaire, l'activation des protéines kinases, l'induction de l'expression des gènes de défense et l'accumulation de phytoalexine pour réduire la mort cellulaire (Marin *et al.*; 2017).

2.3 L'importance des actinomycètes en lutte biologique

La lutte biologique se définit comme une méthode de lutte contre un ravageur, une maladie ou une plante adventice, en utilisant des agents naturels antagonistes de ceux-ci bactéries, levure, champignons... Les agents naturels utilisés sont réunis sous le concept de Biopesticides (Arfaoui, 2019).

Les biopesticides, pourraient être définis de la manière suivante « *organismes vivants ou produits issus de ces organismes ayant la particularité de supprimer ou limiter les ennemis des cultures* » (Ghadbane, 2014).

Les bactéries agissent directement ou indirectement sur les pathogènes via plusieurs mécanismes de lutte biologique : l'antibiose, la compétition pour l'espace, les nutriments ou par la stimulation du système immunitaire de la plante hôte (Arfaoui, 2019) et sur l'activité antagoniste vis-à-vis de la croissance des pathogènes via la production d'antibiotiques ou d'enzyme. Parmi ces microorganismes, les actinomycètes sont les plus connus et classés parmi les plus actifs à cause de leurs capacités à coloniser et à s'installer dans le milieu rhizosphérique des plantes. Ils sont capables de façon durable, d'assurer la défense de ces plantes contre les agents fongiques phytopathogènes (Rakotoarimanga *et al.*; 2014). Ils sont considérés comme source de composés agronomiques, agents stimulant la croissance des plantes et agents de lutte biologique (Doubou, 2001).

Les métabolites secondaires sont des substances produites naturellement, ils fournissent des avantages écologiques pour l'organisme producteur et augmente la possibilité de survie de l'organisme qui les produisent car ils agissent comme un mécanisme alternatif de défense. Parmi ces molécules 42,2% produites par les actinomycètes (Belabed, 2014).

Dans différentes conditions rhizosphériques, les actinomycètes sont capables de s'adapter et produire des métabolites secondaires comme les antibiotiques, les enzymes, les sédirophores, les phytohormones, et la solubilisation du phosphore, qui leur permettent

d'inhiber les agents phytopathogènes. Parmi ces actinomycètes, la souche *Nocardioopsis dassonvillei* qui montre des activités antibiotique, mycolytique et parasitaires contre le mycélium de *Fusarium oxysporum* sp. *Albedinis* (Aouar, 2013).

2.3.1 La production des phytohormones

Les phytohormones sont des substances régulatrices de la croissance végétale, principalement les auxines ou les gibbérellines. Les auxines sont un groupe d'anneau indole composés qui ont la capacité d'améliorer la croissance des plantes en stimulant la germination des graines, l'initiation des racines, l'élongation cellulaire et la croissance des plantules (Parul *et al.* ; 2017).

L'acide indole acétique (AIA) est un métabolite secondaire qui est l'auxine la plus importante des hormones des plantes (Nutaratat *et al.* ; 2016). Il est produit par les bactéries qui occupent la rhizosphère (Patten *et al.* ; 1996) comme *Streptomyces violaceus* et *Streptomyces exfoliatus* (Manulis *et al.* ; 1994). Chez de nombreuses espèces de *Streptomyces*, l'AIA stimule la formation du mycélium et améliore également la production des antibiotiques (Perrig *et al.* ; 2007).

Streptomyces spp a la capacité de produire de l'AIA en présence de tryptophane comme principal précurseur (Chung et Tzeng, 2004). L'AIA peut résulter de plusieurs voies de biosynthèse. La présence de la voie l'indole-3-acétamide (IAM) chez *Streptomyces violaceus* et *Streptomyces exfoliatus* est corroborée par identification chimique de l'intermédiaire indole, IAM, pendant le catabolisme du tryptophane en AIA, la production d'AIA suite à l'infiltration des cellules bactériennes par l'IAM et l'incorporation de carbone radioactif de tryptophane dans l'IAM et l'AIA (Manulis *et al.* ; 1994).

L'AIA pourrait agir comme un régulateur endogène de la germination des spores chez *Streptomyces atroolivaceus* et pourrait être impliquée dans la différenciation des actinomycètes (Manulis *et al.* ; 1994).

Cette voie semble être répandue chez les bactéries mais semble assez rare chez les plantes supérieures. Il a été suggéré qu'en utilisant la voie IAM, les bactéries pathogènes peuvent outrepasser le mécanisme de régulation par lequel les plantes dépourvues de cette voie contrôlent le niveau d'AIA. De plus, la voie IAM peut détoxifier plusieurs analogues du tryptophane inhibiteurs de croissance (Manulis *et al.* ; 1994).

2.3.2 La production des enzymes

Les actinomycètes synthétisent un éventail d'enzymes biodégradantes, notamment des chitinases, protéase, des glucanases, des peroxydases et d'autres enzymes éventuellement

impliquées dans l'activité mycoparasitaire (Tokala *et al.* ; 2002). D'autres espèces sont également connues pour leur capacité à produire des enzymes qui dégradent la lignine, la cellulose et l'hémicellulose des plantes supérieures (Hasegawa *et al.* ; 2006). *Streptosporangium* sp. isolée à partir de feuilles de maïs produisait de la glucoamylase, qui devrait améliorer les processus industriels de dégradation de l'amidon (Hasegawa *et al.* ; 2006).

Des études anciennes faites par Bascaran et Moreira montre que la production de protéase à partir d'un actinomycète alcaliphilique tolérant aux halo commence au début de la phase stationnaire de croissance. *Streptomyces clavuligerusa* été isolé à Mithapur, sur la côte ouest de l'Inde. La sporulation a commencé après deux jours de croissance et le niveau optimal de protéase alcaline (130 U/ml) a été produit pendant la phase stationnaire précoce. L'espèce pouvait croître et produire une protéase avec 0 à 10 % de NaCl (p/v), l'optimum étant de 5 % de NaCl (p/v). La croissance et la production de protéase étaient optimales à pH 9 avec un déclin substantiel à pH neutre. De même, chez *Streptomyces rimosus* (Thumar et Singh, 2007).

Les substrats bruts, tels que la mélasse, le lactosérum et la farine de blé, ont eu un effet significatif sur la production d'enzymes. Les résultats sont assez précieux, car seuls quelques actinomycètes, en particulier les alcaliphiles tolérants au sel, ont jusqu'à présent été explorés pour leur potentiel enzymatique et l'optimisation des processus (Thumar et Singh, 2007).

2.3.3 La production des antibiotiques

Les antibiotiques sont définis comme des substances naturelles produites par les microorganismes dont l'action est d'inhiber la croissance des bactéries (action bactériostatique) ou de les tuer (action bactéricide) (Elodie, 2010). Ils peuvent être antibactériens, antifongiques, anticancéreux, antivirales ou antiparasitaires (Ramesh et William, 2012).

Les antibiotiques sont des métabolites secondaires biologiquement actifs (Boughachiche, 2012). Près de 70% de ces molécules sont synthétisées par des actinomycètes (Ramesh et William, 2012) *Streptomyces* spp ont été les sources les plus abondantes de tous les types d'antibiotiques. Environ 60% des antibiotiques découverts dans les années 1990 et la plupart utilisés en agriculture ont été isolés de *Streptomyces* (Lee et Hwang, 2002)

Tableau 4 : Certains Antibiotiques synthétisés par *Streptomyces* (Boughachiche, 2012).

Antibiotique	Producteur	Application
Bambermycine	<i>S.bambergiensis</i>	Favorise la Croissance des plantes
Actinomycine D	<i>S.sp</i>	Antitumorale
Candicidine	<i>S.griseus</i>	Antifongique
Natamycine	<i>S.nataensis</i>	Antifongique
Nosiheptide	<i>S.actuosis</i>	Favorise la Croissance des plantes
Polyoxine	<i>S.cacaoi var.asoensis</i>	Antifongique (protecteur de plante)
Streptomycine	<i>S.griseus</i>	Antibactérien
Pristinamycine	<i>S.pristinaespiralis</i>	Antibactérien

S : *Streptomyces*

Comme de nombreux antibiotiques, les synergistines sont produites par différents genres bactériens, le principal étant *Streptomyce pristinaespiralis*, ils font partie de la famille des MLS qui comprend trois catégories d'antibiotiques de structures et compositions chimiques très différentes, les Macrolides vrais (tels que la spiramycine), les Lincosamines (tels que la lincomycine) et les Synergistines (comme les virginiamycines et les pristinamycines). Parmi ces synergistines, la pristinamycine est un mélange de deux types de molécules, les pristinamycines I (PI) et les pristinamycines II (PII), Les PI représentent 20 à 30 % des pristinamycines totales du mélange produit par la bactérie, le reste étant constitué des PII. Les proportions de ce mélange sont de l'ordre de celle présentant la meilleure activité bactéricide, les pristinamycines peuvent notamment être employées pour traiter des souches devenues résistantes à d'autres antibiotiques, comme *Staphylococcus aureus* méthicilline-résistant multi résistant (Saffroy, 2006).

2.3.4 La solubilisation du phosphore

Le phosphore, identifié comme un élément essentiel pour toutes les formes de vie, est le deuxième macronutriment végétal le plus important après l'azote. Ressource non renouvelable dont la disponibilité dépend exclusivement des phosphates naturels. Le phosphore est responsable de l'accumulation de biomasse, du transfert d'énergie, de la transduction du signal, de la biosynthèse macromoléculaire, de la photosynthèse et des réactions en chaîne de la respiration. Cet élément hautement vital est l'un des nutriments les

moins accessibles (seulement 0,1 % de la réserve totale de P du sol) aux plantes, peut entraîner une perte de 5 à 15 % des rendements végétaux. La faible disponibilité du P dans le sol est principalement due à sa nature hautement réactive car il forme facilement des complexes insolubles avec les ions du sol. De nombreuses stratégies ont été introduites par les scientifiques dans différentes régions où le rôle des micro-organismes solubilisant les phosphates impliquant des bactéries, des champignons et des actinomycètes. Dans une étude, près de 44 % des actinomycètes endophytiques isolés du riz avaient une activité PS, parmi lesquels *S. lavendulae*R22 qui solubilise la quantité maximale 26,5 mg/100 ml de P, tandis que l'isolat *Micromonospora*R19 peut solubiliser une quantité minimale de Phosphore (Saif, 2014).

Près de 20 % des actinomycètes dont *Streptomyces* et *Micromonospora* possèdent un fort potentiel de solubilisation du phosphate, ils ont reçu une plus grande attention pour deux raisons : capacité à produire des métabolites agro-actifs comme les phytohormones, les sidérophores et les antibiotiques et la capacité à tolérer différents facteurs de stress (Saif, 2014).

2.3.5 La production des sidérophores

Les sidérophores sont des agents chélatants de faible poids moléculaire (200 à 2000 Da) qui facilitent l'absorption du fer (Fe). Ils ont des structures chimiques diverses et forment une famille d'au moins 500 composés différents. Ils jouent un rôle important dans la solubilisation extracellulaire à partir des minéraux pour les rendre disponibles aux micro-organismes. Certains antibiotiques (les albomycines, les ferrimycines, les danomycines, les salmycines et les tétracyclines) peuvent se lier au Fe et certains sidérophores ont montré des activités biologiques diverses (Wang, 2014).

Le fer est un élément essentiel pour presque tous les organismes. En tant qu'élément de transition, peut modifier de façon réversible son état d'oxydation. Malgré son abondance relative dans la nature, la quantité de fer biodisponible est très limitée (environ moins de 10⁻¹⁸ M) car l'oxygène atmosphérique oxyde rapidement le fer pour former des oxyhydroxydes ferriques peu solubles. En cas de manque de fer, la plupart des microbes excrètent au moins un type de sidérophores pour solubiliser le fer de l'environnement. Dans la plupart des habitats du sol microbiens aérobies, le fer se trouve dans des complexes d'hydrates d'oxydes insolubles. Pendant les infections, le fer est non plus libre accès pour l'agent pathogène, car il est étroitement séquestré par les protéines (Wang, 2014).

Les streptomycètes sont connus pour leur capacité à produire de multiples sidérophores, Plus de 10 espèces distinctes comme *Streptomyces pilosus* produite des ferrioxamine caractéristiques, tels que la des ferrioxamine G, B, E et la des ferrioxamine B. Le sidérophore des streptomycets est impliqué dans l'antagonisme aux pathogènes *Fusarium oxysporium* et favorise la croissance des plantes hôtes en influençant la nutrition en fer de plantes (Wang, 2014).

Matériel
et
Méthode

Notre travail de fin d'étude (période du 1 juin au 15 juillet) a été réalisé au sein du laboratoire de Génie Microbiologique et Applications, (Biopôle) Chaab Erssas de l'université Frères Mentouri Constantine 1, équipe Biotechnologie et valorisation des écosystèmes extrêmes.

1. Le matériel biologique

La souche actinomycétale utilisé dans notre étude est une souche de l'espèce *Nocardiosis dassonvillei*. La bactérie a été récupérée de la banque du laboratoire dans le milieu de conservation (ISP2 additionné de Glycérol) (v/v).

2. La mise en culture

Pour la revivification de la souche, nous avons cultivé la bactérie en surface par stries serrés sur le milieu ISP 5 (voir annexe). Les cultures sont incubées à 30 °C jusqu'à apparition des colonies.

3. La détermination des caractères morphologique

3.1 L'étude macroscopique

Les caractères culturaux et morphologiques ont été déterminés sur les milieux de cultures suivant : ISP7, ISP5, DSMZ 65 et Glucose Asparagine. La composition de chaque milieu est donnée en annexe. La stérilisation des géloses a été réalisée par autoclavage à 120 °C pendant 20 minutes.

Avec une anse de platine stérile, nous avons ensemencé la souche en surface par la technique des stries.

Pour la recherche de la production des pigments mélanoïdes, nous avons ensemencé le milieu ISP7 par des stries médianes.

Les cultures sont incubées à 30 °C et qui représente la température optimale de croissance de cette souche.

3.2 L'étude microscopique

Dans les milieux gélosés (ISP5, ISP7, DMSZ 65 et Glucose Asparagine), nous avons inséré délicatement des lamelles stériles (à raison de trois lamelles par boîte de Pétri) de manière à former avec les géloses un angle d'environ 45 degrés. Par la suite, nous avons déposé les inocula contre les lamelles en contact avec les milieux. Le tout est incubé à 30 °C.

Après 7, 14 et 21 jours d'incubation, nous avons retiré les lamelles des géloses, nous les avons colorées avec des gouttes de bleu coton. Après 30 secondes, nous avons rincé à l'eau distillée, puis séché. Les lamelles sont déposées sur des lames propres et examinées au microscope à l'objectif d'immersion.

4. La production de l'AIA

4.1 La préparation des milieux de fermentation

Nous avons préparé huit flacons stériles pour les fermentations (figure 14). Chaque flacon contient 50 ml du bouillon tryptophane additionné soit 5% NaCl soit de 10% de NaCl. Les pH sont ajustés soit à la valeur 7,5 ou bien à la valeur 9. La combinaison des deux facteurs est illustrée dans le tableau 5.



Figure 14: Les huit flacons de fermentation contenant 50 ml du bouillon tryptophane en combinaison avec les deux concentrations en NaCl et les deux valeurs du pH.

4.2 La préparation de l'inoculum

Dans un tube à essai contenant 10 ml d'eau physiologique stérile (Annexe), nous avons préparé une suspension cellulaire. La souche est préalablement cultivée sur le milieu ISP5. À l'aide du spectrophotomètre (Spekol 1300, analytik jena), nous avons ajusté la DO de la suspension cellulaire à 0,470 à la longueur d'onde $\lambda = 660$.

4.3 L'inoculation des flacons de fermentation

À partir de la suspension cellulaire précédente, nous avons inoculé quatre flacons avec une quantité suffisante pour avoir une concentration cellulaire finale de 1%. Pour les quatre autres flacons, la concentration cellulaire finale était de 2% (tableau 5).

Les cultures sont incubées à 30 °C sans agitation pour les quatre flacons différents et à 40 °C pour les quatre autres (tableau 5).

Tableau 5 : Les milieux de fermentation avec différentes conditions physicochimiques.

	Taille de l'inoculum	pH	Concentration de NaCl %	T° d'incubation (°C)
M1	2 %	7,5	10 %	30
M2	1 %	9	10 %	30
M3	2 %	7,5	5 %	30
M4	1 %	9	5 %	30
M5	1 %	7,5	5 %	40
M6	2 %	9	5 %	40
M7	1 %	7,5	10 %	40
M8	2 %	9	10 %	40

5. Le dosage de l'AIA

Le dosage de l'AIA a été réalisé après quatre puis huit jours d'incubation. 5 ml de chaque flacon ont été récupéré dans des conditions d'asepsie totale puis filtré à travers du papier wathman N : °3.



Figure 15 : la filtration des cultures après fermentations.

Pour réaliser le dosage de l'AIA, nous avons préparé le réactif de Salkowski qui contient deux solutions : 1ml de FeCl_3 à 0,5 M (chlorure ferrique et l'eau distillée) et 50ml d'acide perchlorique à 35%.

Selon la technique de Brick *et al.* ; (1991), pour chaque 2 ml des filtrats ont été ajoutés 4 ml de réactif de Salkowski, le mélange a été agité et laissé pendant 20 minutes à l'obscurité et à l'air libre. La densité optique a été mesurée à l'aide du spectrophotomètre réglé à une longueur d'onde de 530 nm.



Figure 16: Préparation du réactif de Salkowski :
S1 (acide perchlorique), S2 (FeCl_3), S (Salkowski).

L'estimation quantitative de l'AIA est effectuée en utilisant une courbe d'étalonnage, de la pente calculée et qui est égale à 0,011.

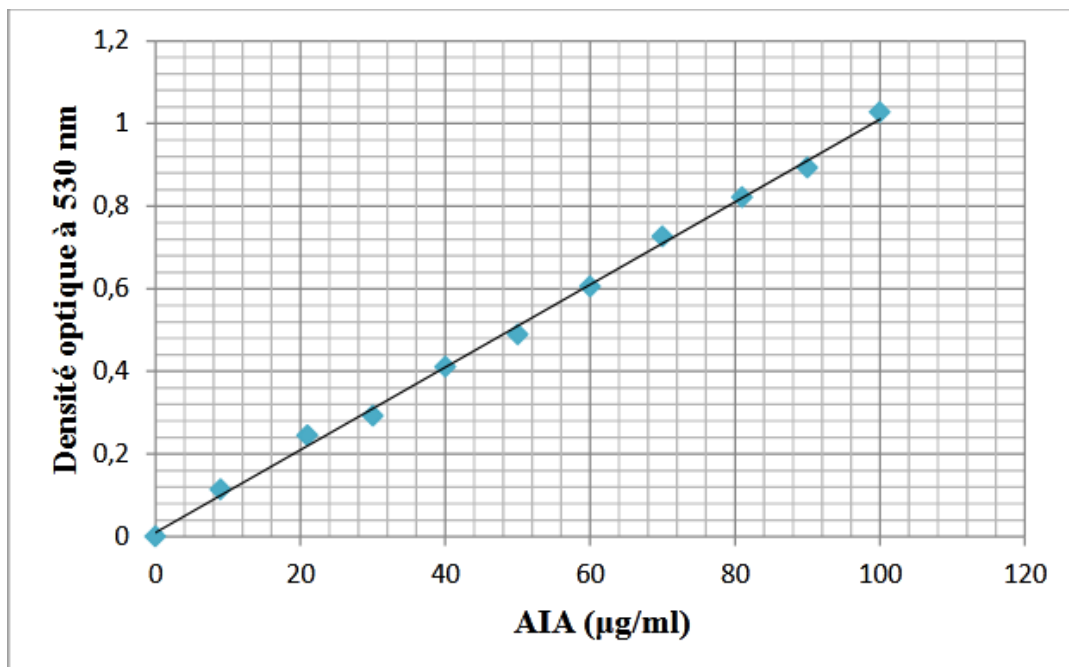


Figure 17: Courbe d'étalonnage de l'AIA (Annab et Dafri, 2018).

Résultat
et
Discussions

1. La culture de la souche *Nocardiopsis dassonvillei*

Sur le milieu ISP5, la souche *Nocardiopsis dassonvillei* a donnée, après 2 à 3 jours d'incubation à 30 °C, des colonies de 1 à 2 mm de taille, sèches, plates et incrustées dans la gélose avec des contours régulier comme illustré dans la figure ci-dessous.



Figure 18: Aspect macroscopique des colonies de la souche *Nocardiopsis dassonvillei*.

Le mycélium de substrat est bien développé de couleur vert, après 21 jours d'incubation, il devient brun (Figure 19-d). Le mycélium aérien de couleur beige donne une masse sporale de couleur blanche. Les colonies ne produisent pas de pigments diffusibles (Figure 19-a, b, c). Le tableau numéro six et la figure 18 résumes les résultats de cette étude.

Tableau 6 : Les caractères macroscopiques de la souche *Nocardiopsis dassonvillei* sur le milieu ISP5 après 7, 14 et 21 jours d'incubation.

L'âge de la culture	Mycélium de substrat	Mycélium aérien	Masse sporale	Pigment diffusible
Après 7 jours	++ Vert	+/- Beige	+/- Blanche	-
Après 14 jours	++ Vert	++ Beige	++ Blanche	-
Après 21 jours	++ Brun	+ Beige	+ Blanche	-

Croissance : Bonne (++), Moyenne (+), Faible (+/-).

Production de pigment diffusible: Présence(+), Absence(-).

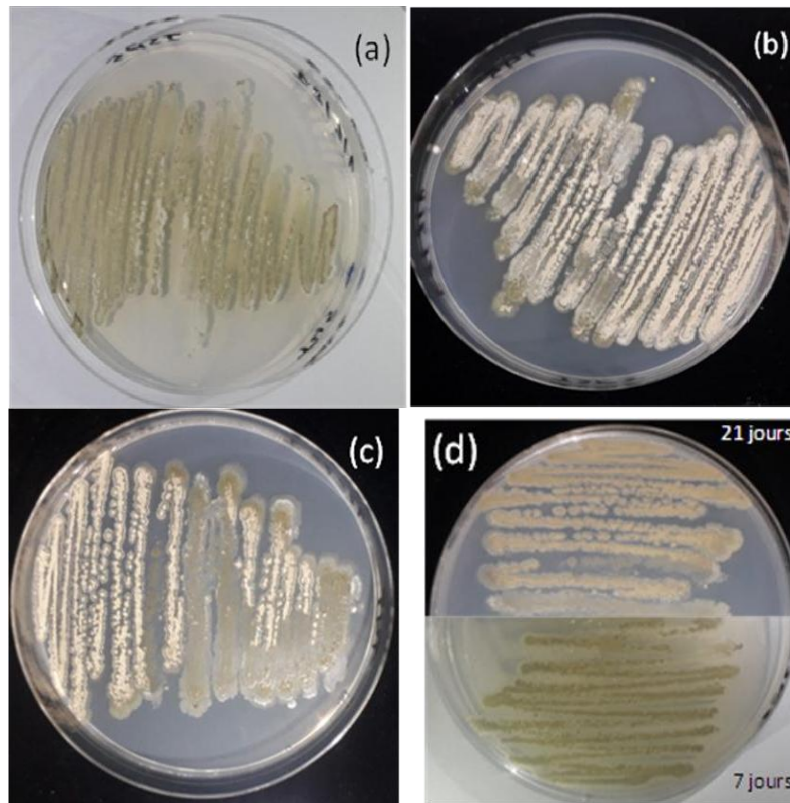


Figure 19: Mycélium aérien après : 7 jours (a), 14 jours (b) et 21 jours (c) sur le milieu ISP5. (d) : le mycélium de substrat sur le milieu ISP5.

2. La détermination des caractères morphologique de la souche

Nocardiopsis dassonvillei

2.1 L'étude macroscopique

Les caractères culturels ont été déterminés sur les milieux de culture ISP7, ISP5, DSMZ 65 et Glucose-Asparagine. Nous avons remarqué que la croissance et la sporulation de notre souche sur ISP5 et ISP7 est moyenne (Figure 20-b), et faible sur le milieu Glucose-Asparagine (Figure 20-a), par contre sur le DSMZ65 présenté une bonne croissance et sporulation et la plus rapide (Figure 20-c).

Les mycéliums aériens présentent des couleurs variées, sur les différents milieux utilisés, beige pour les milieux ISP5 et Glucose-Asparagine (Figure 20-H), beige-gris clair pour le milieu DSMZ65 (Figure 20-G) et beige-rose pour le milieu ISP7 (Figure 20-I).

Tandis que les mycéliums de substrat sont colorés en beige-brun sur les milieux ISP7 et Glucose-Asparagine (Figure 20-d), brun-vert amande sur l'ISP5 (Figure 20-f) et brun sur le milieu DSMZ65 (Figure 20-e). Tous Les caractères morphologiques de la souche T45 sur les quatre milieux illustrés dans le tableau 7. On note une absence totale de production des pigments mélanoides (Figure 21).

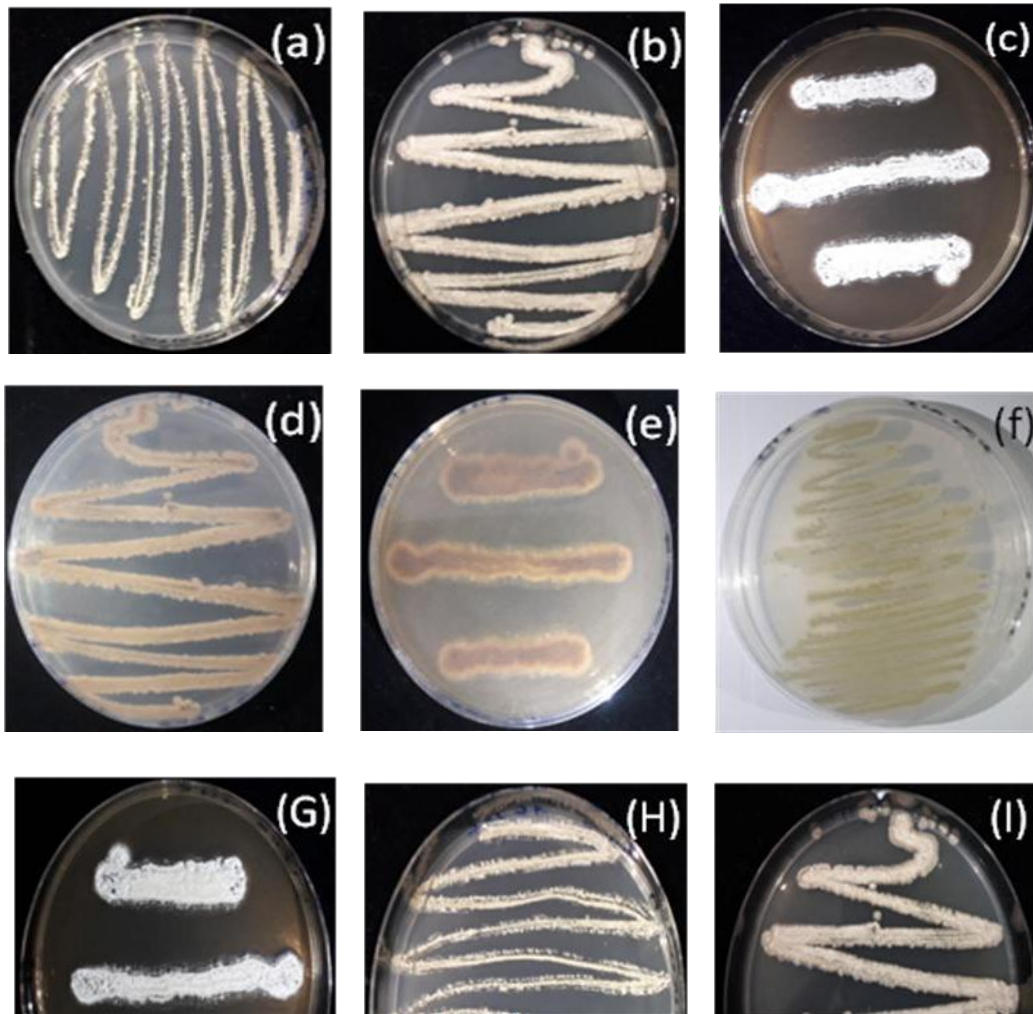


Figure 20: Les caractères cultureux de la souche *Nocardiosis dassonvillei* sur les quatre milieux.

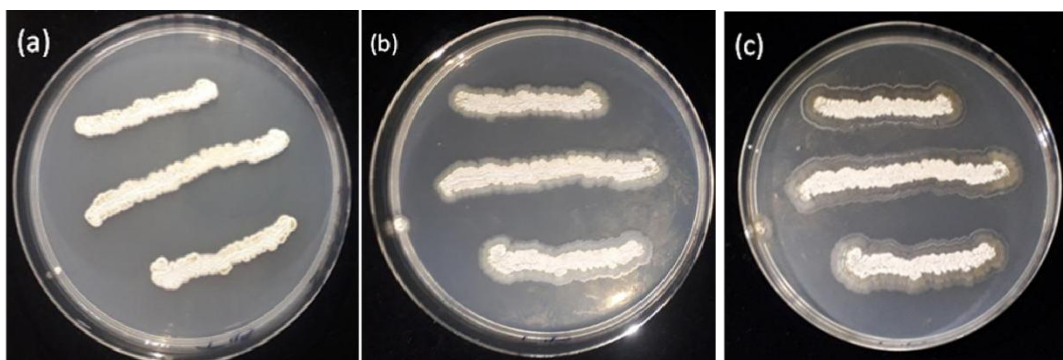


Figure 21: l'absence de production des pigments mélanoides sur le milieu ISP7, (a) : après 7 jours, (b) : après 14 jours, (c) : après 21 jours.

Tableau 7 : Les caractères morphologiques de la souche *Nocardioopsis dassonvillei* sur les quatre milieux.

Milieux de cultures	1 ^{ère} apparition	Croissance	Sporulation	Mycélium de substrats	Mycélium aérien
ISP5	48 heures	Moyenne	Moyenne	Brun-vert amande	Beige
ISP7	48 heures	Moyenne	Moyenne	Beige-brun	Beige-rose
GA	48 heures	Faible	Faible	Beige-brun	Beige
DSMZ65	24 heures	Abondante	Abondante	Brun	Beige-gris clair

Dans d'autres études réalisées par Tammine et Kikaia (2015), les caractères macromorphologiques et culturels de la souches *Nocardioopsis* sont déterminés sur le milieu spécifique gélosé ISP2, observée après 7, 14 et 21 jours d'incubation à 30°C.

La comparaison des résultats de l'étude morphologique de la souche *Nocardioopsis* sont en parfaite corrélation avec les caractères morphologiques de la souche *Nocardioopsis dassonvillei*. Comme illustré dans le tableau et la figure qui suivent.

Tableau 8 : Les caractères culturels de la souche *Nocardioopsis* sur le milieu ISP2 après 7, 15 et 21 jours d'incubation

	Mycélium primaire		Mycélium secondaire		Masse sporale	Pigment diffusible
	Croissance	Couleur	Croissance	Couleur		
7 jours	Bonne	Beige	Bonne	Beige	Blanche	Absence
15 jours	Bonne	Beige	Bonne	Beige	Blanche	Absence
21 jours	Abondante	Beige	Abondante	Beige	Grise	Absence

2.2 L'étude microscopique

L'observation microscopique au grossissement x100 a illustré la présence de longs filaments très ramifiés. Après 7 jours d'incubation, le mycélium de substrats apparait long, fin, dense très ramifié non fragmenté et très enchevêtré (Figure 23-a) contrairement au mycélium aérien qui est très fin moins dense et moins ramifié (Figure 23-b). Après une incubation prolongée, le mycélium secondaire (Figure 23-c) et primaire (Figure 23-d) présentent des fragmentations et donne des chaînes des spores comme illustré dans la figure ci-dessous.

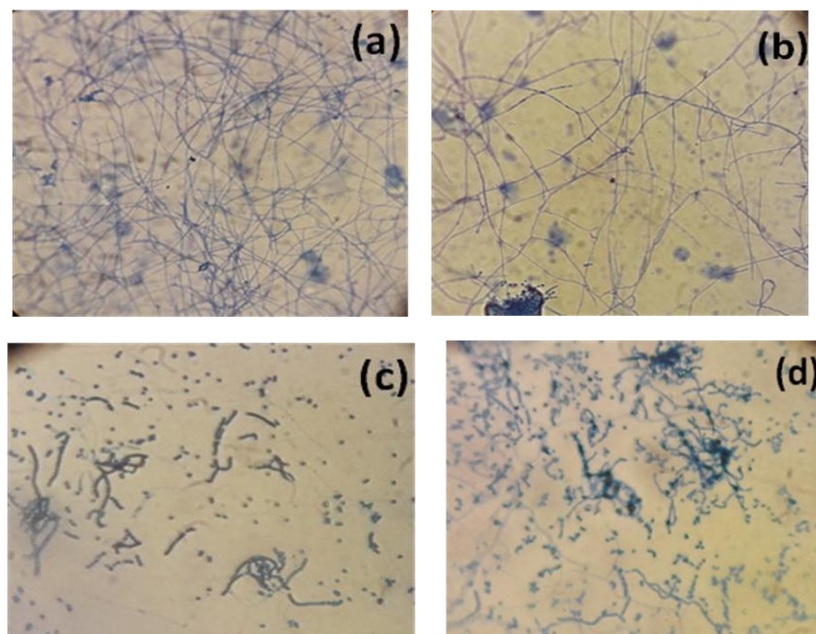


Figure 22: Examen microscopique Gx100 de la souche *Nocardioopsis dassonvillei* après coloration de Gram du mycélium primaire (a, d) et du mycélium secondaire (b, c) par la technique des lamelles.

La comparaison des résultats de l'étude macroscopique et microscopique entre la souche *Nocardioopsis dassonvillei* et la souche *Nocardioopsis* prouve qu'il y a des points commun et d'autres différentes comme c'est mentionné dans le tableau suivant. Nous concluons que notre souche appartient à la famille *Nocardiopsaceae* et au genre *Nocardioopsis*.

Tableau 9 : la comparaison des caractères macromorphologique et micro morphologique de la souche *Nocardioopsis dassonvillei* et le genre *Nocardioopsis*.

Caractère	<i>Nocardioopsis dassonvillei</i>	<i>Nocardioopsis</i>
Mobilité	N.D	Non mobile
Mycélium de substrat	Bien développé Long filaments très ramifiés Dense	Bien développé Long fragmenté en éléments Dense
Mycélium aérien	Développé avec le temps Long Moyennement ramifié	Bien développé Long Moyennement ramifié
Les spores	En chaines autre séparer	Allongée
Pigment diffusible	Absence	Absence

3. La production de l'AIA

2.1 La fermentation

Après 5 jours d'incubation, la souche croit au fond des flacons sous forme de filaments avec la présence de trouble exception dans le milieu M3 au les cultures sont sous forme de pellettes et de filaments. Dans le milieu M5 sous forme de pellettes dans tout le milieu.

Après 8 jours d'incubation les cultures on garder le même aspect de croissance.

Comme illustre dans le tableau et la figure suivants.

Tableau 10 : Aspect des cultures bactériennes après 5 jours.

Flacons	Trouble/Limpide	Filament/Pellette	Fond/surface
M1	Trouble	Filaments	Au fond
M2	Trouble	Filaments Émiettés	Au fond
M3	Trouble	Filaments- Pellettes	Au fond
M4	Trouble	Longs filaments	Au fond
M5	Trouble	Pellettes	Tout le milieu
M6	Trouble	Filaments	Au fond
M7	Trouble	Longs filaments	Au fond
M8	Trouble	Filaments Émiettés	Au fond

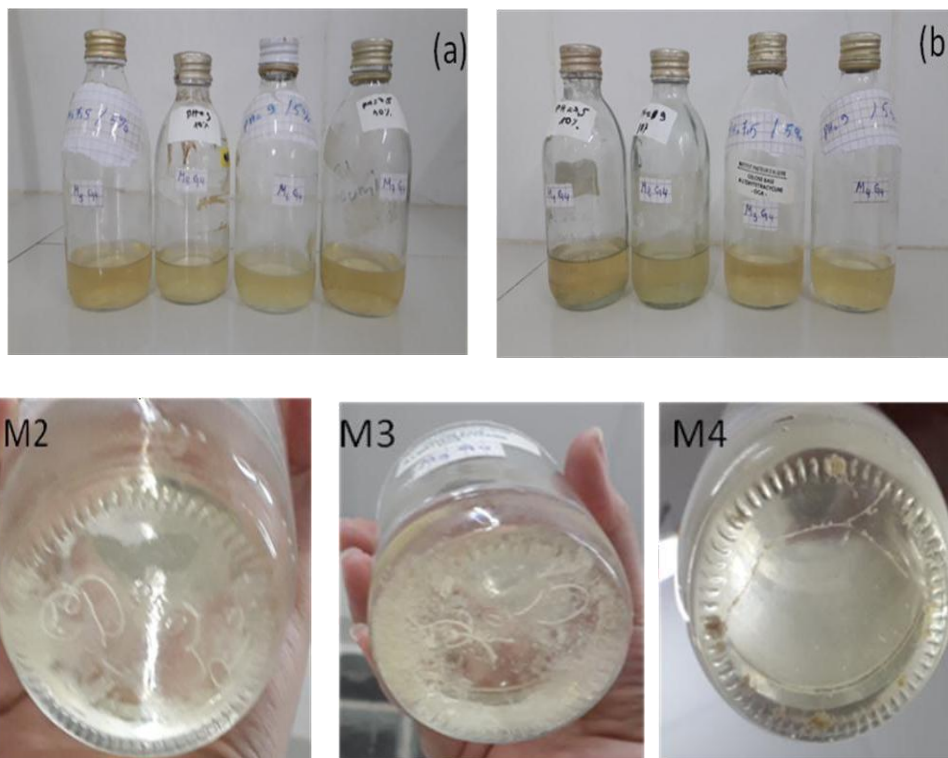


Figure 23: Aspect de certaines cultures après 5 jours d'incubations (a) :40°C (b) :30°C, M2 : culture bactérienne 2, M3 : culture bactérienne 3, M4 : culture bactérienne 4.

2.2 Le dosage de l'AIA

La recherche de la production de l'AIA a été réalisée après 4 et 8 jours d'incubation, Le dosage a été réalisé après l'ajout de 4 ml de réactif de Salkowski et l'incubation en respectant les conditions d'obscurité à l'air libre, la réaction se traduit par une apparition d'une coloration rose. Les résultats de cette étude sont mentionnés ci-dessous :

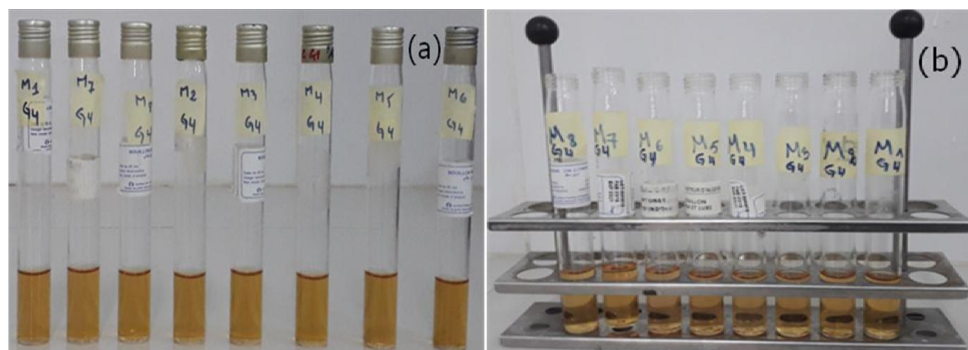


Figure 24: La production de l'AIA à différents facteurs physicochimiques ; (a) : après 4 jours, (b) : après 8 jours.

2.3 Les mesures de la production de l'AIA

Pour le 1^{er} et le 2^{ème} dosage, nous avons mesurés les DO à une longueur d'onde de 530 nm à l'aide d'un spectrophotomètre, après obtention les résultats nous avons calculé la concentration de production d'AIA à partir d'une courbe d'étalonnage. La pente calculée a été égale à 0,011. Les résultats de cette étude sont mentionnés ci-dessous :

Le premier dosage de l'AIA a été réalisé après 4 jours d'incubation à différentes conditions physicochimiques. L'histogramme de la figure 27 montre une production maximale dans le milieu M6 avec un taux de 26.18 μ g/ml, par contre on note une production minimale dans le milieu M2 avec un taux de 17 μ g/ml.

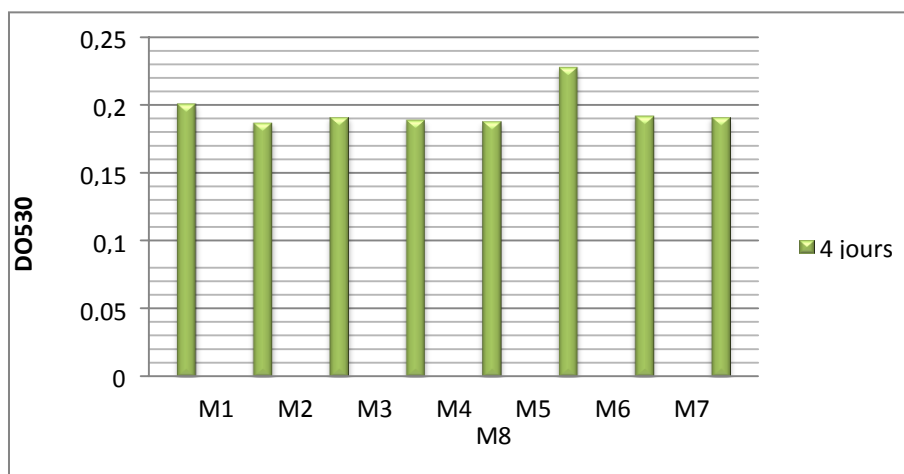


Figure 25 : La production de l'AIA après 4 jours d'incubation à différentes conditions physicochimiques.

Après 8 jours de fermentation, le deuxième dosage a été effectué. Les résultats présentés dans l'histogramme de la figure 28 montrent que les quantités de l'AIA produites par T45, atteignent un maximum dans le milieu M7 avec un taux de 18,36 $\mu\text{g/ml}$, par contre dans le milieu M2 la production est la plus faible avec un taux de 14,90 $\mu\text{g/ml}$.

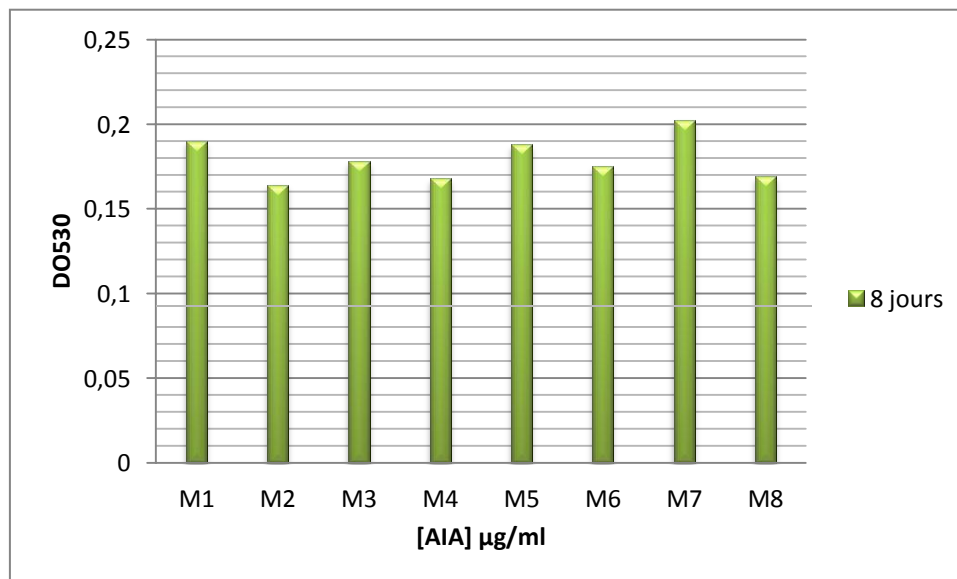


Figure 26: La production de l'AIA après 8 jours.

2.4 Effet des différentes conditions de cultures sur la production de l'AIA

3.4.1 L'effet de la taille d'inoculum sur la production de l'AIA

L'effet la taille de l'inoculum sur la production de l'AIA est illustré par histogramme suivant. Il montre que la quantité de l'AIA la plus élevée après 4 jours de culture a été observée à 2% (d'inoculum) avec une valeur de 19,79 $\mu\text{g/ml}$. Et après 8 jours nous n'observons aucune différence significative entre la production de l'AIA pour les deux tailles d'inoculum.

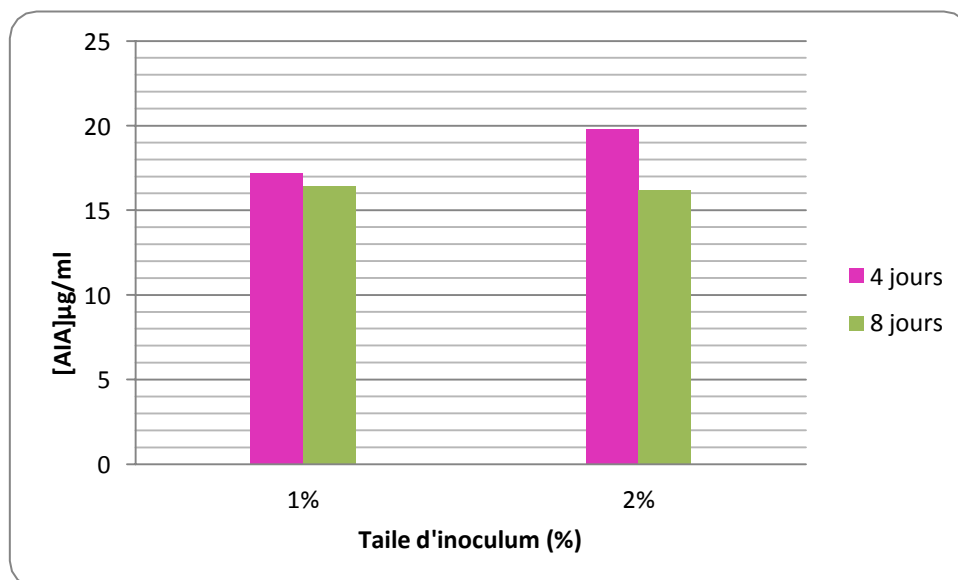


Figure 27: La production de l'AIA à différentes tailles d'inoculum.

3.4.2 L'effet de la température sur la production de l'AIA

D'après les résultats de la figure 30, nous observons que la production de l'AIA après 4 jours et 8 jours est plus élevée pour la température 40°C.

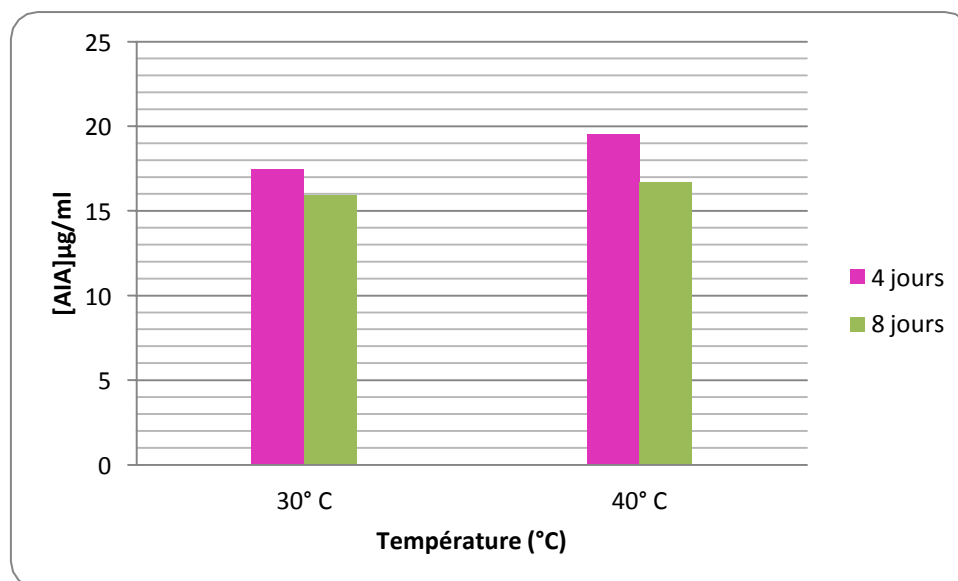


Figure 28: la production de l'AIA à différentes valeurs de températures.

3.4.3. L'effet du pH sur la production de l'AIA

Les mesures effectuées démontrent qu'après 4 jours la quantité de l'AIA la plus élevée est pour la valeur du pH 9 avec une valeur égale à 19,43, mais après 8 jours est la plus basse avec une valeur égale à 15,35.

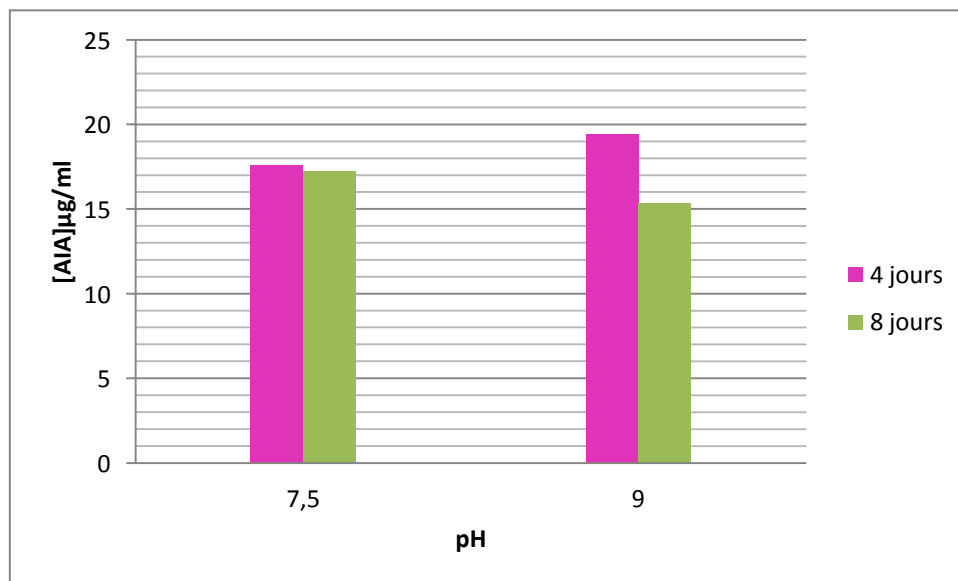


Figure 29: La production de l'AIA a différents valeurs de pH.

3.4.4 L'effet de la concentration du NaCl sur la production de l'AIA

L'histogramme ci-dessous, montre qu'après 4 jours la meilleure concentration de NaCl est égale à 5% pour obtenir une quantité d'AIA la plus élevée. Après 8 jours, on n'observe aucune différence entre les quantités d'AIA pour les deux concentrations.

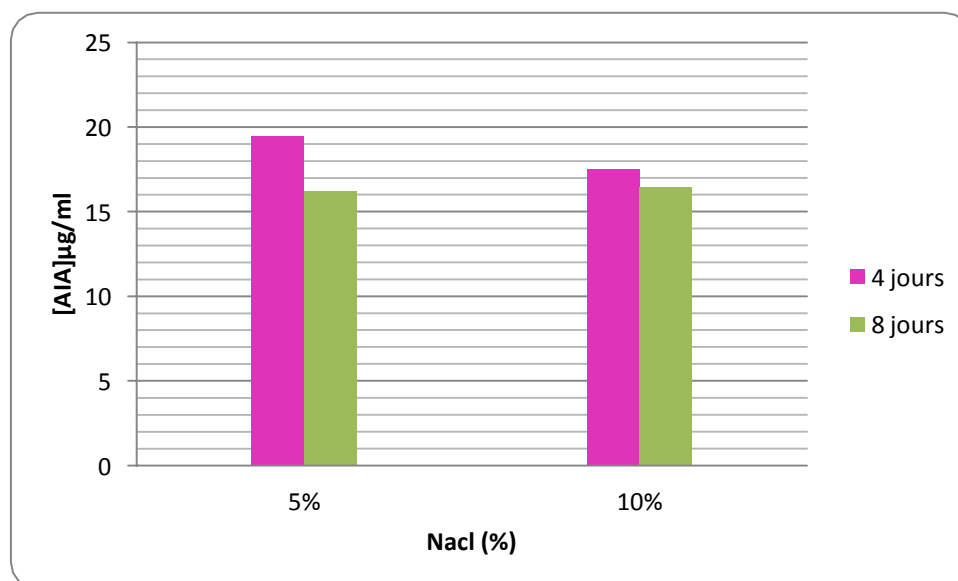


Figure 30: La production de l'AIA a différentes concentrations de NaCl.

En comparant nos résultats avec les résultats des travaux d'Ameur (2014) réalisé selon la méthode de Bano et Musarrat (2003). Les cinétiques de production de l'AIA sont suivies toutes les 24 heures (30 °C/7 jours). Les résultats obtenus sont illustrée dans les graphes suivant.

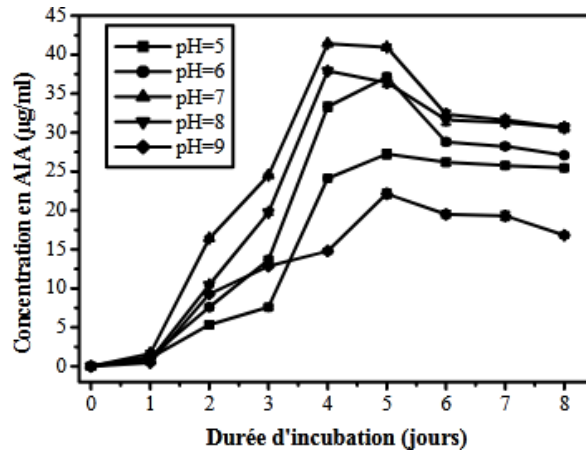


Figure 31: Effet du pH sur la Production de l'AIA chez *Nocardiosis* sp. MAD03 (Ameur, 2014)..

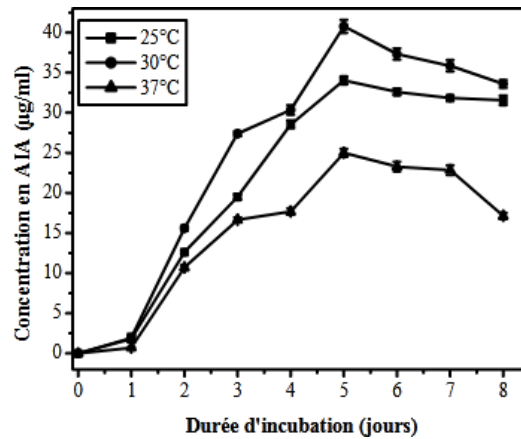


Figure 32 : Production de l'AIA chez *Nocardiosis* sp. MAD03 (Ameur, 2014).

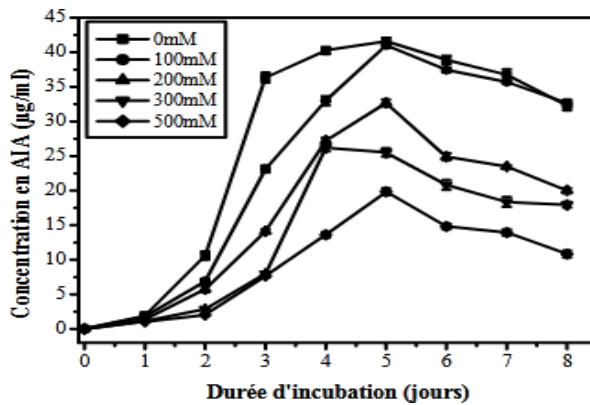


Figure 33: Effet du NaCl sur la production de l'AIA chez *Nocardiosis* sp. MAD03 (Ameur, 2014).

D'après les résultats obtenus, l'effet de pH sur la production d'AIA est également étudié, un pH de 7,5 est favorable à la production de l'AIA chez *Nocardiosis dassonvillei*

(17,22 µg/ml). Quant à la souche MADO3 elle a une valeur élevée (41,42 µg/ml). Par contre à pH 9 les teneurs en AIA diminuent pour les deux souches. Les pH acides ou basiques sont défavorables pour la production d'AIA.

Des températures de 30 °C sont favorables à la production de l'AIA chez les deux souches. Néanmoins, la souche MADO3 atteint des valeurs maximales à 30 °C et 25 °C (40,78 µg/ml).

Chez *Nocardiosis* sp. MADO3, des teneurs élevées en NaCl exercent une action inhibitrice sur la production de l'AIA : 32.67, 25.51 et 19.83 µg/ml à 200, 300 et 500 mM/NaCl. Des teneurs maximales en AIA sont observées à 0 et 100 mM/NaCl, elles sont respectivement de 41,6 et 41 µg/ml (Ameur, 2014) (Figure 33). Également à la souche T45 la production d'AIA a diminué avec le temps.

Conclusion

Les objectifs essentiels de ce travail étaient la caractérisation morphologique (macro et micro-morphologique) d'une souche bactérienne *Nocardiopsis dassonvillei* appartenant au genre *Nocardiopsis* du groupe des actinobactéries et la mise en évidence de la capacité de cette souche à produire l'acide indole acétique (AIA).

Les résultats montrent que la souche *Nocardiopsis dassonvillei* présente, sur le milieu ISP5, de petites colonies (1 à 2 mm de diamètre), incrusté dans la gélose et sèches. Les colonies sont constituées de mycélium aérien bien développé de couleur beige, un mycélium de substrat de couleur verte qui vire au brun avec le temps et une masse sporale de couleur blanche.

Les cultures sur différents milieux : ISP5, ISP7, DSM65 et Glucose Asparagine, permettent le suivi du développement et de l'arrangement des mycéliums de substrat et aérien ainsi que la formation des spores. Elles montrent que la couleur des mycelia varie selon la composition du milieu et l'âge des cultures. L'observation macroscopique et microscopique des colonies ont permis de confirmer l'appartenance de la souche T45 à l'espèce *Nocardiopsis dassonvillei*.

La souche *Nocardiopsis dassonvillei* a été testée, en vue de mettre en évidence sa capacité à produire l'AIA, en évaluant les différents facteurs qui peuvent influencer la fonctionnalité de cette souche sélectionnée à produire cette hormone.

Les résultats expérimentaux ont révélé une efficacité de la souche *Nocardiopsis dassonvillei* à produire des quantités importantes d'AIA. Cette efficacité est fortement influencée par la composition du milieu de culture et les conditions étudiés. Ces derniers ont présenté un effet significatif sur la production d'AIA. Le pH 9, la température de 40 °C, la concentration en NaCl de 2%, et la taille de l'inoculum de 2% ont mené à un rendement maximal dans la production de l'AIA par T45. Le meilleur taux de production a été observé après le quatrième jour d'incubation et atteint son maximum de production avec une valeur de 26,18 µg/ml.

Référence bibliographique

A

- Affane M. et Righi H. (2019) Actinobactéries source de substances bioactives à fort potentiel en lutte biologique antifongique. Master en Sciences Biologiques. Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi -B.B.A, p 15.
- Ajouz S. (2009) Estimation du potentiel de résistance de *Botrytis Cinerea* à des biofongicides. Thèse de Doctorat.Sciences. Université d'Avignon et des pays de Vaucluse. France, p 15-17.
- Reynier .A (2011) Manuel de viticulture : guide technique du viticulteur, Paris, Éd. Tec & doc.
- Alkama M et Harouna MA. (2014) Etude de quelques activités enzymatiques des actinomycètes isolé de deux écosystèmes extrêmes dans le sud Algérien. Mémoire de Master en Microbiologie Générale et biologie moléculaire des microorganismes. Université Constantine 1, p 6.
- Almaris N.A (2007) Cellulose degradation and biofilm formation in the developemental Life cycle of the cellulolytique actinomycetes *Thermobifida fusca*. UMI, p 134.
- Andriambelason H.O. (2016) Sélection et caractérisation de souches d'actinomycetes isolées à partir des rhizomes et du sol rhizosphérique de gingembre ayant des activités biologiques comparables à celles de son huile essentielle, p 22.
- Andriambololona T. (2010). Etude biologiques et chimiques des métabolites secondaires des actinomycètes telluriques cas de la forêt d'Ankafobe. Thèse de doctorat. Université d'antannanarivo, p. 5-10.
- Aouar L (2013) Isolement et identification des actinomycètes antagonistes des microorganismes phytopathogènes. Thèse de Doctorat en Sciences En Biochimie et Microbiologie Appliquées. Université Mentouri-Constantine, p 20, 22-25.
- Arfaoui M. (2019) Lutte biologique contre les moisissures toxigènes. Thèse de doctorat en sciences biologiques. Université Tunis El Manar, p 33.
- Aydi N. (2013). Maladies de la tomate d'origine fongique. Direction Générale de la Protection et du Contrôle de la Qualité des Produits Agricoles. Monastir, Tunisie.
- Arif F. (2015) Effets du stress salin et d'osmoprotecteurs naturels sur la germination de blé dur (*Triticum durum*) inoculé par *Pseudomonas fluorescens*. Thèse de doctorat en sciences biologiques. Université Ferhat Abbas Sétif1, p 1.



- Annab A. et Dafri F. (2018) Production de l'auxine chez des actinobactéries rhizosphériques appartenant aux genres *Streptomyces* et *Nocardioopsis*. MASTER EN BIOLOGIE. Université Larbi Ben M'hidi Oum EL Bouaghi, p 1.

B

- Barka EA. Vasta P. Sanchez L .Gareau-Vaillant N. Jocquard C. Meir-Kolthoff JP. Klenk HP. Clément C. Ouhdouh Y. VanwezelGp (2016) Taxonomy, physiology, and natural products of actinobacteria. *Microbiology and molecular biology reviews*, p 4.
- Baker D.D. (1988) Opportunities for autoecological studies of *Frankia*, a symbiotic actinomycete. In: Okami Y., Beppu T., Ogawara H. "Biology of Actinomycetes" Tokyo: Japan Scientific Societies Press, p 271-276.
- Bakour L. (2006) Caractérisation chimique de nouvelles mutatumicines synthétisées par *Saccharothrix* SA103 et influence des sources de carbone et d'azote sur la production. Mémoire de magistère, université A. Mira de Bejaia.
- Belabed B. (2014) Recherche des activités anti-pathogènes chez les espèces du genre *Streptomyces* isolées de différents biotopes. Magister en biologie. Université d'Oran, p 21.
- Belyagoubi L. (2014). Antibiotiques produits par des bactéries (actinomycètes et bactérie lactiques) issus de différents écosystèmes naturels Algériens. En vue de l'obtention du diplôme de doctorat en biologie, Université Abou Bakr Belkaid, Telemcen, p. 12.
- Boughachiche F. (2012) Étude de molécules antibiotiques secrétées par des souches appartenant au genre *Streptomyces*, isolées de Sebka. Thèse Présentée pour l'obtention du diplôme de Doctorat en Sciences en Biotechnologies Microbiennes. Algérie : Université Mentouri- Constantine, p 14-19.
- Belkadi Z. et koliai Y. (2016) Isolement de bactéries rhizosphériques à activité antagoniste et essai dans le biocontrôle de *Botrytis cinerea* sur la tomate. Master en Microbiologie Appliquée. Université MOULOUD MAMMERI de Tizi-Ouzou, p 1.

C

- Chung K. R ET Tzeng D. (2004). Biosynthesis of indole-3-acetic by the gallinducing fungus *Ustilago exulenta* J. Biol. Sci. 04(6), p 744-750.

D

- Dgigal D. (2003). Interaction entre la communauté microbienne du sol (bactéries et champignons mycorhiziens) et les nématodes bactérovores: effet sur la nutrition minérale et la croissance de différentes plantes. Thèse doc : université Cheikh Anta Diop De Dakar. p157.
- Djemai S. et Djemai M. (2019) Caractérisations de quelques isolats d'actinomycètes et mise en évidence de production de molécules bioactifs. diplôme de Master en Sciences Biologiques. Université Djilali Bounaama Khemis Miliana, p 11.
- Doumbou C. Hamby Salove M. Crawford D. ET Beaulieu C. (2001) Actinomycetes, promising tools to control plant diseases and to promote plant growth. *Phytoprotection*, 82(3), p 85.

E

- Elodie G. (2010). Moléculaires antibactériennes issues d'huiles essentielles : séparation, identification et mode d'action. Thèse de doctorat. Université de Corse-Pasquale Paoli, p 5.

G

- Garrity. G.M.; Lilburn. T. G; Cole. J.R; Harrison. S.H., Euzéby. J; and B.J. Tindall (2007). *Bergey's Manuel of Systematic Bacteriology*. In: Part 10: Taxonomic Outline of the Bacteria and Archeae. Coyright, Michigan State University Board of Trustees.
- Ghadbane M. (2014) Microflore rhizosphérique de quelques Fabacées (légumineuses) endémiques dans les régions de Boussaâda et de Biskra (Algérie). Thèse de Doctorat en Science. Université Ferhat Abbas Sétif 1, p 16,19.
- Ghorri S. (2016) Isolement des microorganismes possédant une activité anti-*Fusarium*. Doctorat 3ème cycle LMD En Bioprocédés et Biotechnologies. Université frères Mentouri Constantine, p 14.
- GoodFellow M. and S.T. Williams (1983). Ecology of actinomycetes. *Ann. Rev. Microbiol.* (37), p189-216.

H

- Hasegawa, S., A. Meguro, M. Shimizu, T. Nishimura ET H. Kunoh. (2006) Endophytic actinomycetes and their interactions with host plants. *Actinomycetol.* 20(2), p 75.

K

- Keulen, G.V., Jonkers, H.M., Closson, Dand Woston H.A.B. (2003). Differentiation and anaerobiosis in standing liquid cultures of *Streptomyces coelicolor*. *J. Bacteriol.* 185(4), p 1455-1458.
- Kitouni M. (2007) Isolement de Bactéries actinomycétales productrices d'antibiotiques à partir d'écosystèmes extrêmes. Identification moléculaire des souches actives et caractérisation préliminaire des substances élaborées. En vue de l'obtention du diplôme de Doctorat d'état en : Microbiologies Appliquée. Université Mentouri-Constantine, p17.

L

- Lamari L. (2006). Production de nouveaux antibiotiques du groupe des pyrrothines par une nouvelle espèce d'actinomycète, *Saccharothrix algeriensis*. Thèse de Doctorat d'Etat, Université Mouloud Mammeri, Tizi Ouzou, p.186.
- Larpent J.P, et J.J. sanglier (1989). *Biotechnologies des antibiotiques*. Masson. Paris, p481.
- Lee J.Y. ET Hwang B.K. (2002) Diversity of antifungal actinomycetes in various vegetative soils of Korea Laboratory of Molecular Plant Pathology, College of Life and Environmental Sciences. Korea University. Korea. 48, p 407–417.
- Loqman S. (2009) La lutte biologique contre la pourriture grise de la vigne : Isolements caractérisation de souches des bactéries actinomycétales antagonistes à partir des sols rhizosphérique de vignes saines sauvages d'origine marocaine : Université de Reims champagne-ArEdenne Ecole Doctorale Sciences Exactes et Biologie. p253.

M

- Maalem A. Sansri D (2014) Activité anti-phytopathogène de quelques souches rhizosphériques appartenant aux groupes des actinomycètes filament et des

Pseudomonas spp fluorescents. Mémoire de Master en Biologie moléculaire des procaryotes. Université 8 Mai 1945 Guelma, p 22

- Manulis S. Shafrir H. Epstein E. Lichterl A ET Barash I. (1994) Biosynthesis of indole-3-acetic acid via the indole-3-acetamide pathway in *Streptomyces* spp. Agricultural Research Organization, The Volcani Centre. Palestine. 140, p 1045,1048
- Meamiche N.H. (2010) Etude de la spécialisation parasitaire et de la diversité génétique d'une collection d'isolats de *Botrytis* spp. Magister en Sciences Agronomique. Ecole nationale supérieure agronomique –ENSA, p 15.
- Merizig.H. Naami, F. (2015). Etude taxonomique de quelques souches d'actinomycètes isolées de la région d'Ouargla. Mémoire Master Académique. Microbiologie fondamentale et appliquée. Université Kasdi Merbah Ourgla, p 65.
- Messaoudi O (2013) Contribution à la caractérisation des souches d'actinomycètes productrices de métabolites antibactériens isolé de la Sebkha de Kenadsa Bechar Mémoire de magistère en microbiologie appliquée Université Abou Bakr Belkaid – Telemcen Algérie. p 12.
- Mohammed A. (2017) Caractérisation et lutte biologique vis-à-vis *Fusariumoxysporum*. Thèse de Doctorat en Sciences. Université d'Oran 1 Ahmed Ben Bella, p 11-15, 20-23.
- Moncheva P, Tishkov S, Dimitrova N (2002). Characteristics of Soil Actinomycetes from Antarctica, p 3-14.

N

- Nutaratat P. Srisuk N. Arunrattiyakorn P. ET Limtong S. (2016) Fed-batch Fermentation of Indole-3-acetic acid production in stirred tank fermenter by red yeast *Rhodospiridium paludigenum*. The Korean Society for Biotechnology and Bioengineering and Springer. Thailand. 21, p 414.

P

- Parul V. Aziz Z. Marine R. Sandra V. Hamid M. Christophe C ET A.B. Essaid (2017) How *Streptomyces anulatus* primes Grapevine Defenses to cope with Gray Mold: A Study of the Early Responses of Cell suspensions.
- Patten C.L. ET Bernard R. (1996) Bacterial biosynthesis of indole-3-acetic acid. University of Waterloo. Canada.42, p 207.

- Prescott L. M, Harley J. P. et D.A. Klein (2003). Microbiologie. De Boeck : Bruxelles. 2ème édition, p 537-542.

R

- Rakotoarimanga N. Zananirina J. Ramamonjisoa D. et Ramanankierana H. (2014) Lutte biologique antifongique : actinomycètes du sol rhizosphérique antagonistes de *Fusarium* isolé du fruit de tomate (*Solanumlycopersicum* L., 1753) pourri. Laboratoire de Microbiologie de l'Environnement, Centre National de Recherches sur l'Environnement (LME/CNRE), BP 1739, Fiadanana, Antananarivo, Madagascar.10 (N°3), p 244.
- Ramesh S. ET William A (2012) Marine actinomycetes: An ongoing source of novel bioactive metabolites. Elsevier GmbH, 167(N°10), p 571,574.

S

- Sabaou N. (1988). Contribution à l'étude des actinomycètes des sols des palmeraies algériennes: systématique et écologie. Thèse de Doctorat En Sciences Naturelles, option Microbiologie, USTHB, Alger. p 192.
- Saffroy S. (2006) Etude du métabolisme carboné chez *Streptomycespristinaespiralis*. Thèse de Doctorat en Biotechnologiques et Alimentaires Institut National Polytechnique de Lorraine, p 14-16.
- Saif S. Saghir Khan M. Zaidi A. ET Ahmad E. (2014) Role of Phosphate-Solubilizing Actinomycetes in Plant Growth Promotion. Faculty of Agricultural Sciences, Department of Agricultural Microbiology, Aligarh Muslim University, Aligarh 202002. Uttar Pradesh. India, p 138-145.
- Sathya A. Vijayabharathi R. Gopalakrishnan S. (2017) Plant growth-promoting actinobacteria a new strategy for enhancing sustainable production and protection of grain legumes. International Crops Research Institute for the Semi-AridTropics (ICRISAT). Patancheru. Hyderabad. Telangana502324. India, p 1-10.
- Smaoui S. (2010). Purification et Caractérisation de Biomolécules à partir des microorganismes nouvellement isolés et identifiés. Thèse de doctorat. Université de Toulouse, (France), p 21.
- Silini S. (2012)Contribution à l'étude de la biodégradation de la méthyléthylcétone en réacteur batch par les actinomycètes isolés à partir des boues activées de la station

d'épuration d'El-Atmania. Memoire de Magister en Ecologie. Université Mentouri Constantine, p 45,46.

T

- Thumar, J. T. et S. P. Singh. (2007) Secretion of an alkaline protease from a salt-tolerant and alkaliphilic *Streptomyces clavuligerus* Strain MIT-1. Braz. J. Microbiol. 38, p 766-772.
- Tokala, R. K., J. I. Strap, C. M. Jung, D. L. Crawford, M. H. S. Love, L. A. Deoblad, J. F. Bailey et M. J. Morra. (2002) Novel plant-microbe rhizosphere interaction involving *Streptomyces lydicus* WYEC108 and the pea plant (*Pisum sativum*). Appl. Environ. Microbiol. 68, p 2161-2171.
- Tammine I. et Kikaia A. (2015) Étude morphologique et phylogénétique d'une souche actinomycétale. Master en Sciences Biologiques. Université des Frères Mentouri Constantine, p 3,4.

W

- Wang W. Qiu Z. Tan H. Cao L. (2014) Siderophore production by actinobacteria. School of Environmental Science and Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, People's Republic of China, p 1-7.
- Web 1 : <http://www.universalis.fr/encyclopedie/actinomycetes>, mai 2018
- Web 2 : http://www.cours-examens.org/images/An_2013/Etudes_superieures/TC_Biologie/Cours/Microbio/Chapitre%2024.pdf
- Web 3: https://www.sciencedirect.com/topics/immunology-and-microbiology/phylosphere&ved=2ahUKEwjRmK36jcXxAhWGAsAKHYLuAVYQFjACegQIGRAC&usg=AOvVaw2_bpH4J0Zey3xofROBTIJO.
- Web 4: <https://www.sciencedirect.com/topics/chemistry/rhizosphere&ved=2ahUKEwi4qrGRjMXxAhWYOsAKHRiBDaEQFjANegQIIRAC&usg>.
- Web 5: <https://www.studocu.com/row/document/universite-des-sciences-et-de-la-technologie-houari-boumediene/corporate-law/summaries/m1-protection-des-vegetaux-19-20-cours-phytopathologie-master-snv/11277057/view>.
- Web 6: <https://www.larousse.fr/encyclopedie/divers/ascomyc%C3%A8te/23261>

- Web 7: <http://ephytia.inra.fr/C/24674/Tropileg-Fontes-de-semis>.
- Web 8: https://www.agro.basf.fr/fr/cultures/vigne/maladies_de_la_vigne/botrytis_de_la_vigne/symptomes_botrytis_de_la_vigne.html.
- Web 9: <https://www.agrifind.fr/alertes/vigne/vigne-pourriture-grise-grappe/#sympt%C3%B4mes>

Y

- Yilma S., Cannon-Sykora J., Samoylov A., Loc T., Liu N., Brinker C. J., Neely W. C. and Vodyanoy V., (2008) Large-conductance cholesterol–amphotericin B channels in reconstituted lipid bilayers. *Biosensors Bioelectron.* 22, p 1359–1367.

Annexe

Annexe 1 : La composition des milieux de culture**Milieu Glucose-Asparagine**

Glucose	10 g
L-asparagine	0,5 g
K ₂ HPO ₄	0,5 g
Agar	15 g
Eau distillée	qsp 1000 ml

pH = 6,8

Milieu ISP 5

Glycérol	10 g
L-asparagine	1 g
K ₂ HPO ₄	1 g
Solution saline	1 ml
Agar	20 g
Eau distillée	qsp 1000 ml

pH = 7,0 - 7,4

Milieu ISP 7

Glycérol	15 g
L-asparagine	1 g
K ₂ HPO ₄	0,5 g
NaCl	0,5 g
FeSO ₄ . 7H ₂ O	0,01 g
Agar	20 g
Eau distillée	qsp 1000 ml

pH = 7,2 - 7,4

Milieu DSMZ 65

Glucose	4 g
Extrait de levure	4 g
Extrait de Malt	10 g
CaCO ₃	2 g
Agar	12 g
Eau distillée	qsp 1000 ml

pH = 7,2

Tous les milieux ont été stérilisés en autoclave à 121°C pendant 20 minutes.

Solution saline

FeSO ₄ .7H ₂ O	0,1 g
MnCl ₂ .4H ₂ O	0,1 g
ZnSO ₄ .7H ₂ O	0,1 g
Eau distillée	qsp 100 ml

Réactif de de Salkowski

FeCl ₃	1 ml (0,5 M)
Acide perchlorique	50 ml (35%)

Eau physiologique

NaCl	0.9 g
Eau distillé	100 ml

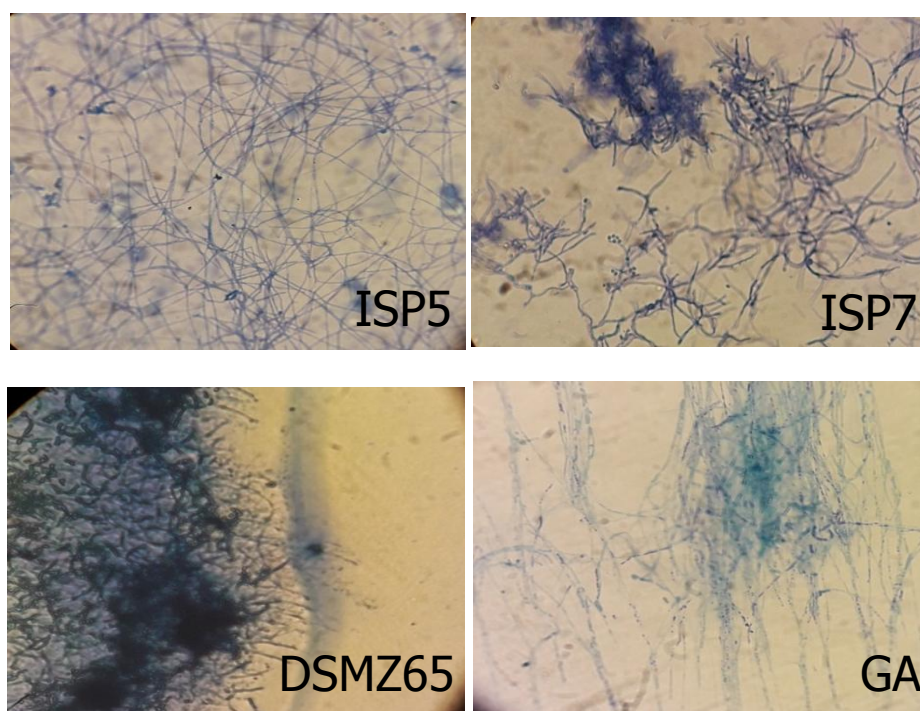


Figure : Examen en microscopie a Gx100 du mycélium primaire après 7 jours d'incubation par la technique des lamelles.

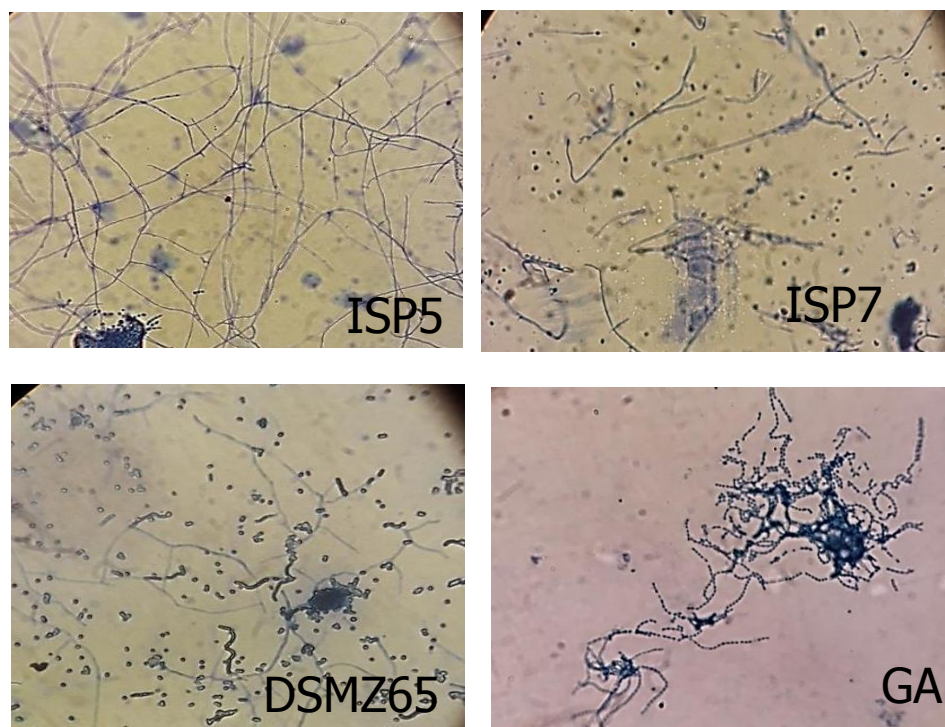


Figure : Examen en microscopique a Gx100 du mycélium secondaire après 7 jours d'incubation par la technique des lamelles.

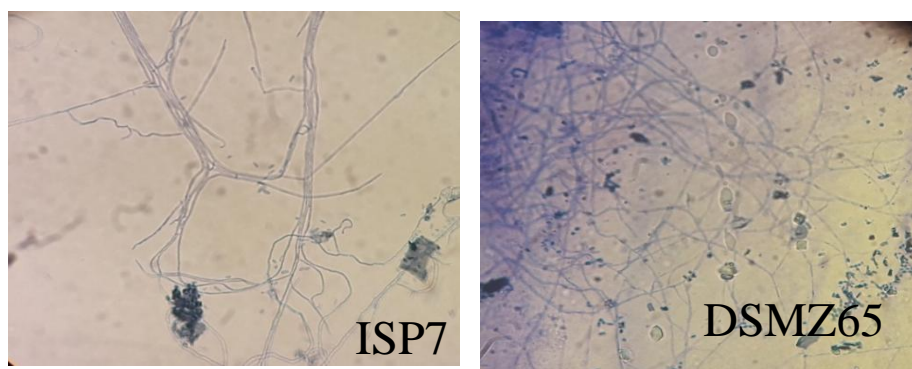


Figure : Examen microscopique à Gx100 du mycélium secondaire après 14 jours d'incubation par la technique des lamelles.

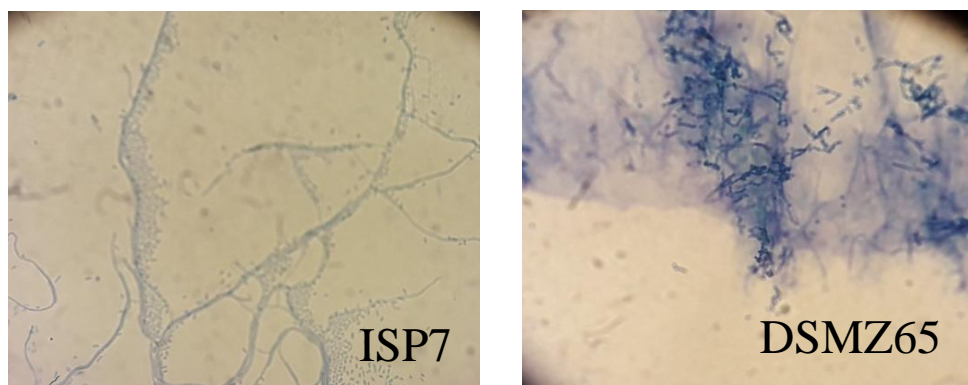


Figure : Examen microscopique à Gx100 du mycélium primaire après 14 jours d'incubation par la technique des lamelles.

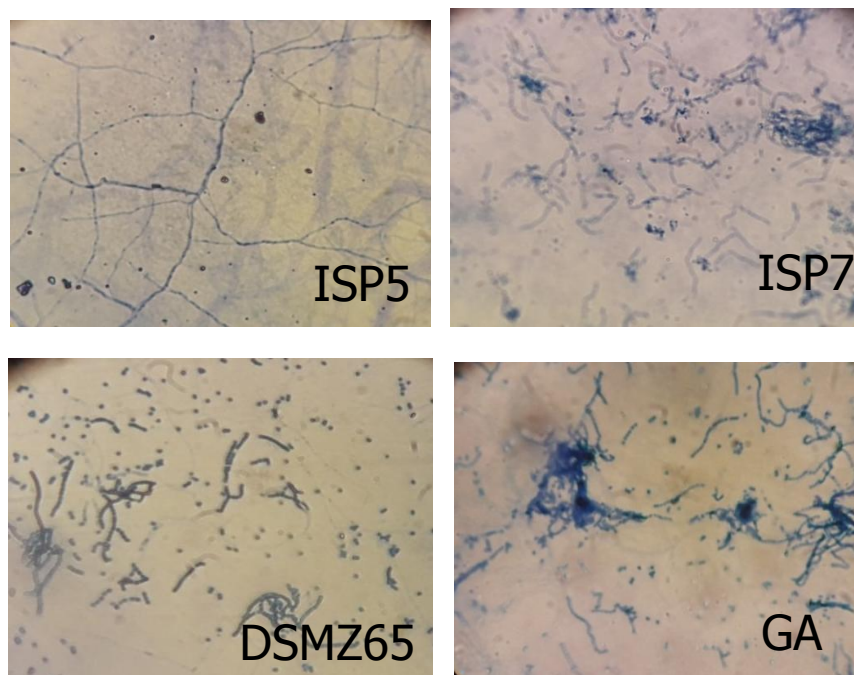


Figure : Examen microscopique à Gx100 du mycélium secondaire après 21 jours d'incubation par la technique des lamelles.

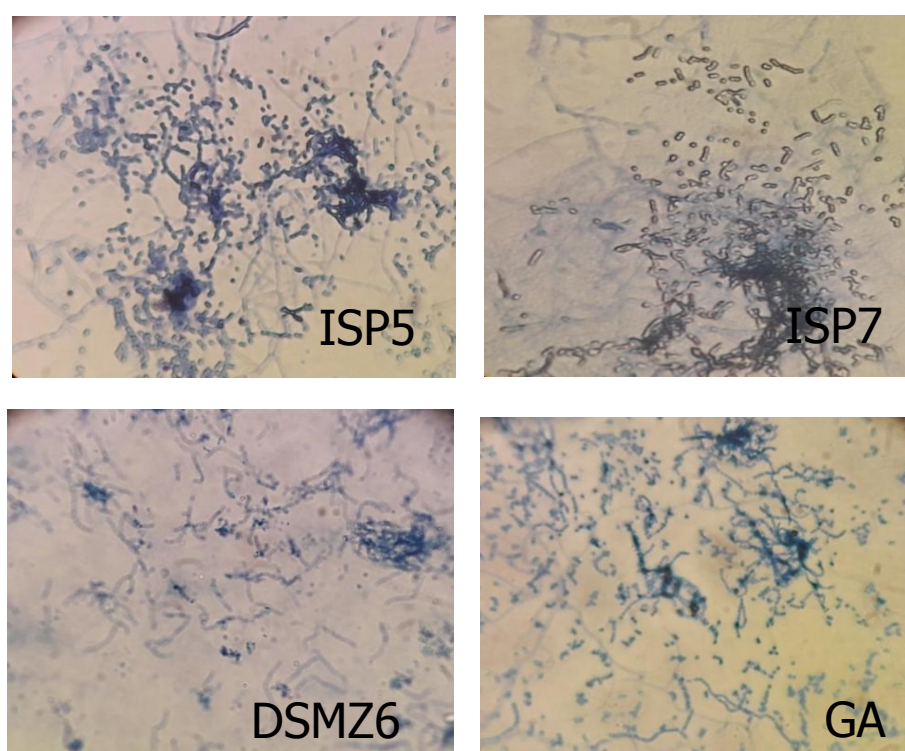


Figure : Examen microscopique à Gx100 du mycélium primaire après 21 jours d'incubation par la technique des lamelles.

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

Filière : Écologie et Environnement

Spécialité : Écologie microbienne

Titre :

Production de l'AIA par une souche actinobactérienne rhizosphérique appartenant à l'espèce *Nocardiopsis dassonvillei*.

Résumé

Notre étude a été réalisée sur une souche actinomycétale de la collection du laboratoire de génie microbiologique et application. La souche a été assignée à l'espèce *Nocardiopsis dassonvillei*. L'objectif du travail a été l'étude des caractères morphologique et culturaux de la bactérie et le test de la production de l'acide indole acétique (AIA) qui stimule la croissance des plantes.

Sur les milieux de culture utilisés, ISP5, ISP7, Glucose Asparagine et DSMZ65, la souche a montré un bon développement. Le milieu DSMZ65 a été le meilleur pour une bonne croissance et une bonne sporulation. Sur le milieu ISP7, la bactérie n'a produit aucun pigment mélanoidé. L'examen microscopique au grossissement $\times 100$ a permis de montrer le bon développement mycélien des colonies sur les quatre milieux gélosés et de déterminer grâce à la technique des lamelles la structure microscopique du mycélium du substrat et aérien après 7,14 et 21 jours d'incubation à 30 °C. En effet la souche présente de longs filaments, ramifiés, plus ou moins enchevêtrés.

La souche a montré une capacité à synthétiser l'hormone végétale l'AIA à différentes conditions physico-chimique (pH, température, NaCl et la taille d'inoculum). La préparation des milieux de fermentation a été à différentes concentration de NaCl (5 et 10%) et à différentes valeurs de pH (7.5 et 9). Nous avons également fait varier la taille de l'inoculum (1 et 2%) et les températures d'incubation (30 °C et 40 °C). Le dosage de l'AIA a été après 4 jours d'incubation puis 8 jours d'incubation. La mise en évidence de la production de l'AIA est basée sur la filtration des suspensions bactériennes et la réaction de Salkowski. L'apparition de la couleur rose indique la production de l'AIA, et la mesure de la concentration a été réalisée par un spectrophotomètre. Cette étude nous a permis de conclure que le 4^{ème} jours d'incubation est le plus favorable pour la production d'AIA, et les valeurs des facteurs physico-chimique sélectionnés pH : 9, température : 40 °C, NaCl : 5% et taille d'inoculum : 2% sont les meilleures conditions de culture pour la production d'AIA chez cette souche actinomycétale.

Mots clés : Actinomycètes, *Nocardiopsis dassonvillei*, Les Phytohormone, Acide indole acétique.

Membre du jury

Président du jury : KITOUNI M. (Prof - UFM Constantine1).

Rapporteur : OULMI L. (MCB - UFM Constantine1).

Examineurs : CHABBI R. (MAA - UFM Constantine1).

Présentée par : BOUZRAIB Kenza ; BELKHALFA Lina ; FILALI Nora

Année universitaire : 2020-2021