



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université Frères Mentouri Constantine 1

جامعة الإخوة منتوري قسنطينة 1

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

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 : Sciences Biologiques

Spécialité : *Biologie Moléculaire des microorganismes*

Intitulé :

**Production d'acide indole acétique (AIA) par la souche
*Nocardioopsis aegyptica***

Présenté et soutenu par : *FILALI Nour el yakine*

le : 19/09/2021

DIABI Sabrina

HALIMI Chaima

Jury d'évaluation :

Président de jury : *BENHIZIA Yacine*. (Professeur – UFM Constantine 1).

Rapporteur : *KITOUNI Mahmoud*. (Professeur – UFM Constantine 1).

Examineur : *OULMI Lamia*. (M.C.B – UFM Constantine 1).

Année universitaire

2020/2021

Remerciements

Ce mémoire de MASTER a été effectué au sein du laboratoire de génie microbiologique et applications au biopôle, complexe Chaab Erssas, Université Frères Mentouri Constantine, Nous remercions Mr. KITOUNI M. Professeur à l'UFM Constantine de nous confié ce travail. Nous tenons à lui adresser toute notre gratitude pour sa disponibilité, ses conseils, son soutien, sa patience et son aide pour la rédaction de ce manuscrit, et qui nous sommes sûr que cela nous sera bénéfiques dans les années futures.

Nous adressons au notre remerciements au Pr. BENHIZIA Y. Professeur à l'UFM Constantine d'avoir accepté de juger ce travail de MASTER.

Nous remercions également Mm. OULMI L. Docteur (MCB) à l'UFM Constantine qui nous à fait l'honneur d'accepter d'examiner ce travail et aussi bien pour ses précieux conseils.

Remerciements

Nous remercions notre doctorante A. Sara Ghozlane pour son aide, soutien et ses encouragements durant la période de notre stage, merci énormément.

Enfin, nous ne saurions terminer sans adresser nos chaleureux remerciements à nos collègues de notre promotion en biologie option biologie moléculaire des microorganismes qui ont permis de près ou de loin à l'aboutissement de ce travail.

Dédicace

*Ce travail est dédié la mémoire de mon cher papa, qui nous
manque énormément Allah yarahmou...*

*Je dédie ce travail à ma chère maman qui n'a jamais cessé, de me
soutenir et de m'épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs,
je vous remercie.*

*A ma famille, qui m'a doté d'une éducation digne, son amour a
fait de moi ce que je suis aujourd'hui.*

A mes chères sœurs, et mes chers frères.

A mes chères amies.

*A toute personne qui a contribué de loin ou de près pour arriver à
ce jour là Merci infiniment...*

Nour el yakine ...

*Je dédie ce travail à mes chers parents,
Mon défunt père pour son amour, son soutien, ses sacrifices que
dieu lui fasse miséricorde,
Ma mère mon paradis dans ce monde pour sa tendresse qui m'a
toujours guidé tout au long de mes études.
A mon âme sœur Salma pour son soutien moral et son
encouragement
Mon petit ange Omaïma
Ma chère grand-mère, ma seconde mère ma tante, son mari et mon
frère unique Fayçal ...*

Sabrina...

*Je dédie ce mémoire à mon cher père Lamri et à ma Chère Mère
Zouleïkha pour leurs soutiens durant mes études et ses
encouragements.*

*Mes chères sœurs Ferial, Rania et Khaoula pour son dévouement
et ses encouragements.*

*Nour et Sabrina, mes collègues les plus proches pour leurs soutiens
et leurs esprits de travailler en groupe.*

Ma chère amie Nesrine pour leur soutien inestimable.

Ma grande mère Messouda.

Chaïma...

Résumé

Ce travail a pour but d'analyser la capacité d'une souche de l'espèce *Nocardiopsis aegyptica*, de synthétiser une phytohormone appartenant à la famille des auxines, l'acide indole acétique (AIA) qui stimule la croissance des plantes.

D'une part, une étude des caractéristiques morphologique de la souche a été réalisée sur quartes milieux de cultures gélosés ISP5, ISP7, DSMZ65 et Glucose-Asparagine pour déterminer l'aspect macro et microscopique. D'autre part, le test de la productivité de l'AIA est effectué dans les milieux de fermentations à base de bouillon de tryptophane, en utilisant des paramètres variables : le pH et la concentration en NaCl, avec deux différents temps et température d'incubation aussi bien la taille d'inoculum.

La caractérisation morphologique macro et microscopique montre l'appartenance de notre souche à la famille *Nocardiopsaceae* et au genre *Nocardiopsis*. Le dosage des taux d'AIA montre la production de différentes concentrations d'AIA dans les milieux et l'influence des paramètres physico-chimiques sur la capacité de la production par la souche *Nocardiopsis aegyptica*.

Mots clés : Actinomycète, *Nocardiopsis aegyptica*, acide indole acétique (AIA), *Nocardiopsaceae*, *Nocardiopsis*.

Abstract

The purpose of this work is to analyze the ability of the actinomycetal strain: *Nocardiosis aegyptica*, to synthesize a phytohormone belonging to the auxin family which is indole acetic acid (AIA) which stimulates plant growth. On the one hand, a study of the morphological characteristics of the strain was carried out on four agar culture media SP5, ISP7, DSMZ65 and Glucose-Asparagine to determine the macro and microscopic appearance. On the other hand, the test of the productivity of indole acetic acid (AIA) is carried out in fermentation media constituting a tryptophan broth, using four variable parameters pH, NaCl, incubation temperatures, And inoculum size. The macro and microscopic morphological characterization shows that our strain belongs to the family *Nocardiosaceae* and the genus *Nocardiosis*. The assay of IAA levels shows the production of different concentrations in μg of IAA in the media, demonstrated the influence of physicochemical parameters on the production capacity by the *Nocardiosis aegyptica* strain.

Key words: Actinomycete, *Nocardiosis aegyptica*, indole acetic acid (AIA), *Nocardiosaceae*, *Nocardiosis*.

ملخص

الغرض من هذا العمل هو تحليل قدرة سلالة الأكتينومييسات : *Nocardiosis aegyptica* على إنتاج هرمون نباتي ينتمي إلى عائلة ال auxin وهو حمض الأستيتيك الإندول (AIA) الذي يحفز نمو النبات. من ناحية، تم إجراء دراسة على الخصائص المورفولوجية للسلالة على أربعة أوساط زراعية (ISP5 و ISP7 و DSMZ65 و Glucose-Asparagine) لتحديد المظهر الكلي والمجهري. من ناحية أخرى، يتم إجراء اختبار إنتاجية حمض الأستيتيك الإندول (AIA) في وسط التخمر الذي يتكون أساسا من الترتوفان، وذلك تحت تأثير أربع عوامل متغير. pH (درجة حموضة الوسط)، وكلوريد الصوديوم، مع تغيير مدة ودرجات حرارة الحضانة، إضافة إلى حجم العينة المزروعة في الوسط التي تؤثر على نمو ومدى إنتاج حمض الأستيتيك الإندول المنتج من طرف السلالة. توضح الخصائص المورفولوجية الكلية والمجهرية أن سلالتنا تنتمي إلى عائلة *Nocardiosaceae* و جنس *Nocardiosis* يُظهر اختبار نسب حمض الأستيتيك إنتاج تركيزات مختلفة في ميكروغرام من الحمض في الوسائط، وأظهر تأثير المتغيرات (المؤثرات) الفيزيائية والكيميائية على القدرة الإنتاجية بواسطة سلالة *Nocardiosis aegyptica*.

الكلمات المفتاحية: Actinomycete، *Nocardiosis aegyptica*، indole acetic acid، *Nocardiosaceae*، *Nocardiosis*.

Liste des tableaux

Tableau N° 1 : Répartition des milieux de culture pour le test de la productivité de la souche <i>Nocardiosis aegyptica</i>	16
Tableau N° 2 : Description des caractères macroscopique de la souche.....	20
Tableau N° 3 : Description des caractères microscopiques de la souche	23
Tableau N°4 : Aspect de croissance de <i>Nocardiosis aegyptica</i> sur le milieu de fermentation après 6 jours d'incubation.	24
Tableau N°5 : Concentration d'AIA produite par la souche après 4 jours d'incubation.	24
Tableau N°6 : Concentration d'AIA produite par la souche après 8 jours d'incubation.	25

Liste des figures

Figure N°1 : Structure d'acide indole acétique (Herrbach,2013)	10
Figure N° 2 : Biosynthèse d'AIA (Herrbach,2013)	11
Figure N° 3 : Biosynthèse d'AIA et d'autres dérivés d'indole par voie d'indole-3-acétamide chez <i>Streptomyces violaceus</i> . (Shulamit <i>et al.</i> , 1994)	12
Figure N° 4 : Photographie de <i>streptomyces violaceolatus</i> obtenue par observation par un microscope électronique a balayage. (Banu <i>et al.</i> , 2018)	12
Figure N° 5 : Gamme de production d'AIA chez certain groupes des souches d'actinomycètes. (Banu <i>et al.</i> , 2018).....	13
Figure N° 6 : la souche <i>Nocardiosis aegyptica</i> après 7 jours d'incubation sur les différents milieux de culture.	19
Figure N° 7 : la souche <i>Nocardiosis aegyptica</i> sous microscope optique après 7 jours d'incubation (Objectif à immersion). (A) : mycélium de substrat sur le milieu DSMZ65, (B) : mycélium aérien avec les chaines de spores sur le milieu DSMZ65. (C,D) : mycélium de substrat sur le milieu ISP5, (E) : mycélium aérien avec les chaines de spores sur le milieu ISP5	21
Figure N° 8 : la souche <i>Nocardiosis aegyptica</i> sous microscope optique après 14 jours d'incubation (Objectif à immersion).(A) : mycélium de substrat sur le milieu ISP5, (B) : mycélium aérien sur le milieu ISP5(C) : mycélium de substrat sur le milieu ISP7, (D) : mycélium aérien sur le milieu ISP7.	22
Figure N° 9 : Histogramme représente les valeurs de la DO ₅₃₀ en fonction des concentrations d'AIA en µg/ml après 4 jours d'incubation.....	25
Figure N° 10 : Histogramme représente les valeurs de la DO ₅₃₀ en fonction des concentrations d'AIA en µg/ml après 8 jours d'incubation.....	26
Figure N° 11 : Histogramme représente les variations des concentrations d'AIA (µg/ml) en fonction des pH, après 4 et 8 jours d'incubation.	27
Figure N° 12 : Histogramme représente les variations des concentrations d'AIA (µg/ml) en fonction des concentrations d'NaCl (%), après 4 et 8 jours d'incubation. ...	28
Figure N° 13 : Histogramme représente les variations des concentrations d'AIA (µg/ml) en fonction des températures d'incubation (°C), après 4 et 8 jours d'incubation.	28
Figure N° 14 : Histogramme représente les variations des concentrations d'AIA (µg/ml) en fonction des tailles d'inoculum (%), après 4 et 8 jours d'incubation	29

Liste des abréviations

GC%	Coefficient de chargaff
DAP	l'acide daiminopimélique
ADN	Acide désoxyribonucléique
ARN 16S	Acide ribonucléique ribosomique
PCR	Polymerase Chain Reaction
AIA	Acide indole acétique
IPA	L'acide indole-3-pyruvique
IAM	L'indole acétamide
IAOx	l'indole-3-acetaldoxime
Trp	Tryptophane
ISP	International Streptomyces Project
DSMZ65	Gym Streptomyces Medium.65
Glu-Asp	Glucose-Asparagine

Table des matières

Remerciements	
Dédicaces	
Résumé	
Introduction.....	

Revue bibliographique

1. Les actinomycètes.....	2
2. Définition.....	2
3. Ecologie et distribution.....	2
4. Cycle de développement.....	3
4.1. Le mycélium de substrat et le mycélium aérien.....	3
4.2. La formation de spores.....	4
4.3. Le métabolisme.....	4
5. Taxonomie des actinomycètes.....	5
5.1. Critères morphologiques.....	5
5.1.1. Caractéristiques macromorphologiques.....	5
5.1.2. Caractéristiques micromorphologiques.....	5
5.2. Critères chimiques.....	6
5.2.1. Acides aminés.....	6
5.2.2. Glucides.....	6
5.2.3. Lipides.....	7
5.3. Critères physiologiques.....	7
5.4. Critères moléculaires.....	7
5.4.1. Détermination de GC%.....	7
5.4.2. L'hybridation d'acide nucléique.....	8
5.4.3. L'étude et le séquençage de l'ARNr 16S.....	8
6. Le genre <i>Nocardopsis</i>	8
7. Production d'acide indole acétique (AIA).....	9
7.1. Introduction.....	9
7.2. Définition et structure.....	9
7.3. Mode d'action et application d'AIA.....	10
7.4. Biosynthèse d'AIA.....	10
7.4.1. Biosynthèse d'AIA chez les microorganismes.....	11
7.4.2. Production d'AIA par les actinomycètes.....	12

7.5. Rôle de l'acide indole acétique	13
--	----

Matériel et méthodes

1. Le matériel biologique	15
2. Le repiquage et la purification	15
3. L'étude des caractères morphologique	15
3.1. L'étude macromorphologique	15
3.2. L'étude micromorphologique.....	15
4. Test de productivité de la souche.....	16
4.1. Préparation de l'inoculum	16
4.2. Production d'acide indole acétique en milieu liquide	16
4.3. Mise en évidence de la présence de l'acide indole acétique	17
4.3.1. Récupération des filtrats	17
4.3.2. Réaction de Salkowski.....	17
4.3.3. Dosage de l'AIA au spectrophotomètre.....	17

Résultats et discussion

1. Étude morphologique.....	18
1.1. Étude des caractères macroscopique	18
1.2. Recherche de pigment mylanoïde	20
1.3. Étude des caractères microscopique.....	20
2. Test de productivité de la souche.....	24
2.1. Description d'aspect de croissance de la souche dans les milieux de fermentation	24
2.2. Concentrations de l'AIA produites par la souche	24
Conclusion	31
Références bibliographique	33

Annexes

Introduction

Actinomycète, un mot utilisé pour la première fois par Bollinger, en 1877, pour désigner l'agent responsable d'une maladie du bétail. Il est dérivé du mot grec aktino, mycetes «champignons à rayons » ou champignons rayonnant (Gottlieb, 1973). Les actinomycètes se caractérisaient par la présence d'une vraie ramification, par la formation de spores à l'extrémité des filaments (Harvey, 1999).

L'importance des actinomycètes a été soulignée dans divers domaines : médecine, vétérinaire, agriculture, agro-alimentaire et différents industries. Dans le monde microbiens, les actinomycètes sont les plus étudiées à cause de leurs capacités pour la production d'un large éventail des composés biologiquement actifs (environ 10000 métabolites secondaires bioactifs : 45% de tous les métabolites microbiens bioactifs découverts) (Jong *et al*, 2020 ; Harir, 2018).

De nombreux chercheurs ont rapporté une influence positive sur les plantes traitées par des actinomycètes, grâce à leurs localisations spécifiques dans la zone rhizosphérique. Elles améliorent la croissance des plantes grâce à des mécanismes tels que la synthèse des cytokines et des phytohormones (Alper *et al*, 2020 ; Djebaili *et al*, 2020).

L'acide indole acétique (AIA) est synthétisé par de nombreuses souches d'actinomycètes, il est le plus reconnu comme une phytohormone de la famille de l'auxine, leur action est associé aux réponses de la croissance des plantes pour la régulation de la différenciation cellulaire, l'élongation cellulaire, l'initiation des racines et la division cellulaire (Shah *et al*, 2020).

Au cours de ce présent travail, nous nous sommes intéressés à tester la productivité d'AIA par la souche actinomycétale *Nocardiosis aegyptica*, en mettant en évidence l'influence des paramètres variables notamment : la concentration en NaCl, le pH, la température d'incubation et la taille d'inoculum sur la production d'AIA par cette souche.

Cette contribution s'articule sur 3 parties ; la première partie est consacrée aux actinomycètes, et à leurs propriétés biologiques ; la deuxième partie de ce mémoire expose l'ensemble des méthodes mises en œuvre au cours de ce travail ; et la dernière partie est dédiée aux discussions des résultats obtenus au cours de cette étude.

Revue bibliographique

1. Les actinomycètes

Les actinomycètes ont une valeur biotechnologique très importante et presque 10000 molécules bioactives ont été synthétisées par ces bactéries ce qui représente 45% du total des métabolites secondaires produits par toutes les bactéries (Messaoudi, 2020).

2. Définition

Les actinomycètes sont des bactéries filamenteuses à coloration de Gram positive et un GC% très élevées. Elles sont largement réparties dans divers milieux terrestres et aquatiques (Jong *et al.*, 2020).

Ces bactéries appartiennent à l'ordre des Actinomycetales. Elles sont également mésophile mais on peut trouver des espèces thermophiles. Elles ont une croissance optimale à un pH neutre ou alcalin. Elles sont caractérisées par une croissance sous forme de colonies circulaires. Sur un milieu solide elles sont pigmentées avec une couleur gris, rouge ou verte (Asma *et al.*, 2017).

Elles possèdent des hyphes de petite taille par rapport à celles des champignons. Leur paroi cellulaire contient une glycoprotéine mais ne contient ni chitine ni cellulose. Plusieurs genres sont sensibles aux agents antibactériens et aux lysozymes (Kitouni, 2007) Elles sont caractérisées par des mycéliums aériens et par la formation des spores aérobies (Asma *et al.*, 2017)

3. Ecologie et distribution

Les actinomycètes constituent une partie importantes de la population microbiennes. Elles sont des organismes ubiquitaires, elles se trouvent dans les sols (sols alcalins et les sols riches en matières organiques), les eaux douces ou salines et dans l'air, et elles colonisent diverses niches écologiques (Ouargli, 2018).

Les actinomycètes contribuent à la croissance des plantes grâce à leurs relations symbiotique au niveau de la rhizosphère. Les actinomycètes jouent un rôle important dans la fixation d'azote aux niveaux des nodules grâce à l'association Frankia-plantes. (Kitouni, 2007 ; Ouargli, 2018)

Généralement les actinomycètes sont des microorganismes neutrophiles avec une croissance optimale à un pH de 5 à 9. Elles cultivent à des températures moyennes

entre 25 et 30 °C (Kitouni, 2007). Les actinomycètes peuvent également occuper des environnements extrêmes tels que les soles alcalines (pH : 10-12), les environnements salins, Il existe également des souches psychrophiles qui peuvent croître à une température de 11-13 °C, D'autre actinomycètes sont acidophiles et térnotolérantes (Asma *et al.*, 2017).

4. Cycle de développement

Les actinomycètes se caractérisent par une variabilité morphologique qui s'accompagne d'une différenciation importante avec un cycle biologique comparable à celui de certains eucaryotes.

Les spores qui se développent à partir d'un mycélium végétatif ou mycélium aérien ou les deux assurent la propagation de la souche. Les spores peuvent être produites par les filaments soit isolées, soit groupées en chaîne ou même enfermées dans un sporange. Le mycélium aérien a une évolution complexe qui donne naissance à des structures spécifiques, conidies ou sporanges en libérant des spores de forme variées (Kitouni, 2007).

4.1. Le mycélium de substrat et le mycélium aérien

Les actinomycètes filamenteuses possèdent un cycle biologique ressemblant à celui des champignons. Le mycélium végétatif ou mycélium de substrat se développe à partir du tube de germination de spores, cette germination passe par quatre étapes: l'activation, l'initiation, l'émergence et la croissance du tube germinatif. L'activation peut se déclencher par un choc thermique. Le tube de germination donne par la suite des hyphes ramifiés de manière apicale.

La formation de mycélium permet aux actinomycètes de dégrader la matière organique insoluble grâce à leurs enzymes extracellulaires. Sur le mycélium primaire se développe un mycélium secondaire qui se compose des hyphes dressés, souvent pigmentés et enfermés dans une enveloppe extérieure hydrophobe. Ce mycélium secondaire donne aux surfaces des colonies un aspect poudreux, poilu et compact. De nombreux facteurs influencent la formation du mycélium aérien.

Par comparaison le mycélium de substrat est aérobic facultatif par contre le mycélium aérien qui est aérobic stricte, il est plus épais et moins ramifié que le mycélium de substrat qui est hydrophobe (Kitouni, 2007).

4.2. La formation de spores

La sporulation des différents groupes des actinomycètes se fait soit par la séparation de quelques hyphes pour former des conidies plus résistantes aux conditions que les hyphes, soit par formation d'endospores résistantes à la chaleur.

Les endospores qui résultent d'une réorganisation de cytoplasme avec formation d'une nouvelle paroi caractérisent le genre *Thermoactinomyces*. La sporulation entérothallique caractérise les genres *Planomonospora*, *Dactilosporangium* quant à la sporulation holothallique elle caractérise le genre *Thermoactinomyces* où la nouvelle paroi délimite la spore.

En ce qui concerne les exospores, elles sont le résultat de la formation de paroi transversale à partir des hyphes existants. La réalisation d'une subdivision en fonction de la présence ou non d'une enveloppe recouvrant la paroi de l'hyphe sporogène (Kitouni, 2007).

4.3. Le métabolisme

Les actinomycètes croient lentement avec un temps de génération de 2 à 3h. Elles se séparent physiologiquement en deux groupes : un groupe de germes qui est le plus important avec un métabolisme oxydatif (aérobies et colonisent le sol) qui caractérise le genre *Streptomyces* ; et le second groupe rassemble les bactéries fermentatives (bactéries anaérobies strictes ou facultatives et se sont des saprophytes obligatoires des cavités naturelles de l'homme et des animaux) qui caractérise le genre *Actinomyces*.

Les actinomycètes sont généralement des bactéries chimoorganotrophes. Elles utilisent plusieurs sources de carbone et d'énergie et aussi de biopolymères complexes (chitine, cellulose, lignine). Mais il existe aussi des espèces chimioautotrophe qui utilisent l'oxydation de l'hydrogène pour leurs énergies, et le gaz carbonique comme source de carbone (Belyagoubli, 2014).

5. Taxonomie des actinomycètes

La taxonomie des actinomycètes est basée sur les critères suivants : morphologie, physiologie, chimie et moléculaires. En 1989, le Bergey's manual of systématique bacteriology a dédié tout le volume 4 aux actinomycètes sous la

classification suivantes : règne des Procaryotes, division Firmicutes, classe Thalobacteria, ordre Actinomycetales (Ouargli, 2018).

5.1. Critères morphologiques

Les critères morphologiques sont cités en 1989, 1994 et 2010 dans le "Bergey's Manual". En premier temps les critères macro et micro morphologiques (hyphes, mycélium, spores, sporanges, mobilité, forme) permettaient la différenciation des genres entre eux (Ouargli, 2018).

5.1.1. Caractéristiques macromorphologiques

Il s'agit des caractères culturels qui aident parfois à différencier entre les groupes d'actinomycètes. Ils consistent en :

- La présence d'un mycélium du substrat.
- La production ou non d'un mycélium aérien.
- La détermination de la couleur du mycélium du substrat et du mycélium aérien.
- La présence ou non de pigments diffusibles dans le milieu de culture. (Boudjelal, 2012)

5.1.2. Caractéristiques micromorphologiques

- La fragmentation ou non du mycélium du substrat.
- La présence de sporanges sur le mycélium aérien chez : *Streptosporangium*, *Spirillospora* ; ou sur le mycélium du substrat chez : *Actinoplanes*, *Dactylosporangium* ; la longueur des sporangiophores, la forme et la taille des sporanges ainsi que le nombre de spores.
- Le mode de sporulation : spores portées par des sporophores rencontrées chez : *Streptomyces* et *Actinomadura* ; ou bien des mycéliums aérien se fragmentant anarchiquement en spore rencontrées chez : *Nocardiopsis*, *Amycolatopsis*.
- La formation de spores sur le mycélium aérien et/ou sur le mycélium du substrat, leur taille, leur forme et leur agencement : isolées chez : *Micromonospora* ; par deux comme : *Microbispora* ; par quatre chez : *Microtetrastroma* ; ou en chaînes : *Actinomadura*.

- Les spores mobiles (*Spirillospora*, *Actinoplanes*) et les spores immobiles (*Streptomyces*, *Streptosporangium*).
- L'ornementation de la surface des spores : rugueuses ou lisses, épineuses ou chevelues.
- La formation de structures particulières : des faux sporanges : *Kibdelosporangium* ; ou synnemata : *Actinosynnema* (Boudjelal, 2012).

5.2. Critères chimiques

L'utilisation des critères morphologiques associée aux critères chimiques (chimiotaxonomies) (composition cellulaire en acides aminés, en glucides et en lipides) permet de distinguer plusieurs genres tels : *Streptomyces*, *Nocardia* (Ouargli, 2018).

5.2.1. Acides aminés

La paroi des actinomycètes composée à la base de muréine associée à d'autres acides aminés tels : l'alanine, l'acide glutamique, la glycine (pour certains seulement), et l'acide diaminopimélique (DAP) (sous forme isomérique ou mésomérique) parfois remplacé par la lysine ou l'ornithine ou l'acide diaminobutyrique (Boudjelal, 2012).

5.2.2. Glucides

Divers sucres ont été retrouvés dans les cellules des actinomycètes qui permettent de les séparer en 4 groupes :

- a) L'arabinose et le galactose : chez *Nocardia* et *Saccharopolyspora*.
- b) Le madurose, le 3-O-méthyl-D-galactose : chez *Actinomadura* et *Streptosporangium*.
- c) Aucun glucide n'est présent : chez les *Streptomyces*, *Thermomonospora* et *Thermoactinomyces*.
- d) Le xylose et l'arabinose : chez *Actinoplanes*, *Micromonospora* (Kitouni, 2007).

Sur la base de la composition en sucres et en acides aminés différents chimiotypes ont été définis pour faire la distinction entre les genres qui sont morphologiquement proches (Boudjelal, 2012).

5.2.3. Lipides

L'analyse de la composition cellulaire en lipide vise principalement les phospholipides, les acides gras, les ménaquinones (à noyau quinone méthylé), et les

acides mycoliques (lipides pariétaux complexe et insaturés) (Boudjelal, 2012). En taxonomie les lipides sont classés en 3 groupes :

- Les acides gras qui caractérisent les genres : *Mycobacterium*, *Nocardia*, *Rhodococcus*.
- Les lipides polaires qui sont les phospholipides.
- Les ménaquinones qui caractérisent les genres : *Nocardioïdes*, *Streptomyces*, et *Thermoactinomyces* (Kitouni, 2007).

5.3. Critères physiologiques

En ce qui concerne l'identification des espèces des genres d'actinomycètes, elle nécessite l'utilisation des critères physiologiques (pH, température, sources de carbone et d'azote), des critères biochimiques (dégradation de gélatine, d'amidon, de la caséine, des lipases, ou des nitrates) et des tests de résistances aux agents chimiques tels les antibiotiques (Boudjelal, 2012 ; Ouargli, 2018).

5.4. Critères moléculaires

Dans la deuxième moitié du 20^{ème} siècle des techniques moléculaires et génétiques (hybridation ADN/ADN, détermination du GC%, amplification et séquençage) se sont développées pour une taxonomie moderne des actinomycètes (Kitouni, 2007).

5.4.1. Détermination de GC%

Les actinomycètes ont un pourcentage en G+C% très élevé plus de 55%. Le pourcentage en guanine + cytosine est stable pour les individus de la même espèce mais variable d'un genre à un autre. Ce pourcentage varie entre 25 et 75%. On dit que deux microorganismes ne sont pas de la même espèce lorsque leurs GC% diffère de 5%, et ne sont pas du même genre lorsque celui-ci est différent de plus de 10%. (Kitouni, 2007).

5.4.2. L'hybridation d'acide nucléique

Cette technique est basée sur une comparaison entre les séquences d'ADN avec d'autres déjà décrites pour identifier les actinomycètes.

La dénaturation de deux molécules d'ADN provenant de deux bactéries différentes, est la base de l'hybridation ADN/ADN. La renaturation est réalisée par un

mélange de ces molécules d'ADN dénaturées des deux bactéries. On peut appliquer cette technique pour toutes les espèces cultivables. (Kitouni, 2007 ; Boudjelal, 2012).

5.4.3. L'étude et le séquençage de l'ARNr 16S

L'ARNr 16S se trouve presque chez toutes les bactéries. Il possède un rôle très important et identique dans tous les ribosomes.

Le séquençage de l'ARNr 16S est une technique très utilisée pour l'identification moléculaire des actinomycètes. Ce gène qui a une taille de 1500 paires de bases se trouve dans des régions hautement conservées comprend de courtes séquences spécifiques aux genres ou bien aux espèces. L'amplification de ce gène est réalisée par PCR, suivie d'une comparaison des différentes séquences obtenues après amplification avec les séquences de banques de données génomiques, puis traitées par des programmes informatisés (Kitouni, 2007 ; Boudjelal, 2012).

6. Le genre *Nocardiopsis*

La famille «Nocardiopsaceae» a été créée par Rainey *et al.* (1996) en basant sur la position phylogénétique, des caractéristiques morphologiques et des propriétés chimiotaxonomiques des espèces de genre *Nocardiopsis*.

Le genre *Nocardiopsis* a été décrit en 1976 pour la première fois par Mayer. Les espèces de ce genre sont aérobies, Gram positive, catalase positive et acido-alcool résistante (AAR). Ces espèces sont caractérisées par les propriétés suivant :

- Le mycélium aérien et de substrat se fragmentent en donnant des spores.
- La présence de l'acide méso-2,6-diaminopimélique dans la paroi cellulaire et l'absence des glucides de diagnostic.
- L'absence d'acides mycoliques dans la paroi cellulaire.
- L'utilisation des profils des phospholipides et de la ménaquinone pour caractériser les espèces.
- Un taux de GC% élevé (64-71%) (Boudjelal, 2012).

Une étude bibliographique montre l'importance du genre *Nocardiopsis* sur le plan biotechnologique grâce à leur capacité de produire différents composés bioactifs tel que les agents antimicrobiens (naphtospiroones, Griseulines), les agents antifongiques (la Pendolmycine), les agents anticancéreux (les Apoptolidines), les antibiotiques

(thiopeptides). Ainsi que la sécrétion de nouvelles enzymes extracellulaires telles que les amylases, les β -glucanases, les cellulases, les chitinases, les inulinases, les protéases et les xylanases (Tahsin *et al.*, 2015).

7. Production d'acide indole acétique (AIA)

7.1. Introduction

Les actinomycètes ont des effets positifs pour le développement des végétaux ce qui favorisent la croissance des plantes en produisant des régulateurs de croissance. La production des phytohormones tels que les auxines, qui sont un groupe de composées possèdent un noyau indole, et l'acide indole acétique (AIA) est le principale type d'auxines naturelles (Goudjal *et al.*, 2015). Il a un effet positif comme le développement de la plante, l'élongation, la formation des fruits, la réponse aux facteurs environnementaux comme les blessures et la lumière et le développement des organes (Chloe, 2006)

7.2. Définition et structure

L'AIA est la principale hormone de classe des auxines biologiquement active pour la croissance végétative (Bishnu *et al.*, 2021). Il est formé selon plusieurs voies de biosynthèse soit en impliquant le tryptophane ou non.

L'acide indole acétique est synthétisé à partir d'un noyau indole (figure 1). Il se présente sous une forme conjuguée associé à : des sucres, des acides aminés ou des protéines ; grâce à des liaisons esters ou amides (Herrbach, 2013).

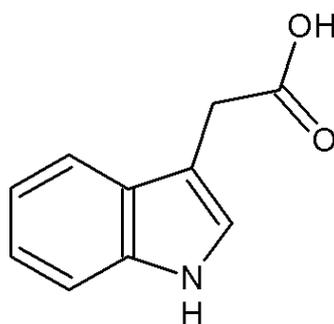


Figure 1 : Structure de l'acide indole acétique (Herrbach, 2013)

7.3. Mode d'action et application d'AIA

L'action de l'AIA dépend à la fois du tissu sur lequel il agit (organe) et de sa concentration présente dans la cellule et du stade de croissance. Selon les plantes, l'application d'une même concentration sur un même organe peut conduire à des conséquences différentes, ceci nécessite une très fine régulation. Donc leur action est dépendante de sa concentration et de sa présence, sa perception, son transport, et de la régulation des gènes cibles (Herrbach, 2013 ; Abdul *et al.*, 2014).

Cependant, la production d'AIA par les microorganismes en une certaine quantité favorise la croissance de plante hôte, dépassant cela il peut exercer un effet négatif (propriété des microorganismes pathogènes) (Abdul *et al.*, 2014).

7.4. Biosynthèse d'AIA

L'acide indole acétique est synthétisé en grande partie à partir du tryptophane (figure 2), via 3 voies de biosynthèses :

- a) La voie passant par l'acide indole-3-pyruvique (IPA).
- b) La voie passant par l'indole acétamide (IAM).
- c) Les voies passant par l'indole-3-acétaldoxime (IAOx)

Mais il existe aussi une voie de biosynthèse à partir du précurseur indole sans tryptophane (Chloe, 2006 ; Laura *et al.*, 2009 ; Herrbach, 2013)

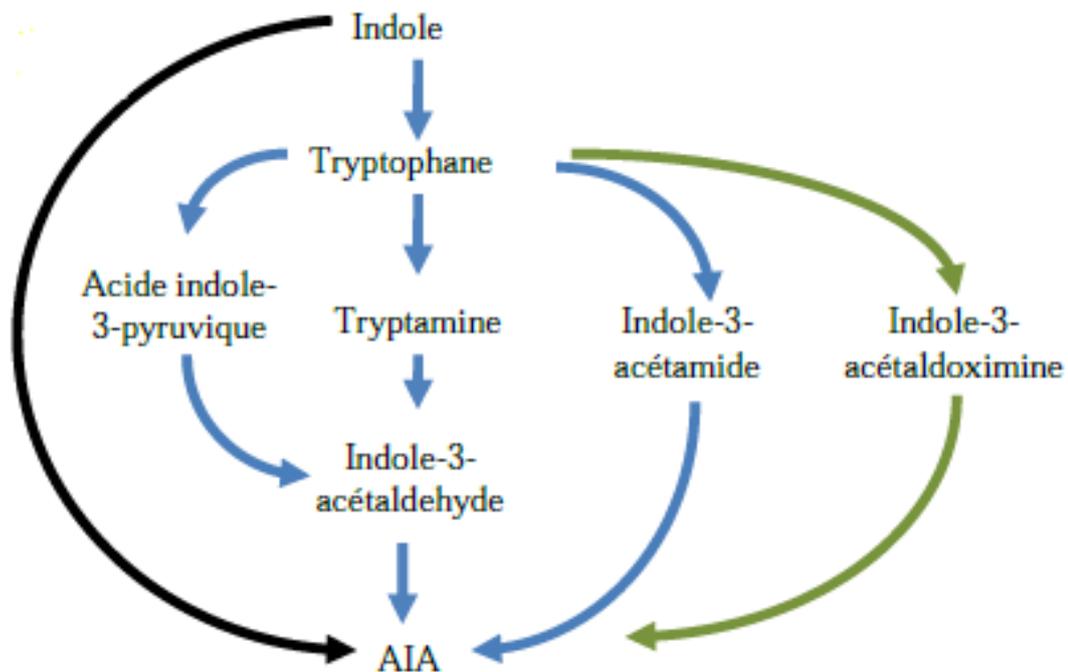


Figure 2 : biosynthèse d'AIA (Herrbach, 2013)

7.4.1. Biosynthèse d'AIA chez les microorganismes

La biosynthèse d'AIA chez les microorganismes diffère selon : les souches, les paramètres externes tels que le type de sol, les paramètres physico-chimique de sol et la végétation (Banu *et al.*, 2018).

La production d'AIA est répandue chez les microorganismes (les phytopathogènes, les non pathogènes et les champignons mycorhiziens) qui vient en association avec les plantes. La production d'AIA à partir de Trp avec l'indole-3-acétamide comme intermédiaire est détecté chez les bactéries phytopathogènes tels *Bradyrhizobium* spp., mais elle est aussi détecté chez d'autres bactéries tels *Streptomyces* spp. (figure3). La voie d'acide indole-3-pyruvique est assez courante chez de nombreux microorganismes (Shulamit *et al.*, 1995).

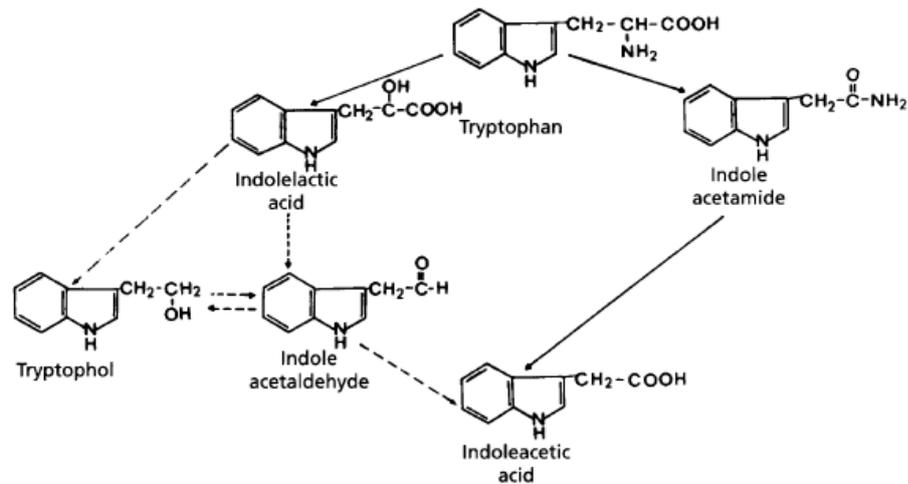


Figure 3 : biosynthèse d'AIA et d'autres dérivés d'indole par voie d'indole-3-acétamide chez *Streptomyces violaceus* (Shulamit *et al.*, 1995).



Figure 4 : Photographie de *Streptomyces violaceolatus* obtenue par observation par un microscope électronique à balayage (Banu *et al.*, 2018).

De nombreuses bactéries ont été isolées comme productrices d'AIA tels que : *Pseudomonas syringae*, *Pseudomonas fluorescens*, *Enterobacter cloacae*, *Agrobacterium tumefaciens*, *Alcaligènes faecalis*, *Azotobacter tumefaciens*, *Bacillus subtilis*, *Bacillus pumilus*, *Bacillus mesonae* (Shah *et al.*, 2020 ; Akhilesh *et al.*, 2021 ; Bishun *et al.*, 2021).

7.4.2. Production d'AIA par les actinomycètes

Des études ont montrées que parmi les actinomycètes producteurs d'AIA, le genre *Streptomyces* spp est le plus dominant (figure 5). L'optimisation des conditions de culture (pH, la source de carbone, la source d'azote..) peuvent entrainer une

augmentation dans le rendement d'AIA, et peuvent aussi affecter la croissance bactérienne (Ei *et al.*, 2019)

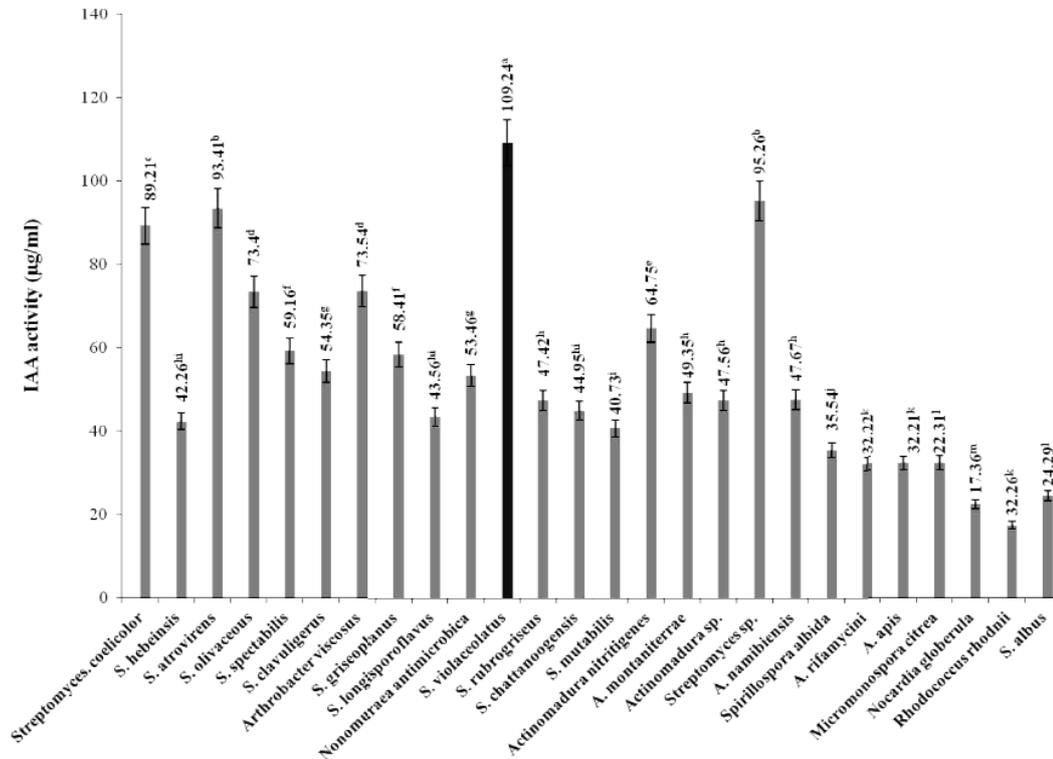


Figure 5 : Gamme de production d'AIA chez certain groupes des souches d'actinomycètes (Banu *et al.*, 2018).

7.5. Rôle de l'acide indole acétique

Avec le changement des conditions environnementales la croissance des plantes est favorisée et régulée par l'acide indole acétique, qui joue un rôle positif sur les plantes. Il améliore et promeut la croissance et le développement des plantes. La germination des graines est augmentée. Les racines et le poids sec des racines sont allongés par ce phytohormone. Il stimule aussi l'élongation cellulaire, il favorise la croissance des plantules, il a un effet sur le développement des organes, le phototropisme et le géotropismes et la domination apicale (Goudjal *et al.*, 2015 ; Bishun *et al.*, 2021).

L'AIA agit sur la pression osmotique, la synthèse de la paroi cellulaire et des protéines, il diminue la pression sur la paroi et augmente la perméabilité de la cellule à l'eau, et inhibe l'abscission des feuilles et l'induction de la floraison et de la

fructification. La synthèse de l'acide indole acétique influence l'accélération de la croissance des racines et ramifications donc il augmente le taux de développement de système racinaire et promeut l'activité anti-oxydante (Bishun *et al.*, 2021).

Matériel et méthodes

Nous avons réalisées notre travail de Master dans le laboratoire de génie microbiologie et application (GMA) située au bio-pôle, complexe Chaab Erssas, Université Frères Mentouri Constantine (UFMC1), sous la responsabilité du Pr. M. Kitouni.

1. Le matériel biologique

La souche actinomycétale employée dans cette étude appartient à l'espèce *Nocardiosis aegyptica*, de la collection du laboratoire, la conservation à été faite à -18 °C, sur le milieu ISP2 additionné de glycérol (V/V).

2. Le repiquage et la purification

Après une étape de revivification de la souche sur le milieu ISP5, nous avons réalisé une étape de purification sur milieu DSMZ65, les cultures ont été incubées à 30 °C, jusqu'à l'appariations des colonies.

3. L'étude des caractères morphologique

La culture de la souche *Nocardiosis aegyptica* est réalisée sur les milieux de cultures gélosés suivants : ISP5, ISP7, DSMZ65 et Glucose-Asparagine, après ajustement des pH, nous les avons stérilisés à 121 °C, la composition des milieux est indiquée en annexe 1.

3.1. L'étude macromorphologique

Nous avonsensemencé les milieux à la surface par trois stries médianes. Les cultures sont incubées à 30 °C. Après 7, 14 et 21 jours. La lecture est effectuée pour l'observation de l'importance de la croissance, le développement du mycélium aérien et de substrat et la masse sporal, ainsi que leurs pigmentations et la présence de pigments diffusibles.

La production des pigments mélanoïdes est testée sur le milieu ISP7 (Kitouni, 2007 ; Belyagoubli, 2014).

3.2. L'étude micromorphologique

La technique des lamelles décrite par Cross est utilisée pour l'étude microscopique du mycélium aérien, du mycélium de substrat, et l'observation de la morphologie des spores.

Cette technique consiste à insérer délicatement des lamelles stériles dans les milieux : ISP5, ISP7, DSMZ65 et Glucose-Asparagine ; de telle sorte qu'elles forment

un angle de 45°. L'ensemencement est réalisé à partir d'une goutte d'inoculum déposée à l'intersection lamelle-gélose. Après 7, 14 et 21 jours d'incubation à 30 °C, les lamelles sont retirées de la gélose, ensuite déposées sur une lame suivie d'une coloration puis examinée au microscope (objectif à immersion) (Kitouni, 2007).

4. Test de productivité de la souche

4.1. Préparation de l'inoculum

La souche est ensemencée encore une fois sur le milieu ISP5 et incubée à 30 °C pendant 4 jours. À partir de ces boîtes on effectue le prélèvement des spores qui sont suspendues dans l'eau physiologique stérile. Après agitation, la densité optique de la suspension est ajustée à l'aide de spectrophotomètre à 660 nm jusqu'à atteindre la valeur 0,6.

4.2. Production d'acide indole acétique en milieu liquide

La capacité de la souche à produire l'AIA est testée sur huit milieux de culture liquide. Les milieux sont constitués d'un bouillon de tryptophane additionné d'NaCl (10 % et 5 %) et ajustés à des pH de 9 et 7,5 (tableau 1). Après la préparation des milieux de culture, ils sont ensemencés par différentes concentrations d'inoculum (1 % et 2 %). Puis les cultures sont incubées à 30 et 40 °C pendant 8 jours (voir tableau ci-dessous).

Tableau 1 : répartition des milieux de culture pour le test de la productivité de la souche *Nocardiosis aegyptica*.

Milieux	Na Cl (%)	pH	Température d'incubation (°C)	Ensemencements par l'inoculum (%)
M1	10	7.5	30	2
M2	10	9	30	1
M3	5	7.5	30	2
M4	5	9	30	1
M5	5	7.5	40	1
M6	5	9	40	2
M7	10	7.5	40	1
M8	10	9	40	2

4.3. Mise en évidence de la présence de l'acide indole acétique

4.3.1. Récupération des filtrats

Le dosage de la production d'AIA est réalisé après 4 et 8 jours d'incubation. 5 ml de chaque milieu sont prélevés puis filtrés à travers du papier Wattman N° 3 dans des conditions d'aseptie.

4.3.2. Réaction de Salkowski

La mise en évidence de la production de l'AIA dans le filtrat a été réalisée par la méthode décrite par Bric *et al.*, (1991). 2 ml de chaque filtrat sont ajoutés à 4 ml de réactif de Salkowski déjà préparé (composition en annexe 1). Après 20 min à l'obscurité la coloration rose indique la présence d'AIA.

4.3.3. Dosage de l'AIA au spectrophotomètre

Pour la mesure de la densité optique (DO), une agitation des filtrats a été réalisée avant chaque mesure, et les valeurs sont lues à 530 nm avec un spectrophotomètre. Les taux d'AIA libérés sont déterminés à partir de l'équation de régression de la courbe d'étalonnage et exprimés en $\mu\text{g/ml}$ (Djebaili *et al.*, 2020), le blanc est le milieu de fermentation non inoculé.

Résultats et discussion

1. Étude morphologique

L'étude des caractéristiques morphologiques macroscopiques et microscopiques est largement utilisée pour caractériser les espèces du genre *Nocardioopsis*.

1.1. Étude des caractères macroscopique

Pour étudier les caractères macroscopiques de la souche, il est important de signaler l'utilisation de plusieurs milieux de culture donnant une bonne croissance pour l'observation des chaînes de spores (Ouargli, 2018). La croissance sur tous les milieux débute par la formation d'un mycélium ramifié qui est le mycélium de substrat. La souche a présentée des variations : la taille des colonies, la couleur de mycélium et l'importance de croissance sur les différents milieux de culture.

Après ensemencement sur les différents milieux de culture, les colonies apparaissent dès le deuxième jour après incubation à 30 °C, avec un degré de croissance différent : faible, moyen, et abondant, selon la composition du milieu (tableau 2).

Les colonies sont de couleur vert-olive, avec une forme ronde, un contour régulier, une surface poudreuse avec un aspect sec, opaque ; leurs tailles varient entre 1 à 2 mm (petites colonies) et d'autres de 3 à 5 mm (colonies moyennes). Il est a noté que les colonies sont plates mais non incrustées dans la gélose (figure 6).

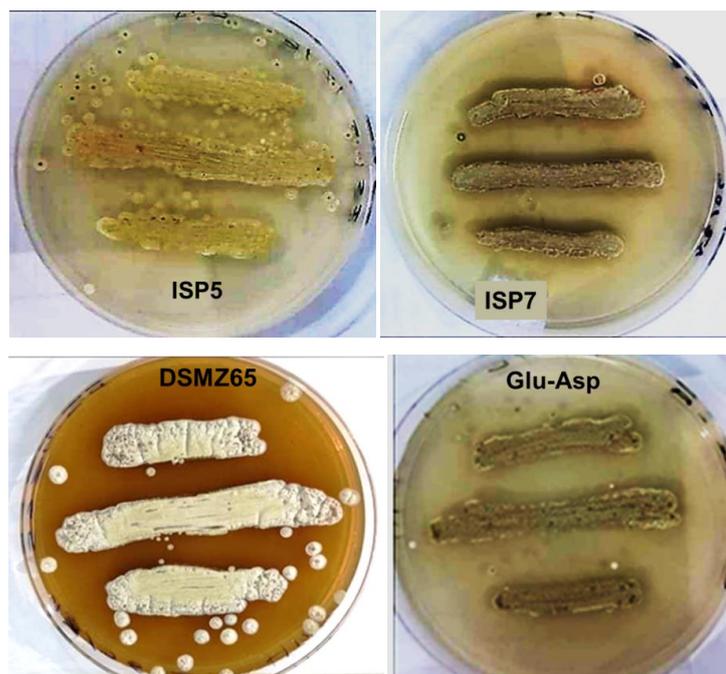


Figure 6 : la souche *Nocardiosis aegyptica* après 7 jours d'incubation sur les différents milieux de culture.

Nous avons observé qu'après 14 jours d'incubation l'aspect macroscopique des colonies est différent de celui de 7 jours. Elles deviennent rondes avec une surface rocheuse et une taille moyenne de 5 mm, mais elles sont incrustées dans la gélose.

Les caractères culturaux de la souche sont regroupés dans le tableau 2. Dans le septième jour, la souche se développe sur les milieux ISP5 et ISP7 d'une façon presque similaire en observant la coloration de la même couleur des mycélias ainsi que le taux de croissance, mais dans le milieu DSMZ65 la souche se développe avec une bonne croissance. En revanche, on remarque la faible croissance sur le milieu Glucose-Asparagine avec différentes couleurs de mycélium de substrat et l'absence de la formation des pigments diffusibles dans les quatre milieux.

Après 14 jours d'incubation (Tableau 2), nous avons observé une bonne croissance de la souche sur le milieu DSMZ65 et le milieu ISP7 avec une masse sporale importante, mais sur le milieu Glucose-Asparagine la croissance est faible, et nous avons remarqué que la souche garde presque les mêmes couleurs sur les différents milieux de culture. Nous avons constaté qu'après 21 jours d'incubation la croissance se poursuit avec le même rythme pour chaque milieu avec un changement de couleur dans les milieux ISP7 et Glucose-Asparagine ainsi que l'absence totale des pigments diffusibles sur tous les milieux de culture.

Tableau 2 : description des caractères macroscopique de la souche.

Milieu	Age (Jours)	Croissance	Sporulation	Mycélium de substrat	Mycélium aérien et masse sporale	Pigment diffusible
ISP5	7	+	+	Vert clair	Blanc	-
	14	++	+	Vert clair	Blanc	-
	21	++	+	Vert	Blanc	-
ISP7	7	+	+	Vert olive	Blanc	-
	14	++	++	Vert olive	Blanc	-
	21	++	++	Vert foncé	Marron	-
DSMZ65	7	++	++	Marron	Blanc	-
	14	++	++	Marron	Beige	-
	21	++	++	Marron	Beige	-
Glu-Asp	7	+/-	+/-	Vert clair	Blanc	-
	14	+/-	+/-	Vert olive	gris	-
	21	+/-	+/-	Vert olive	Vert	-

(-) = absence de production de pigment, (+/-) = croissance faible, (+) = croissance moyenne, (++) = bonne croissance.

1.2. Recherche de pigment mélanoïde

La recherche de pigment mélanoïde sur le milieu de culture ISP7, montre une absence totale de production après 7, 14 et 21 jours d'incubation.

1.3. Étude des caractères microscopique

L'observation de la souche sur le milieu ISP5 sous microscope optique après 7 jours d'incubation, montre clairement que le mycélium de substrat de la souche est fin, ramifié et très long sans fragmentation. Le mycélium aérien est fin avec des ramifications et des fragmentations enchevêtrées, qui portent de longues chaînes de spores droites de forme ovoïde, et d'autres sont libres. Mais sur le milieu DSMZ65, l'observation sous microscope montre que le mycélium de substrat et le mycélium aérien ont une structure presque similaire : sous forme de filaments enchevêtrés avec la présence de ramifications et de fragmentations. Les spores ont une structure ovoïde avec de longues chaînes (figure 7, tableau 3).

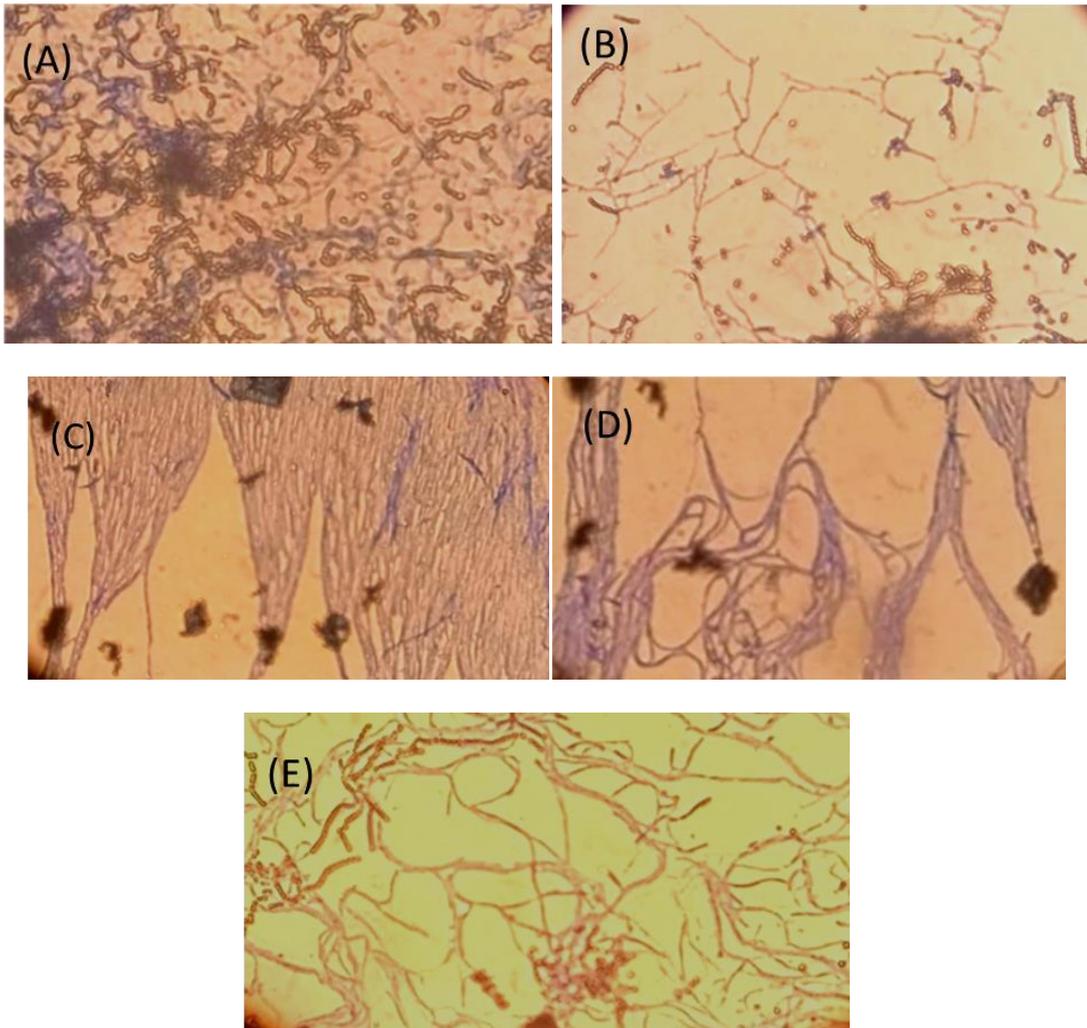


Figure 7 : la souche *Nocardiosis aegyptica* sous microscope optique après 7 jours d’incubation (objectif à immersion). (A) : mycélium de substrat sur le milieu DSMZ65, (B) : mycélium aérien avec les chaînes de spores sur le milieu DSMZ65, (C, D) : mycélium de substrat sur le milieu ISP5, (E) : mycélium aérien avec les chaînes de spores sur le milieu ISP5.

L’observation microscopique après 14 jours d’incubation sur le milieu ISP5, montre que le mycélium de substrat et le mycélium aérien sont devenus fragmentés, enchevêtrés et longs mais sur le milieu ISP7 le mycélium aérien est très fragmenté et très riche en spores avec de longues chaînes. L’observation sur le milieu Glucose-Asparagine montre que les mycélias sont ramifiés et enchevêtrés (figure 8, tableau 3).

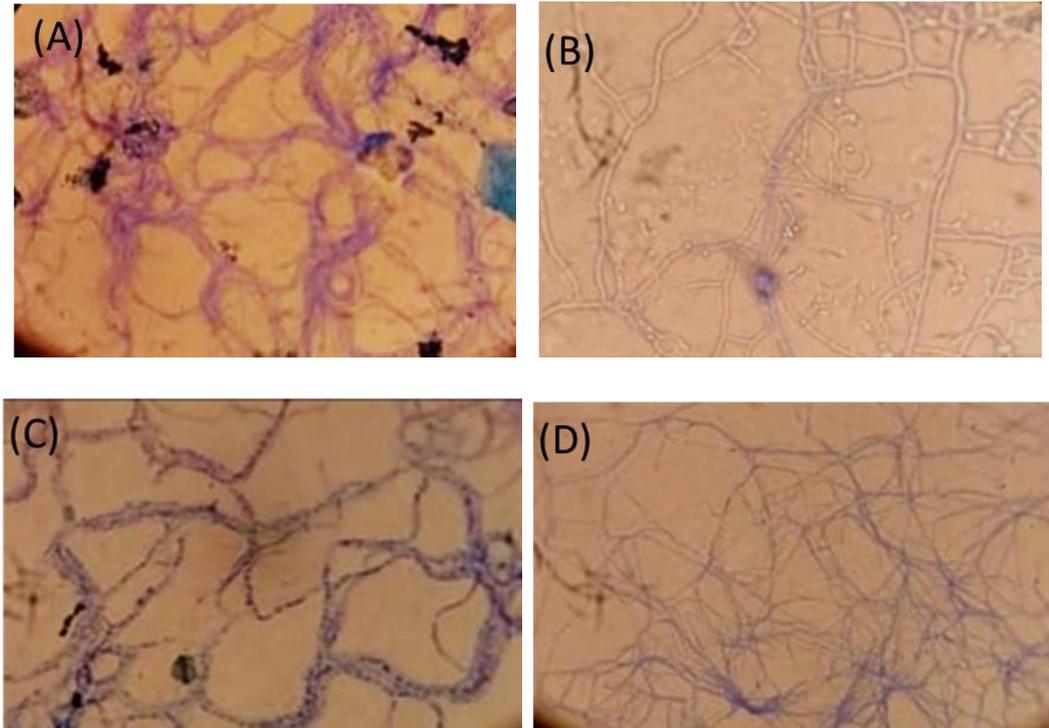


Figure 8 : la souche *Nocardioopsis aegyptica* sous microscope optique après 14 jours d'incubation (Objectif à immersion). (A) : mycélium de substrat sur le milieu ISP5, (B) : mycélium aérien sur le milieu ISP5, (C) : mycélium de substrat sur le milieu ISP7, (D) : mycélium aérien sur le milieu ISP7.

Après 21 jours d'incubation, l'observation microscopique montre que les mycéliums aériens et de substrats sur le milieu ISP7 et DSMZ65 sont fragmentés et ramifiés. Ils portent des chaînes de spores. Sur le milieu ISP5 et Glucose-Asparagine le mycélium de substrat et aérien sont ramifiés peu fragmentés (tableau 3).

L'étude des caractères microscopiques montre que le mycélium de substrat est plus au moins fragmenté en fonction du milieu utilisé, et le mycélium aérien est fragmenté d'une manière anarchique sur tous les milieux avec une présence de longues chaînes des spores en zigzag ; ces résultats sont confirmés par les études déjà publiées antérieurement par Boudjelal (2012).

Tableau 1 : Description des caractères microscopiques de la souche.

Age en jours	Milieux	Mycélium de substrat	Mycélium aérien	Spores	Production de Pigments diffusibles
7	ISP5	Ramifiés (épais) avec de longs filaments	Ramifiés (fin), fragmentés, enchevêtrés et porte des spores	Ovoïdes en longue chaînes et isolées	Absence
	DSMZ65	Ramifiés (épais), peu fragmentés, enchevêtrés et porte des spores	Ramifiés (fin), fragmentés, enchevêtrés et porte des spores	Ovoïdes en longue chaînes et isolées	Absence
14	ISP5	Ramifiés (épais), long et peu fragmentés	Ramifiés (fin), long peu fragmentés, enchevêtrés et porte des spores	Ovoïdes en longue chaînes et isolées	Absence
	ISP7	Ramifiés (épais), long, peu fragmentés, enchevêtrés et porte des spores	Ramifiés (fin), très fragmentés enchevêtrés et porte des spores	Ovoïdes en longue chaînes et isolées	Absence
	Glucose-Asparagine	Ramifiés (épais), long, peu fragmentés	Ramifiés (fin), très fragmentés enchevêtrés et porte des spores	Ovoïdes en longue chaînes et isolées	Absence
21	ISP5	Ramifiés (épais), long, peu fragmentés	Ramifiés (fin), très fragmentés enchevêtrés et porte des spores	Ovoïdes en longue chaînes et isolées	Absence
	ISP7	Ramifiés (épais), très fragmentés et porte des spores	Ramifiés (fin), très fragmentés enchevêtrés et porte des spores	Ovoïdes en longue chaînes et isolées	Absence
	DSMZ65	Ramifiés (épais), fragmentés et porte des spores	Ramifiés (fin), peu fragmentés, enchevêtrés et porte des spores	Ovoïdes en longue chaînes et isolées	Absence
	Glu-Asp	Ramifiés (épais), long et peu fragmentés	Ramifiés (fin), long, peu fragmentés, enchevêtrés et porte des spores	Ovoïdes en longue chaînes et isolées	Absence

2. Test de productivité de la souche

2.1. Description d'aspect de croissance de la souche dans les milieux de fermentation

Après 6 jours d'incubation nous avons noté les aspects de croissance de la souche dans les huit milieux de fermentation (tableau 4), la croissance se présente dans des flacons, sous forme d'un trouble en observant la présence de particules et des filaments dans certain flacons.

Tableau 2 : Aspect de la croissance de *Nocardiopsis aegyptica* sur le milieu de fermentation après 6 jours d'incubation.

Milieux	Caractéristiques
M1	Trouble au fond.
M2	Trouble au fond.
M3	Trouble au fond, présence d'un voile à la surface, présence des pellettes avec de longs filaments.
M4	Trouble, au fond, présence de pellettes.
M5	Trouble, au fond.
M6	Trouble, au fond, présence des pellettes.
M7	Trouble, au fond, présence des filaments.
M8	Trouble, au fond.

2.2. Concentrations de l'AIA produites par la souche

D'après l'équation de régression tirée de la courbe étalon de Annab et Dafri, (2018) nous avons calculé les concentrations d'AIA produites par notre souche *Nocardiopsis aegyptica* en $\mu\text{g/mL}$ après 4 et 8 jours d'incubation (tableau 5 et 6).

Tableau 3 : Concentration d'AIA produite par la souche après 4 jours d'incubation.

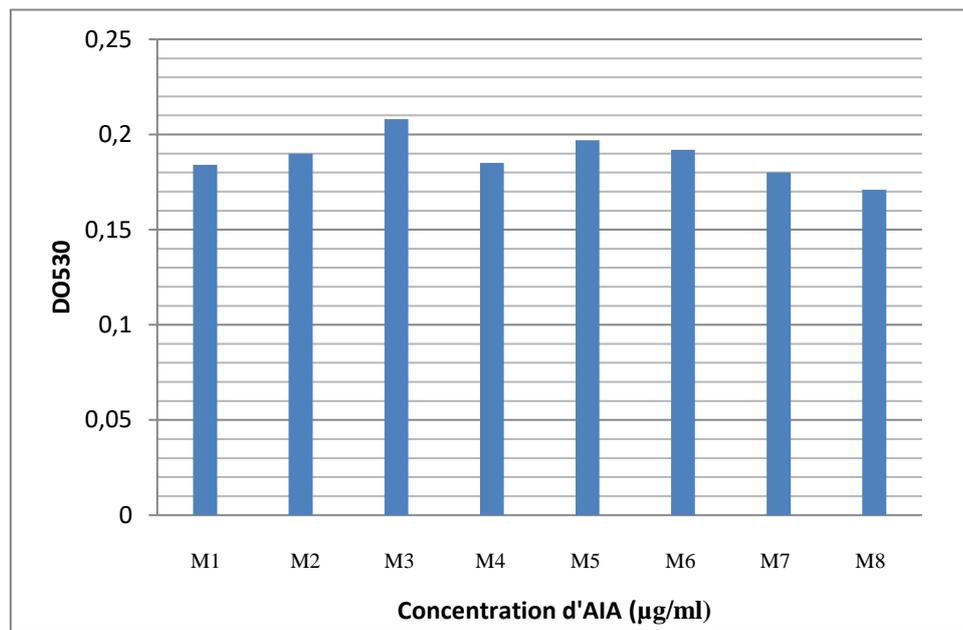


Figure 9 : Histogramme représente les valeurs de la DO₅₃₀ en fonction des concentrations d'AIA en µg/ml après 4 jours d'incubation.

Selon les résultats obtenus après 4 jours d'incubation, et après une mesure de la DO₅₃₀ des 8 milieux, la meilleure production d'AIA a été observée dans le milieu 3 et la faible production est notée dans le milieu 8. Dans les milieux restants, la production varie entre 16,36 et 17,9 µg/ml (figure 9).

Tableau 4 : Concentration d'AIA produite par la souche après 8 jours d'incubation.

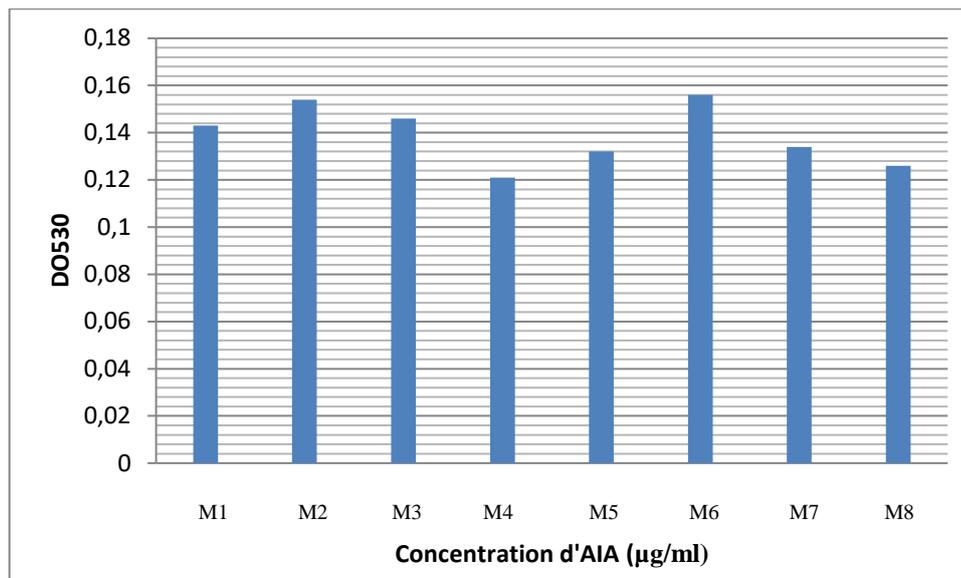


Figure 10 : Histogramme représente les valeurs de la DO₅₃₀ en fonction des concentrations d'AIA en µg/ml après 8 jours d'incubation.

Après 8 jours d'incubation, on constate que les concentrations d'AIA produites par notre souche varient entre 11,45 et 14 µg/ml dans les milieux : 1, 2, 3, 5, 7 et 8 ainsi que la meilleure et la faible production ont été observées dans les milieux 4 et 6 avec une gamme de 11µg/ml et 14,18 µg/ml, respectivement (figure 10).

Plusieurs études ont rapporté la production des auxines chez les actinobactéries ou l'intervalle de la gamme de production d'AIA par nos souches varie entre 18,90 et 11 µg/ml. Nos résultats sont en accord avec les résultats de Banu *et al* (2018) qui montrent que la souche *Nocardia* est capable de produire l'acide indole acétique avec un taux de $22,31 \pm 0,7$ µg/ml, et 21,4 µg/ml dans les travaux réalisés par Djebaili *et al.*, (2020).

Les taux d'AIA produite après 4 jours d'incubation sont les plus élevées par rapport à ceux trouvés dans le 8^{ème} jour. Les études de Shah *et al* (2020) confirment que les souches produisent des taux maximaux d'AIA dans des périodes d'incubation les plus courtes. Shirokikh *et al.*, (2007) montrent que la production d'AIA par certaines souches actinomycétales commence après 1 jour et atteignant un maximum après 3 jours puis décroissent lentement, cette baisse pourrait être due à la libération des enzymes dégradant l'AIA telles que l'AIA oxydase et peroxydase comme cela a été rapporté chez *Rhizobium* sp.

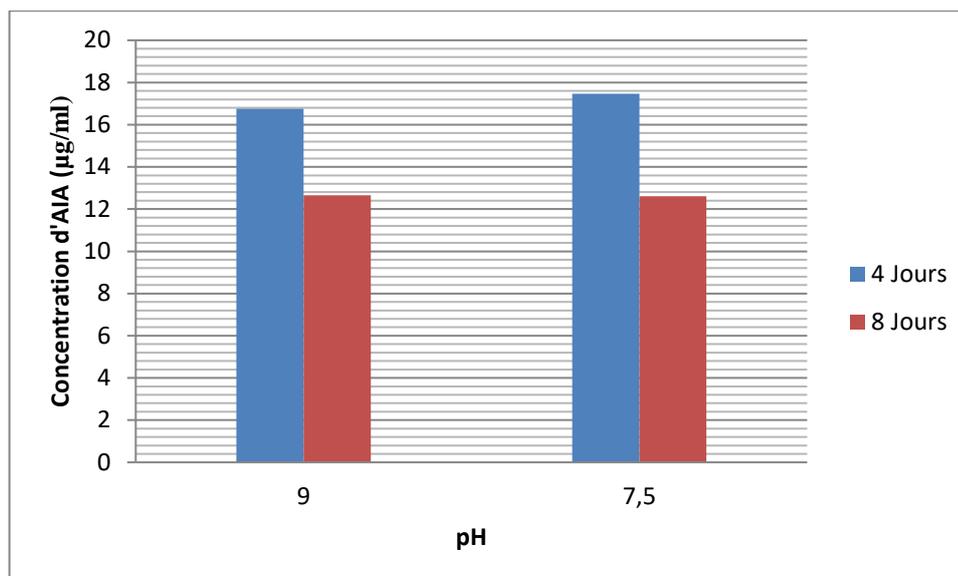


Figure 11 : Histogramme représente les variations des concentrations d'AIA ($\mu\text{g/ml}$) en fonction des pH, après 4 et 8 jours d'incubation.

les résultats de la production d'AIA en fonction des différents paramètres physico-chimiques montre que :

Pour le pH, la meilleure production d'AIA a été observée avec un pH de 7,5 dans le 4^{ème} jour d'incubation avec une valeur de 17,47 $\mu\text{g/ml}$ et une valeur de 16,61 $\mu\text{g/ml}$ dans le pH 9. Cependant ces valeurs ont été diminuées jusqu'à 12,61 à pH 7,5 et 12,65 $\mu\text{g/ml}$ à pH-9, après 8 jours d'incubation (figure 11).

Dans la littérature, le pH neutre favorise la production d'AIA, et les valeurs de pH acide ou alcalin élevé diminuent la production d'AIA parce que les espèces des actinobactéries se développent mal dans ces conditions de pH. En milieu naturel, on sait que la répartition des actinobactéries dans les sols acides et très alcalins est plus faible que dans les sols neutres (Shirokikh *et al.*, 2007). Le pH acide et très alcalin affecte le fonctionnement des systèmes enzymatiques et la solubilité de nombreuses substances nécessaires à la croissance bactérienne et la production d'IAA.

Le pH optimal trouvé dans notre travail pour la production d'IAA la plus élevée est en accord avec d'autres rapports (Khamna *et al.*, 2010).

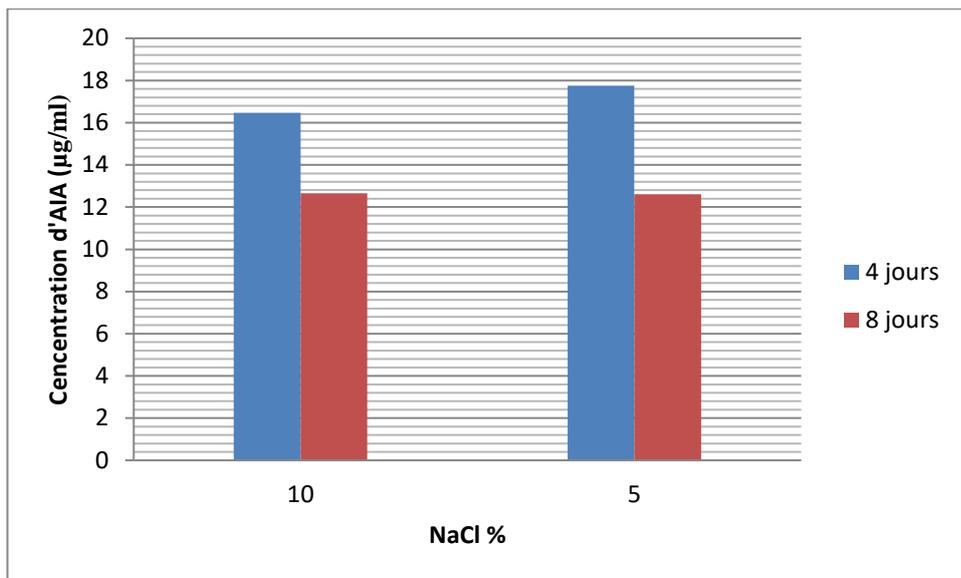


Figure 12 : Histogramme représente les variations des concentrations d’AIA (µg/ml) en fonction des concentrations de NaCl (%), après 4 et 8 jours d’incubation.

En ce qui concerne l’évolution de la production d’AIA en fonction des concentrations de NaCl, la meilleure production d’AIA a été observé avec un pourcentage de 5% NaCl dans le 4^{ème} jour d’incubation avec une valeur de 17,76 µg/ml et une valeur de 16,47 µg/ml avec 10% de NaCl. Cependant ces valeurs ont diminué jusqu’à 12,61 à 5% et 12,65 µg/ml à 10% après 8 jours d’incubation (figure 12).

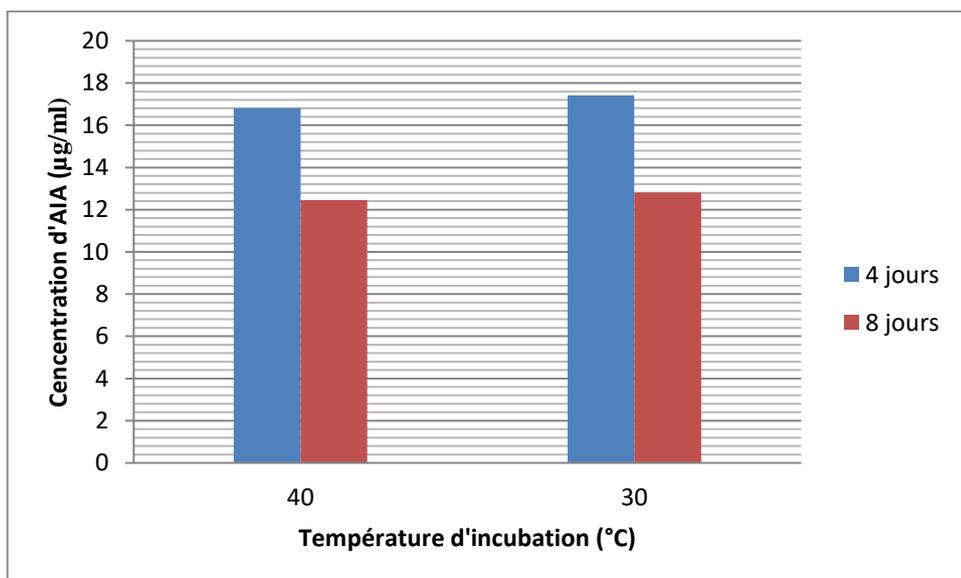


Figure 13 : Histogramme représente les variations des concentrations d’AIA (µg/ml) en fonction des températures d’incubation (°C), après 4 et 8 jours d’incubation.

L'étude de l'influence de la température d'incubation sur les concentrations d'AIA produites nous a permis de trouver que les meilleures productions d'AIA ont été observées dans le 4^{ème} jour d'incubation, à $T^{\circ} = 30$ et $T^{\circ} = 40$ °C avec des valeurs égales à 17,42 µg/ml et 16,81 µg/ml respectivement. Ces valeurs ont diminué après 8 jours d'incubation jusqu'à 12,81 à 30 °C et 12,45 µg/ml à 40 °C (figure 13).

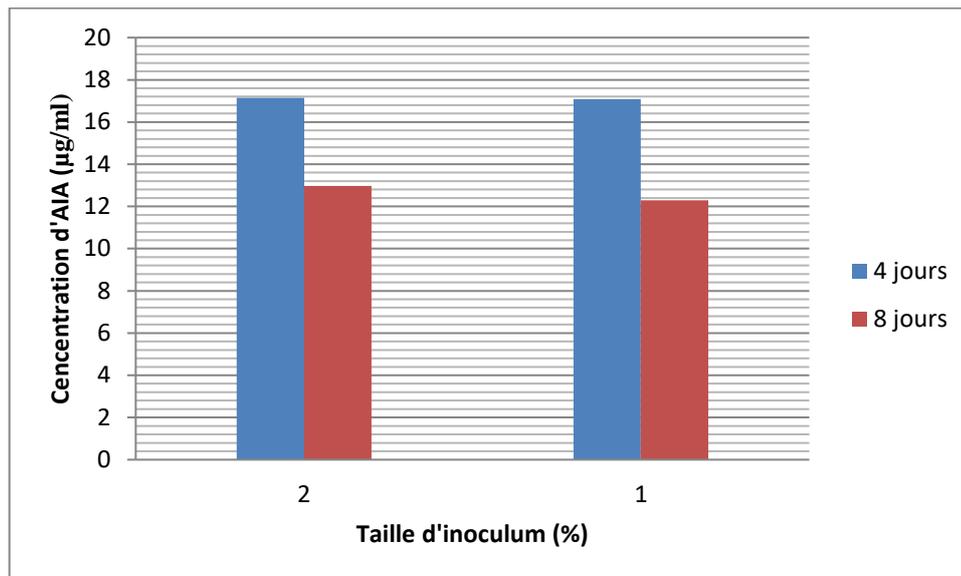


Figure 14: Histogramme représente les variations des concentrations d'AIA (µg/ml) en fonction des tailles d'inoculum (%), après 4 et 8 jours d'incubation.

Les résultats des concentrations d'AIA libérées par notre souche, en fonction de la taille d'inoculum révèle que la production d'AIA est presque la même que ce soit au taux de 1 ou 2 % dans le 4^{ème} jour d'incubation 17,08 et 17,15 µg/ml respectivement. Ces valeurs ont diminué après 8 jours d'incubation pour atteindre les valeurs : 12,29 à 1% et 12,97 µg/ml à 2% (figure 14).

D'après les résultats obtenus de la production d'AIA en fonction des différents paramètres physico-chimiques, la meilleure productivité par la souche a été observée dans les conditions suivantes : un pH de 7,5, une température de 30 °C et une concentration de 5% de NaCl. La taille d'inoculum n'a aucune influence importante sur la productivité de notre souche. D'après les résultats de Tahsin et *al* (2015) et Messaoudi (2020), la majorité des espèces du genre *Nocardioopsis* ont une température optimale qui varie entre 28 et 30 °C et un pH optimale de 7,5, précisément l'espèce

Nocardiopsis aegyptica croit dans les conditions de culture suivante : une température de 10 °C et 5% d'NaCl.

Dans notre étude, les concentration d'AIA produits par la souche *Nocardiopsis aegyptica* varient entre 18,90 µg/ml et 11 µg/ml. Ces valeurs sont nettement supérieures à celles obtenues par Annab et Dafri (2018) (de $5,30 \pm 12.41$ µg/ml) avec la même température d'incubation de 30 °C, mais dans des différentes conditions : concentrations de tryptophane, pH de l'ordre de 2,5 et une taille d'inoculum de 1,5 ml.

De plus, ces valeurs sont inférieures à celle trouvées par Aouar et *al* (2016) qui sont comprises entre 13,5 à 31,04 µg/ml avec des conditions de culture suivantes : différentes concentration de L-Trp, une température d'incubation de 30 °C pendant 6 jours et une taille d'inoculum de 200 µl.

Conclusion et perspectives

Conclusion

Tout au long de ce manuscrit, nous avons présenté différents résultats permettant de mieux appréhender la capacité de la souche *Nocardia aegyptica* à produire l'acide indole acétique. Cette souche a été déjà conservé dans le milieu ISP2 additionné du glycérol à -18 °C, et la revivification de cette souche a été réalisé dans le milieu ISP5, et la purification sur le milieu DSMZ65.

Les caractéristiques morphologiques : macroscopiques et microscopiques de la souche ont été étudiés sur les quatre milieux suivants : ISP5, ISP7, DSMZ65 et Glucose-Asparagine. La recherche de pigment mélanoïde a été réalisée sur le milieu ISP7.

La culture sur les différents milieux nous a permis de déterminer les caractéristiques macroscopiques de la souche : la croissance est bonne sur tous les milieux à l'exception du milieu Glucose-Asparagine, les colonies présentent un aspect rocheux avec des variations de la taille et de couleur du mycélium aérien avec la masse sporale. La souche ne produit aucun pigment diffusible.

La réalisation de la technique de la culture sur lamelle, nous a permis de déterminer les caractères microscopiques de la souche : un mycélium de substrat ramifié plus au moins fragmenté selon le milieu utilisé, un mycélium aérien ramifié et fragmenté et les spores sont ovoïdes formant de longues chaines en zigzag.

Le test de la productivité d'AIA de la souche a été réalisé dans un milieu à base de bouillon de tryptophane, selon une variation des différents paramètres physico-chimiques tels que le pH, l'NaCl, la température d'incubation et la taille d'inoculum ; après la réalisation de la réaction colorimétrique de Salkowski. Le dosage repose sur une mesure de la densité optique à 530 nm.

Les résultats montrent que la souche est capable de synthétiser l'acide indole acétique (AIA) avec des taux qui varient entre 15,54 et 18,90 µg/ml après quatre jour d'incubation et entre 11 et 14,18 µg/ml dans le huitième jour d'incubation. Les concentrations d'AIA atteignent leurs valeurs maximales à pH 7,5, une concentration de NaCl de l'ordre de 5% et une température d'incubation de 30 °C. Les concentrations d'AIA produites en fonction de la taille d'inoculum de 1% ou 2% sont similaires.

Cette étude préliminaire a montré clairement la capacité de la souche actinomycétale *Nocardiosis aegyptica* à produire l'acide indole acétique, cette production a été affectée par les facteurs physico-chimiques.

Références bibliographique

Références bibliographique

Abdul L, Muhammad W, Sang-Mo K, Ahmed A, Javid H, Ahmed A, Salima A, Ihsan U, Liaqat A, Hee-Young J, and In-Jung L. (2014). Bacterial Endophyte *Sphingomonas* sp. LK11 Produces Gibberellins and IAA and Promotes Tomato Plant Growth, Journal of Microbiology (2014) Vol Copyright2014, The Microbiological Society of Korea, DOI [10.1007/s12275-014-4002-7](https://doi.org/10.1007/s12275-014-4002-7).

Akhilesh K, Saurabh S, Arpan M, Rajesh P, Jay Prakash V. (2021). Salt-tolerant plant growth-promoting *Bacillus pumilus* strain JPVS11 to enhance plant growth attributes of rice and improve soil health under salinity stress, Institute of Environment and Sustainable Development, Banaras Hindu University, Varanasi 221005, Uttar Pradesh, India b Division of Research Environment, Ministry of Environment, Forest and Climate Change, Indira Paryavaran Bhawan, New Delhi, India .
<https://doi.org/10.1016/j.micres.2020.126616>

Alper D, K1ymet G, Nevzat Ş. (2020). Isolation, plant growth-promoting traits, antagonistic effects on clinical and plant pathogenic organisms and identification of actinomycetes from olive rhizosphere. Microbial Pathogenesis.
<https://doi.org/10.1016/j.micpath.2020.104134>, 11p.

Annab, A et Dafri, F. (2018). Production de l'auxine chez des actinobactéries rhizosphériques appartenant aux genres *Streptomyces* ET *Nocardiopsis*. Mémoire de master : microbiologie appliquée. Oum el bouaghi. Université Larbi ben m'hidi 65p.

Aouar L., Lerat S., Boulahrouf A. et Beaulieu C. (2016). Bacterial Antagonism and Plant Growth Promoting Traits of Actinobacterial Strains Previously Selected for their Antifungal Properties. Transylvanian Review: Vol XXIV, No. 10, Special Issue, 2016
WebSite: <http://www.centruldestudiiitransilvane.ro>.

Arasu, M.V.; Duraipandiyan, V.; Agastian, P.; Ignacimuthu, S. *In vitro* antimicrobial activity of *Streptomyces* spp. ERI-3 isolated from Western Ghats rock soil (India). J. De Mycol. Médicale **2009**, *19*, 22–28.

Asma A, Shamsul H, Rouf A. (2017). Rôle bénéfique des actinomycètes dans la santé des sols et des plantes phatogène microbienne. Journal hemophage,
<http://dx.doi.org/10.1016/j.micpath.2017.09.036>. 21p

Banu S, Harishchandra S, Monnanda S (2018). Indole acetic acid production by the actinomycetes of coffee plantation soils of western ghats. International Journal of Current Research vol 10, Issue, 10, pp.74482-74487, October, 2018, DOI: <https://doi.org/10.24941/ijcr.32796.10.2018>.

Barka, E.A.; Vatsa, P.; Sanchez, L.; Gaveau-Vaillant, N.; Jacquard, C.; Meier-Kolthoff, J.P.; Klenk, H.-P.; Clément, C.; Ouhdouch, Y.;van Wezel, G.P. (2015) Taxonomy, physiology, and natural products of actinobacteria. Microbiol. Mol. Biol. Rev. 80, 1–43.

Belyagoubi, L. (2014). Antibiotiques produits par des bactéries (actinomycètes et bactéries lactiques) issus de différents écosystèmes naturels Algériens. Thèse de doctorat : biologie. Tlemcen : Université Aboubakr Belkaïd-Tlemcen, 209p.

Bishnu M, Dhurva P, Sanjay N, Sharmila C, Janardan L. (2021). Amelioration of growth attributes of *Bambusa nutans* subsp. *cupulata* Stapleton by indole-3-acetic acid extracted from newly isolated *Bacillus mesonae* MN511751 from rhizosphere of *Bambusa tulda* Roxburgh, Department of Biotechnology, School of Science, Kathmandu University, Dhulikhel, Nepal b Department of Environmental Science and Engineering, School of Science, Kathmandu University, Dhulikhel, Nepal, <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2021.101920>.

Boudjelal, F. (2012). Taxonomie et antagonisme des actinomycètes halophiles d'origine saharienne et caractérisation des composés bioactifs sécrétés par *Actinoalloteichus* sp AH97. Thèse de doctorat : Sciences Agronomiques. Alger: ENSA EL-HARRACH ALGER, 198p.

Brick J.M., Bostock R.M. and Silvestone S.E. (1991). Rapid in situ assay for indole acetic acid production by bacteria immobilized on nitrocellulose membrane. Applied : Environmental Microbiology, 57, 535-538.

Chloe,V. (2006). Analyse quantitative des réponses précoces à l'auxine dans une suspension de cellules de Tabac. These de Doctorat : Biologie Cellulaire et Moléculaire. Bordeaux : Universités Bordeaux 1, 382p.

Djebaili R, Marika P, Maria S, Maddalena D, Kitouni M. (2020). Actinomycete Strains Isolated from Saline Soils:Plant-Growth-Promoting Traits and Inoculation

Efects on *Solanum lycopersicum*, Laboratory of Microbiological Engineering and Applications, University of Brothers Mentouri, Constantine 1, Chaâbat Erssas Campus, Ain El Bey Road, Constantine 25000, Algeria, Sustainability 2020, 12, 4617; doi:10.3390/su12114617.

Ei M, Beibei G, Jinjin M, Hailan C, Binghua L, Liming S, Mingguo J and Kecheng Z. (2019). Indole-3-acetic acid production by *Streptomyces fradiae* NKZ-259 and its formulation to enhance plant growth, Myo et al.: BMC Microbiology (2019) 19_155 <https://doi.org/10.1186/s12866-019-1528-1>.

Goudjal Ya, Omrane T, Nasserline S, Barakate M, Florence M, Zitouni A. (2015). Endophytic actinomycetes from spontaneous plants of Algerian Sahara: indole-3-acetic acid production and tomato plants growth promoting activity. World Journal of Microbiology and Biotechnology, Springer Verlag, 2013, vol. 29 (n° 10), pp. 1821-1829, hal-01177561, DOI: 10.1007/s11274-013-1344-y.

Ilic, S.B.; Konstantinovic, S.S.; Todorovic, Z.B.; Lazic, M.L.; Veljkovic, V.B.; Jokovic, N.; Radovanovic, B.C. Characterization and antimicrobial activity of the bioactive metabolites in Streptomyces isolates. Microbiology **2007**, 76, 421–428.

Jong H, Jae Y, Dong H, Dong-Jin P, Min G, So Y, Yoon J, Jun Y, Minghui W, Chang-Jin K, Yeon H. (2020). Isolation and characterization of the insect growth regulatory substances from actinomycetes . Comparative Biochemistry and Physiology. Part C journal homepage, <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2019.108651> 9p.

Hariri, M. (2018). caractérisation des molécules bioactives produites par des souches d'actinobactéries isolées des sols arides et semi arides d'Algérie. Thèse de doctorat : intérêt des microorganismes en agriculture et en agroalimentaire. Oran. Université d'Oran 1 AHMED BEN BELLA, 221p.

Harvey I. (1999). Sélection de tests discriminants pour l'identification rapide des Actinomycètes thermophiles impliqués dans l'alvéolite allergique extrinsèque. Université de Laval. p.p.127

Herrbach, V. (2013). Stimulation du développement des racines latérales par des lipochitoooligosaccharides (LCOs) symbiotiques chez *Medicago truncatula*. Thèse de doctorat : ED SEVAB : Interactions plantes-microorganismes. Toulouse : Université Toulouse 3 Paul Sabatier (UT3 Paul Sabatier).

Khamna S, Yokota A, Peberdy JF, Lumyong S (2010) Indole-3-acetic acid production by *Streptomyces* sp. isolated from some Thai medicinal plant rhizosphere soils. EurAsia J BioSci 4:23–32

Kitouni M. (2007). isolement de bactéries actinomycétales productrices d'antibiotiques à partir d'écosystèmes extrêmes. Identification moléculaire des souches actives et caractérisation préliminaire des substances élaborées. thèse de doctorat : microbiologie appliquée. Constantine : Université MENTOURI CONSTANTINE 1, 205p.

Laura J. Quittenden, Noel W. Davies, Jason A. Smith, Peter P. Molesworth, Nathan D. Tivendale, and John J. Ross (2009). Auxin Biosynthesis in Pea: Characterization of the Tryptamine Pathway, 1130 Plant Physiology_, November 2009, Vol.(151), pp. 1130–1138, www.plantphysiol.org _ 2009 American Society of Plant Biologists, www.plantphysiol.org/cgi/doi/10.1104/pp.109.141507.

Messaoudi O. (2020). Isolement et caractérisation de nouvelles molécules bioactives à partir d'actinomycètes isolés du sol algérien. Thèse de et doctorat : microbiologie appliquée. Université ABOU BAKR BELKAID de Tlemcen. 220p

Ouargli M. (2018). les actinomycètes producteurs de molécules bioactives. Thèse de et doctorat : microbiologie appliquée. Université BADJI MOKHTAR- ANNABA, 189p.

Shah R, Chaudhari K, Patel P, Natarajan A, Ramar K. (2020). Isolement, caractérisation et optimisation de l'acide indole acétique- production d'espèces *Providencia* (7MM11) et leurs effets sur la tomate (*Lycopersicon esculentum*) plants. Biotechnology et biocatalyse agricole, 15p. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101732>.

Shirokikh IG, Zenova GM, Merzaeva OV, Lapygina EV, Batalova GA, Lysak LV (2007) Actinomycetes in the prokaryotic complex of the rhizosphere of oats in a soddy-podzolic soil. *Eurasian Soil Sci* 40:158–162.

Shulamit M, Hadas S, Ephraim E, Amnon L et Isaac B. (1995). Bissynthesis of indole-3-acetic acid via the indole-3-acetamide pathway in *Streptomyces* SPP. *Microbiology* (1994), 140, 1045-1050, doi: 10.1099/13500872-140-5-1045.

Tahsin B, Ameeta R, Smita Z, Vaishali J. (2015). *Nocardiosis* espèces : incidence, rôles écologiques et adaptations. Recherche microbiologique. Institut de bioinformatique et de biotechnologie, Université Savitribai Phule Pune, Pune 411007, Inde Département de biotechnologie, Abasaheb Garware College, Pune 411004, Inde, 31p, <http://dx.doi.org/10.1016/j.micres.2015.03.010>.

Van d, H.U.; Bilyk, B.L.; McDowall, K.J.; Seipke, R.F.; VanWezel, G.P. (2018) Regulation of antibiotic production in actinobacteria: New perspectives from the post-genomic era. *Nat. Prod. Rep.* 35, 575–604.

Annexes

Annexes

Milieus de culture

Composition de milieu ISP7

Glycérol	15g
L-Asparagine	1g
K ₂ HPO ₄	0,5g
Na Cl	0,5g
Fe SO ₄ 7H ₂ O	0,01g
Agar	20g
H ₂ O	Qsp 1000ml

pH = 7,2 à 7,4

Température de stérilisation : 121 °C pendant 20min

Composition de milieu ISP5

Glycérol	10g
L-Asparagine	1g
K ₂ HPO ₄	1g
Solution saline	1ml
Agar	20g
H ₂ O	Qsp 1000ml

pH = 7 à 7,4

Température de stérilisation : 121 °C pendant 20min

Composition de milieu DSMZ65

Glucose	4g
Extrait de levure	4g
Extrait de malte	10g
Ca CO ₃	2g
Agar	12g
H ₂ O	Qsp 1000ml

pH = 7,2

Température de stérilisation : 121 °C pendant 20min

Composition de milieu Glucose-Asparagine

Glucose	10g
L-Asparagine	0,5g
K ₂ HPO ₄	0,5g
Agar	15g
H ₂ O	Qsp 1000ml

pH = 6,8

Température de stérilisation : 121 °C pendant 20min

Composition de solution saline

Fe SO ₄ 7H ₂ O	0,1g
Mn Cl ₂ 4H ₂ O	0,1g
Zn SO ₄ 7H ₂ O	0,1g
Eau distillé	Qsp 100ml

Composition de réactif Salkowski

Acide perchlorique (35%)	70 ml + 70 ml d'eau
Fe Cl ₃	4,06 g/ 50 ml d'eau
Eau distillé	

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

Filière : Sciences Biologiques
Spécialité : Biologie moléculaire des microorganismes

Titre :

**Production d'acide indole acétique (AIA) par la souche
*Nocardiosis aegyptica***

Résumé

Ce travail a pour but d'analyser la capacité d'une souche de l'espèce *Nocardiosis aegyptica*, de synthétiser une phytohormone appartenant à la famille des auxines, l'acide indole acétique (AIA) qui stimule la croissance des plantes.

D'une part, une étude des caractéristiques morphologique de la souche a été réalisée sur quarts milieux de cultures gélosés ISP5, ISP7, DSMZ65 et Glucose-Asparagine pour déterminer l'aspect macro et microscopique. D'autre part, le test de la productivité de l'AIA est effectué dans les milieux de fermentations à base de bouillon de tryptophane, en utilisant des paramètres variables : le pH et la concentration en NaCl, avec deux différents temps et température d'incubation aussi bien la taille d'inoculum.

La caractérisation morphologique macro et microscopique montre l'appartenance de notre souche à la famille *Nocardiosaceae* et au genre *Nocardiosis*. Le dosage des taux d'AIA montre la production de différentes concentrations d'AIA dans les milieux et l'influence des paramètres physico-chimiques sur la capacité de la production par la souche *Nocardiosis aegyptica*.

Mot clés : Actinomycète, *Nocardiosis aegyptica*, acide indole acétique (AIA), *Nocardiosaceae*, *Nocardiosis*.

Membre du jury :

Président de jury : *BENHIZIA Yacine*. (Professeur – UFM Constantine 1).

Rapporteur : *KITOUNI Mahmoud*. (Professeur – UFM Constantine 1).

Examineur : *OULMI Lamia*. (M.C.B – UFM Constantine 1).

Présentée par :

FILALI Nour el yakine

DIABI Sabrina

HALIMI Chaima

Année universitaire : 2020-2021