

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE  
جامعة عمار ثليجي بالأغواط  
UNIVERSITE AMAR TELIDJI LAGHOuat

كلية العلوم  
FACULTE DES SCIENCES  
قسم البيولوجيا  
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE



## Mémoire

*En vue de l'obtention du diplôme de Master*

*Filière : Sciences Biologiques*

*Option : Microbiologie fondamentales et appliquée*

### THEME

---

**Evaluation In vivo du potentiel antifongique et insecticide  
des nanoparticules d'argent synthétisées par un in isolat  
d'actinobactérie**

---

**Présenté par :**

Soutenu publiquement le : 22/06/2023

- DJEMAIK Meriem
- TALEB Fatna

**Devant le jury composé de :**

Mr. Krantar Kamel	MAA (Université Amar Télidji, Laghouat)	Président
Mr.Zerrouki Mohamed Houcine	MAA (Université Amar Télidji, Laghouat)	Examineur
Mr. GACEM Mouhamed Amine	MCB (Université Amar Télidji, Laghouat)	Rapporteur
Mr. Boudjemaa Baderddine	(Université Amar Télidji, Laghouat)	Co-Rapporteur

Année universitaire : 2022-2023

## *Remerciement*

*Avant tout, nous remercions Dieu de nous avoir donné le courage, la patience et la chance d'étudier et de suivre le chemin de la science.*

*Nous tenons tout d'abord à exprimer notre profonde gratitude à notre encadreur : **Mr. GACEM Mouhamed Amine**, C'est un honneur pour nous de travailler avec lui. Nous le remercions pour avoir accepté de diriger ce travail, pour sa grande patience, ses encouragements, sa modestie, ses orientations et ses tout conseils précieux. Notre Seigneur, guréris-le et accorde-lui la santé et le bien-etre*

*Nous adressons aussi nos remerciements à notre co-encadreur : **Mr. BOUDJEMAA Baderedine**, pour avoir accepté de diriger ce travail, pour leur très grande patience, encouragements, orientations et leurs conseils très précieux durant la réalisation de ce travail.*

*Nous tenons à remercier les membres de jury **Mr. KRANTAR Kamel** et **Mr.ZERROUKI Mohamed Houcine** d'avoir accepté d'examiner ce travail.*

*Grands et respectueux remerciements s'adressent à tous les enseignants du Département de Biologie pour leurs aides et leurs dévouements à leurs missions académiques*

*Nos sincères remerciements aux ingénieurs de laboratoire*

*Un grand merci à toutes personnes qui nous ont aidé de proche ou loin lors de la réalisation de ce travail.*



## *Dédicace*

*Au nom d'Allah, le Tout Miséricordieux, le Très Miséricordieux, et que la paix soit sur son prophète Mohammed.*

*Je dédie cette humble œuvre*

*A ma chère mère, qui a toujours été mon soutien tout au long de ma vie.*

*À mon père bien-aimé, que Dieu ait son âme, tu as toujours été une personne productive et encourageante pour moi. J'espère que tu es fier de moi et de ce que j'ai accompli*

*À ma chère sœur: tu as toujours été une source d'inspiration, de soutien et de motivation pour moi, et ta présence constante à mes côtés dans toutes les étapes de ma vie a eu un impact considérable sur mon succès.*

*À mon cher frère: tu es une personne spéciale dans ma vie et tu as toujours été une source d'inspiration et d'encouragement pour moi.*

*À mon binôme **Fatna** . Je vous remercie pour tous les efforts que vous faites dans le mémoire et pour votre engagement et votre persévérance dans le travail. J'espère que nous aurons encore plus de succès à l'avenir et que nous pourrons réaliser nos rêves et nos aspirations ensemble. Merci pour tout, et je suis fier d'être votre amie et votre partenaire dans le mémoire.*

*A mes oncles , mes tantes et toute la famille de **DJEMAIKH***

*A mes très chères amis : Malika et Samia*

*A tous ma promotion et mes amies durant toutes ses années d'étude*





## *Dédicace*

*Au nom d'Allah, le Tout Miséricordieux, le Très Miséricordieux, et que la paix soit sur son prophète Mohammed.*

*Je dédie ce travail*

*A ma mère , pour son amour , ses encouragements et ses sacrifices , ta prière et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études . Puisse Dieu , tout puissant vous comblez de santé de bonheur et vous procurer une longue vie*

*A mon père A la lumière de mes jours , la source de mes efforts , la flamme de mon cœur*

*A mon frères et ma sœurs Pour leur soutien moral et leurs conseils précieux tout au long de mes études*

*A ma chère grand - mère*

*À mon binôme **Meriem**. Ce travail que j'ai accompli porte tes empreintes et ton influence , car tu es toujours une source d'inspiration pour moi . Je te souhaite une vie pleine de bonheur et de réussite , et que tu restes toujours mon amie chère*

*A tous mes amis Et tous ceux qui m'aiment*



# *Table des matières*

	<b>Page</b>
<b>Liste des abréviations</b>	<b>I</b>
<b>Liste des figures</b>	<b>II</b>
<b>Liste des photos</b>	<b>III</b>
<b>Liste des tableaux</b>	<b>IV</b>
<b>Résumé</b>	<b>V</b>
<b>Abstract</b>	<b>VI</b>
<b>ملخص</b>	<b>VII</b>
<b>introduction</b>	<b>01</b>
<b><i>PREMIERE PARTIE : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE</i></b>	
<b>I. Généralités sur les nanoparticules d'argent</b>	<b>03</b>
<b>I. 1. Nanoparticules d'Argent (AgNPs)</b>	<b>03</b>
<b>I. 2. Définition de Nanoparticule</b>	<b>03</b>
<b>I. 3. Synthèse des AgNPs par les actinobactéries</b>	<b>05</b>
<b>I. 4. Applications potentielles des nanoparticules d'argent</b>	<b>06</b>
<b>II. Généralité sur Actinobactéries</b>	<b>07</b>
<b>II. 1. Caractéristiques microscopiques des Actinobactéries</b>	<b>07</b>
<b>II. 2. Habitat des Actinobactéries</b>	<b>07</b>
<b>II. 2.1. Environnement terrestre</b>	<b>08</b>
<b>II. 2.2. Eaux douces et marines</b>	<b>08</b>
<b>II. 2.3. Air</b>	<b>08</b>
<b>II. 2.4. Composts</b>	<b>08</b>
<b>II. 3. Cycle de vie des Actinobactéries</b>	<b>09</b>
<b>II. 4. Caractéristiques physiologiques</b>	<b>10</b>
<b>II. 5. Classification des Actinobactéries</b>	<b>11</b>
<b>II. 5.1. Classification morphologique</b>	<b>11</b>
<b>II. 5.2. Classification moléculaire</b>	<b>13</b>
<b>II. 6. Potentiel biologique des Actinobactéries</b>	<b>13</b>
<b>II. 6.1. Activité antibactérienne</b>	<b>13</b>
<b>II. 6.2. Activité antifongique</b>	<b>14</b>
<b>II. 6.3. Activité insecticide</b>	<b>15</b>
<b>II. 6.4. Activité anticancéreuse</b>	<b>16</b>
<b>II. 6.5. Activité anti-inflammatoire</b>	<b>16</b>
<b>II. 6.6. Activité antioxydant</b>	<b>17</b>

## ***DEUXIEME PARTIE : ETUDE EXPPERIMENTALE***

<b>I.</b>	<b>Matériel et méthodes</b>	<b>18</b>
<b>I.</b>	<b>1. Matériel biologique</b>	<b>18</b>
<b>I.</b>	<b>1.1. Souches microbiennes</b>	<b>18</b>
<b>I.</b>	<b>2. Isolement et purification des moisissures</b>	<b>18</b>
<b>I.</b>	<b>3. Identification des genres fongiques par la technique de micro-culture</b>	<b>20</b>
<b>I.</b>	<b>4. Biosynthèse verte des nanoparticules d'argent (AgNPs)</b>	<b>21</b>
<b>I.</b>	<b>5. Microscopie électronique à balayage (MEB)</b>	<b>23</b>
<b>I.</b>	<b>6. Evaluation du pouvoir antifongique et insecticides des AgNPs</b>	<b>23</b>
<b>I.</b>	<b>6.1. Evaluation de l'activité antifongique</b>	<b>23</b>
<b>I.</b>	<b>6.1.1. Préparation de la suspension fongique</b>	<b>23</b>
<b>I.</b>	<b>6.1.2. Evaluation de l'activité des AgNPs sur les graines de blé contaminées</b>	<b>25</b>
<b>I.</b>	<b>6.2. Evaluation de l'activité insecticides</b>	<b>27</b>
<b>II.</b>	<b>Résultats et discussion</b>	<b>29</b>
<b>II.</b>	<b>1.Résultats du repiquage de la souche Streptomyes Sp</b>	<b>29</b>
<b>II.</b>	<b>2.Résultats de la purification des souches fongiques</b>	<b>29</b>
<b>II.</b>	<b>3.Résultats obtenus par la méthode de micro-culture</b>	<b>30</b>
<b>II.</b>	<b>4.Résultats de la biosynthèse verte des nanoparticules d'argent (AgNPs)</b>	<b>32</b>
<b>II.</b>	<b>4.1.Mise en évidence du virage de couleur des solutions</b>	<b>32</b>
<b>II.</b>	<b>5.Résultats de microscope électronique à balayage (MEB)</b>	<b>32</b>
<b>II.</b>	<b>6.Résultats de l'activité antifongique des nanoparticules d'argents</b>	<b>33</b>
<b>II.</b>	<b>7.Résultats de l'activité insecticides des nanoparticules d'argent</b>	<b>38</b>
	<b>Discussion</b>	<b>39</b>
	<b>Conclusion générale et perspectives</b>	<b>40</b>
	<b>Références bibliographiques</b>	<b>41</b>
	<b>Annexe</b>	

## *Liste des abréviations*

<b>AND</b>	Acide désoxyribonucléique
<b>Ag+</b>	ions d'argent
<b>AgNO<sub>3</sub></b>	Nitrate d'argent
<b>AgNPs</b>	Nanoparticules d'argent
<b>ARN</b>	Acidedésoxyribonucléique
<b>ARNr16S</b>	Acide RiboNucléique codant pour la sous unité ribosomique 16s
<b>AW</b>	activité de l'eau
<b>CG%</b>	Pourcentage de guanine - cytosine
<b>DO</b>	Densité Optique
<b>DPPH</b>	2,2diphenylel - picrylhydrazyle
<b>GYM</b>	Glucose -Levure -Malt
<b>NPMs</b>	Nanoparticules particules métalliques
<b>PCR</b>	Polymérase chaîne réaction
<b>PDA</b>	Dextrose à la Pomme de Terre
<b>pH</b>	Le potentiel d'Hydrogène
<b>ROS</b>	( Reactive oxygen species ) espèce réactive oxygénée

## *List des figures*

	<b>page</b>
<b>Figure01.</b> Taille des nanoparticules comparée à à d'autre structure biologiques	<b>4</b>
<b>Figure02.</b> Représentation schématique d'une réaction d'oxydo-réduction pour la formation des nanoparticules d'argent	<b>4</b>
<b>Figure03.</b> Etapes de biosynthèse extracellulaire des AgNPs à l'aide des bactéries	<b>5</b>
<b>Figure04.</b> Applications potentielles des nanoparticules d'argent	<b>6</b>
<b>Figure05.</b> Représentation schématique du cycle de vie des actinomycètes sporulantes	<b>10</b>
<b>Figure06.</b> Coupe transversale d'une colonie d'actinomycètes montrant le mycélium du substrat et le mycélium aérien avec des chaînes de conidiospores	<b>12</b>
<b>Figure07.</b> Types de spores produites par les actinobactéries	<b>13</b>
<b>Figure08.</b> Isolement des moisissures à partir des graines de blé par la méthode indirecte.	<b>19</b>
<b>Figure09.</b> Micro-culture des moisissures pour l'identification microscopique	<b>21</b>
<b>Figure10.</b> Schéma représentatif des étapes suivie durant la biosynthèse des nanoparticules d'argent.	<b>22</b>
<b>Figure11.</b> Préparation des suspensions fongiques par méthode micro-dilution en milieu liquide	<b>24</b>
<b>Figure12.</b> Evaluation de l'activité antifongique des AgNPs	<b>26</b>
<b>Figure13.</b> Images par MEB d'AgNPs biosynthétisés.	<b>33</b>
<b>Figure14.</b> Résultats de l'activité insecticides des solutions d'AgNPs.	<b>38</b>

## *List des photos*

	page
<b>Photo01.</b> Culture fongiques mixte obtenue à partir des graines de café sur milieu PDA.	<b>20</b>
<b>Photo02.</b> Feuilles d'abricotier envahies de pucerons	<b>27</b>
<b>Photo03.</b> Evaluation de l'activité insecticide des AgNPs.	<b>28</b>
<b>Photo04.</b> Aspect de la souche <i>Streptomyes Sp</i> sur milieu de culture	<b>29</b>
<b>Photo05.</b> Aspects macroscopiques des souches fongiques pures isolées	<b>29</b>
<b>Photo06.</b> Aspect microscopique des souches fongiques par microculture	<b>31</b>
<b>Photo07.</b> Solutions réactionnelles de la synthèse des AgNPs.	<b>32</b>

## *List des tableaux*

	page
<b>Tableau 01.</b> Habitat de certains actinobactéries	<b>09</b>
<b>Tableau 02.</b> Quelques exemples de substances antimicrobiennes produites par les actinomycètes	<b>14</b>
<b>Tableau 03.</b> Exemples d'agents antifongiques produits par les actinobactéries	<b>14</b>
<b>Tableau 04.</b> Quelques exemples des substances bioactif produites par les actinomycètes et utilisées comme agent de contrôle contre les insectes nuisibles des plantes.	<b>15</b>
<b>Tableau 05.</b> Concentration des solutions d'AgNO <sub>3</sub> préparées	<b>23</b>
<b>Tableau 06.</b> Densité optique des espèces fongiques utilisées durant l'évaluation de l'activité antifongique	<b>24</b>
<b>Tableau 07.</b> Résultats du traitement positif des grains de blé.	<b>34</b>
<b>Tableau 08.</b> Résultats du traitement draines du blé par les AgNPs.	<b>35</b>
<b>Tableau 09.</b> Résultats du traitement des graines de blé par les AgNPs après une incubation de 24h dans la solution de spores fongique	<b>36</b>

## Résumé

La nanotechnologie est l'une des technologies les plus importantes du 21<sup>e</sup> siècle et représente un domaine de recherche actif pour les tailles de particules allant de 1 à 100 nm. Depuis l'Antiquité, l'argent est populaire pour ses propriétés antimicrobiennes et cicatrisantes. En raison des nombreuses applications de l'argent, il s'agit de l'un des types de nanomatériaux les plus étudiés. Ces dernières années, il a été découvert que certaines espèces d'actinobactéries sont capables de produire des nanoparticules d'argent grâce à un processus appelé biosynthèse .

Dans cette étude, nous discuterons de la biosynthèse des nanoparticules d'argent à l'aide d'actinobactéries. De plus, Les nanoparticules d'argent (AgNPs) ont été étudiées pour leur utilisation potentielle comme agents antifongiques et insecticides.

Pour évaluer l'activité antifongique des nanoparticules d'argent sur les graines de blé contaminées. la méthode consiste à exposer les graines de blé contaminées à différentes concentrations de nanoparticules d'argent et à évaluer leur capacité à inhiber la croissance fongique . Pour ce faire , des tests de microbiologie effectués pour quantifier la réduction de la croissance fongique sur les graines de blé traitées avec des nanoparticules d'argent par rapport aux graines de blé non traitées . Les résultats de ces tests donner une indication de l'efficacité des nanoparticules d'argent en tant qu'agent antifongique pour la protection des cultures de blé . En tant qu'agent antifongique, il a été démontré que les AgNPs inhibent la croissance d'un large éventail d'espèces fongiques, notamment *Aspergillus ochraceus*, *Aspergillus flavus*, *Fusarium avenaceum* et *penicillium expansum* . On pense que le mécanisme de l'activité antifongique des AgNPs implique la perturbation de l'intégrité de la membrane cellulaire fongique, conduisant à la mort cellulaire.

Dans les tests de mortalité insecticide, les AgNPs peuvent être appliquées directement sur les pucerons verts ( *Myzus persicae* ). Les insectes sont exposés à différentes concentrations d'AgNPs. En tant qu'insecticide, il a été démontré que les AgNPs ont une activité contre *Myzus persicae* . On pense que le mécanisme de l'activité insecticide des AgNPs implique la perturbation de l'intégrité de la membrane cellulaire des insectes, conduisant à la mort cellulaire.

Cependant, il est important de noter que l'utilisation des AgNPs comme agents antifongiques et insecticides en est encore aux premiers stades de la recherche et du développement, et d'autres études sont nécessaires pour bien comprendre leurs avantages et risques potentiels. De plus, l'impact environnemental des AgNPs doit être soigneusement évalué, car ils peuvent avoir des effets néfastes sur les organismes et les écosystèmes non ciblés.

**Mots clés :** nanoparticules d'argent (AgNPs) , Actinobactérie , biosynthèse , Antifongiques , insecticides .

## **Abstract**

Nanotechnology is one of the most important technologies of the 21st century and represents an active field of research for particle sizes ranging from 1 to 100 nm. Since ancient times, silver has been popular for its antimicrobial and healing properties. Due to silver's many applications, it is one of the most studied types of nanomaterials. In recent years, it has been discovered that certain species of actinobacteria are able to produce silver nanoparticles through a process called biosynthesis .

In this study, we will discuss the biosynthesis of silver nanoparticles using actinobacteria. In addition, silver nanoparticles (AgNPs) have been studied for their potential use as antifungal and insecticidal agents.

To assess the antifungal activity of silver nanoparticles on contaminated wheat seeds, the method involves exposing contaminated wheat seeds to different concentrations of silver nanoparticles and evaluating their ability to inhibit fungal growth. To do this, microbiology tests were carried out to quantify the reduction in fungal growth on wheat seeds treated with silver nanoparticles compared with untreated wheat seeds. The results of these tests give an indication of the efficacy of silver nanoparticles as an antifungal agent for the protection of wheat crops. As an antifungal agent, AgNPs have been shown to inhibit the growth of a wide range of fungal species, including *Aspergillus ochraceus*, *Aspergillus flavus*, *Fusarium avenaceum* and *penicillium expansum* . The mechanism of AgNPs' antifungal activity is thought to involve disruption of fungal cell membrane integrity, leading to cell death.

In insecticidal mortality tests, AgNPs can be applied directly to green aphids ( *Myzus persicae* ). The insects are exposed to different concentrations of AgNPs. As insecticides, AgNPs have been shown to have activity against *Myzus persicae* . The mechanism of AgNPs' insecticidal activity is thought to involve disruption of insect cell membrane integrity, leading to cell death.

However, it is important to note that the use of AgNPs as antifungal and insecticidal agents is still in the early stages of research and development, and further studies are needed to fully understand their potential benefits and risks. In addition, the environmental impact of AgNPs needs to be carefully assessed, as they can have adverse effects on non-target organisms and ecosystems.

**Keywords:** silver nanoparticles (AgNPs) , Actinobacteria , biosynthesis , Antifungals , insecticides .

## ملخص

تعد تقنية النانو واحدة من أهم تقنيات القرن الحادي والعشرين وتمثل مجالاً نشطاً للبحث لأحجام الجسيمات التي تتراوح من 1 إلى 100 نانومتر. منذ العصور القديمة ، اشتهرت الفضة بخصائصها المضادة للميكروبات والشفاء. نظراً لتطبيقات الفضة العديدة ، فهي واحدة من أكثر أنواع المواد النانوية التي تمت دراستها ، وفي السنوات الأخيرة ، تم اكتشاف أن أنواعاً معينة من البكتيريا الشعاعية قادرة على إنتاج جزيئات الفضة النانوية من خلال عملية تسمى التخليق الحيوي . في هذه الدراسة ، سناقش التخليق الحيوي لجسيمات الفضة النانوية باستخدام البكتيريا الشعاعية. بالإضافة إلى ذلك ، تمت دراسة جزيئات الفضة النانوية AgNPs لاستخدامها المحتمل كعوامل مضادة للفطريات ومبيدات الحشرات.

لتقييم النشاط المضاد للفطريات لجسيمات الفضة النانوية على بذور القمح الملوثة ، تتضمن الطريقة تعريض بذور القمح الملوثة لتركيزات مختلفة من جزيئات الفضة النانوية وتقييم قدرتها على منع نمو الفطريات. ولتحقيق ذلك ، أجريت اختبارات ميكروبيولوجية لقياس الانخفاض في نمو الفطريات على بذور القمح المعالجة بجزيئات الفضة النانوية مقارنة ببذور القمح غير المعالجة. نتائج هذه الاختبارات تعطي مؤشراً على فعالية جزيئات الفضة النانوية كعامل مضاد للفطريات لحماية محاصيل القمح. كعامل مضاد للفطريات ، فقد ثبت أن AgNPs يمنع نمو مجموعة واسعة من الأنواع الفطرية ، بما في ذلك *Aspergillus flavus* ، *Aspergillus ochraceus* ، *Fusarium avenaceum* و *penicillium expansum* . يُعتقد أن آلية النشاط المضاد للفطريات لـ AgNPs تنطوي على اضطراب سلامة غشاء الخلية الفطرية ، مما يؤدي إلى موت الخلية.

في اختبارات الوفيات بالمبيدات الحشرية ، يمكن تطبيق AgNPs مباشرة على حشرات المن الخضراء (*Myzus persicae*). تتعرض الحشرات لتركيزات مختلفة من AgNPs. كمبيدات حشرية ، ثبت أن AgNPs لها نشاط ضد *Myzus persicae*. يُعتقد أن آلية نشاط المبيدات الحشرية لـ AgNPs تنطوي على اضطراب سلامة غشاء خلية الحشرات ، مما يؤدي إلى موت الخلية.

ومع ذلك ، من المهم ملاحظة أن استخدام AgNPs كعوامل مضادة للفطريات ومبيدات الحشرات لا يزال في المراحل الأولى من البحث والتطوير ، وهناك حاجة إلى مزيد من الدراسات لفهم فوائدها ومخاطرها المحتملة بشكل كامل. بالإضافة إلى ذلك ، يجب تقييم التأثير البيئي للـ AgNPs بعناية ، حيث يمكن أن يكون لها آثار ضارة على الكائنات الحية والنظم البيئية غير المستهدفة.

**الكلمات المفتاحية:** جزيئات الفضة النانوية (AgNPs) ، البكتيريا الشعاعية ، التخليق الحيوي ، مضادات الفطريات ، مبيدات الحشرات.

# *Introduction*

# *Introduction*

---

## **Introduction**

La recherche en nanotechnologie est l'un des principaux domaines scientifiques émergents, ces applications occupent une place importante en science et en technologie dont le but est de fabriquer de nouveaux matériaux qui renferment les avantages recherchés. Le préfixe nano est dérivé du mot grec « nanos » qui signifie "nain" et désigne les objets d'une taille d'un milliardième (10 m). Le terme "nanotechnologie" a été inventé par le professeur Norio Taniguchi de l'université des sciences de Tokyo en 1974 pour décrire la précision des biomatériaux industrialisés à l'échelle nanométrique(**Panchanathan et al., 2014**) .

La nanotechnologie a rapporté une nouvelle vision pour le développement de nouveaux processus et produits. Elle peut être appliquées dans de multiple fins, telles que l'amélioration de la santé humaine et animale, et l'augmentation de la productivité agricole et industrielle. Autrement, les nanostructure sont utilisées dans l'agriculture comme moyen de livraison de pesticide et d'engrais, dans le développement d'agent antimicrobiens surtout contre les souches résistante, et enfin comme capteurs environnementaux pour la lutte et la surveillance de la pollution (**Tárcio et al., 2021** ).

Il existe plusieurs types de nanoparticules, en particulier, les nanoparticules métalliques telles que le cuivre, le titane, le zinc, l'or, le magnésium et l'argent quisont les plus étudiées. Toutefois, les nanoparticules d'argent (AgNPs) sont les plus efficaces suit à leurs propriétés. Les propriétés antimicrobiennes de l'argent sont connues depuis l'an 1000 avant Jésus-Christ. Les AgNPs peuvent être synthétisées par des méthodes chimiques et physiques. Cependant, la synthèse chimique renferme des substances toxiques qui ont un impact négatif sur l'environnement. De plus, La méthode physique produit un faible rendement, il est également difficile à contrôler la taille des particules durant la synthèse par cette méthode(**A'liyatur et al., 2022**).

Suite aux inconvénient imposés par les techniques chimique et physique, il est impératif de développer une approche "verte" propre, non toxique, biocompatible et respectueuse de l'environnement pour synthétiser des nanomatériaux d'importance technologique(**Panchanathan et al., 2014**).

# *Introduction*

---

Ce travail vise à générer des AgNPs biogéniques à l'aide d'actinobactéries et d'évaluer leurs activités biologiques. Pour se faire, une synthèse bibliographique représentant la première partie de notre étude est réalisée afin de regrouper les informations essentielles sur les nanoparticules, leur synthèse, leur utilisation, et leur intérêt suivi d'une rétrospective sur les actinobactéries, notamment leur écologie, leur taxonomie, et leur importance.

Dans la seconde partie de notre étude, la méthodologie est représentée par les techniques utilisées pour la réalisation de ce travail suivie des principaux résultats et leurs discussions.

L'étude est achevée par une conclusion générale et des perspectives.

*Première partie :*  
*Etude bibliographiques.*

## **I. Généralités sur les nanoparticules d'argent**

### **I.1. Nanoparticules d'Argent (AgNPs)**

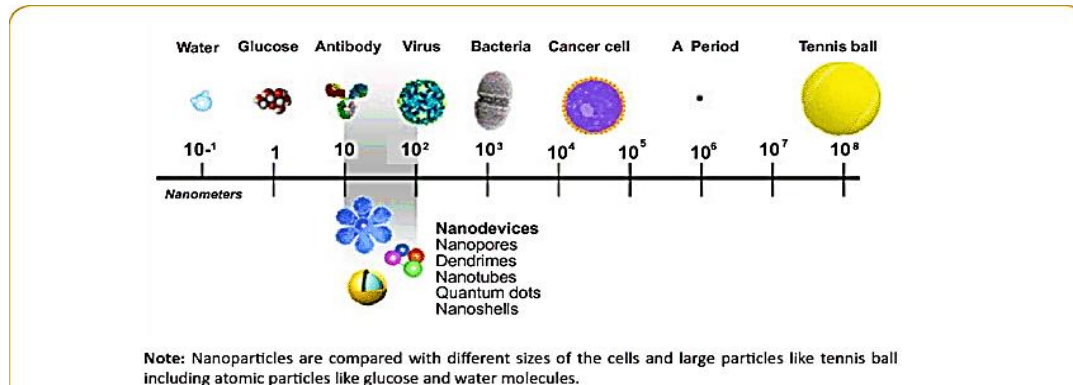
La synthèse des nanoparticules à l'aide d'un système biologique est une méthode rapide, efficace, économique, non toxique et respectueuse de l'environnement. De nombreux chercheurs ont étudié la production de nanoparticules souhaitées à l'aide des bactéries, des microalgues, des levures, des moisissures, et des plantes. Les micro-organismes tels que les actinobactéries sont capables de produire des nanoparticules qui sont largement utilisées comme nouveaux produits thérapeutiques, il s'agit des agents antimicrobiens, anticancéreux, antisalissures, antifongiques et antiparasitaires. Le principe de base de la synthèse des nanoparticules est que les enzymes des actinobactéries réduisent les ions métalliques en nanoparticules stables lorsqu'elles reçoivent des ions métalliques comme substrats. Par exemple, la synthèse de nanoparticules AgNPs recommande une solution de nitrate d'argent ( $\text{AgNO}_3$ ) comme substrat (**Salonietal., 2022**).

De nombreuses espèces d'actinobactéries renferment un potentiel pour la synthèse des nanoparticules d'argent, en effet, les genres les plus connus sont : *Actinopolyspora*, *Kibdelosporangium*, *Nocardiopsis*, *Saccharopolyspora*, *Streptomyces*, *Thermoactinomyces*, et *Thermomonospora* (**Anandanet al., 2016**).

### **I.2. Définition de Nanoparticule**

Le terme "nanoparticule" fait référence à des matériaux de taille nanométrique (généralement entre 1 et 100 nm), ces nanoparticules possèdent trois dimensions (3D) (**Chakraborty., 2016**).

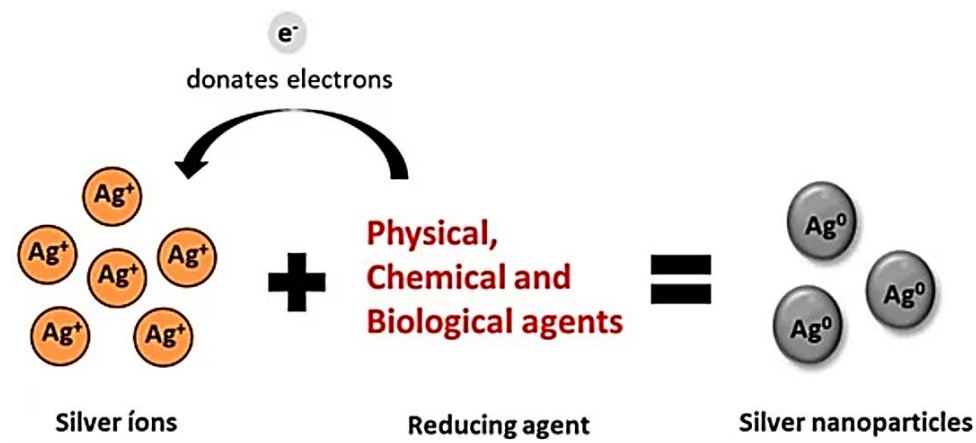
**La figure 01** montre la différence existante entre la taille des nanoparticules en comparaison avec d'autres structures biologiques.



**Figure 01.** Taille des nanoparticules comparée à d'autres structures biologiques (Chakraborty., 2016).

L'utilisation de l'argent pour le développement de nanoparticules a augmenté en raison de ses applications biomédicales, principalement en tant qu'agent antimicrobien efficace. Aujourd'hui, avec l'amélioration des études relatives aux nanomatériaux, il a été possible de reconnaître plusieurs possibilités d'application pour les nanoparticules d'argent, telles que le développement d'emballages alimentaires pour la protection contre les micro-organismes, la production de biocapteurs et la décontamination de l'eau (Tárcio *et al.*, 2021).

La formation des AgNPs repose sur le développement d'une réaction de réduction, où les ions argent ( $\text{Ag}^+$ ) sont réduits par interaction avec un agent réducteur et transformés en atomes neutres ( $\text{Ag}^0$ ) (Figure 02). Cette réaction peut être médiée par différents agents réducteurs, par le biais de méthodes physiques, chimiques ou biologiques (Tárcio *et al.*, 2021).

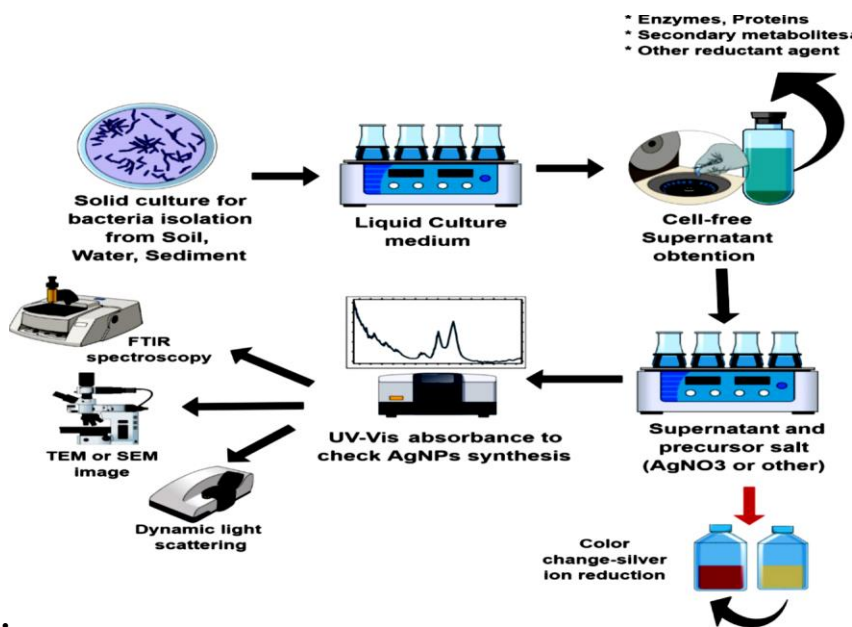


**Figure 02.** Représentation schématique d'une réaction d'oxydo-réduction pour la formation des nanoparticules d'argent (Tárcio *et al.*, 2021).

### I.3. Synthèse des AgNPs par les actinobactéries

Parmi les voies biologiques de biosynthétiser des AgNPs, la synthèse à médiation bactérienne a pris de l'ampleur, car elle présente les avantages suivants : sécurité, faible toxicité, faible coût et facilité de mise à l'échelle pour la production (Javaid et al., 2017). Les actinobactéries sont une source énorme de plusieurs composés bioactifs et de métabolites, qui ont attiré l'attention pour leurs applications dans la biotechnologie, l'agriculture et l'industrie alimentaire (Barka et al., 2015). Sans aucun doute, étant donné le grand potentiel et la polyvalence des actinobactéries, elles ont également été évaluées pour être utilisées comme agent réducteur pour la génération des AgNPs (Gonzalo et al., 2022).

La synthèse AgNPs par les actinobactéries est réalisable par des voies extracellulaires ou intracellulaires. La synthèse intracellulaire se produit à l'intérieur de la cellule bactérienne, dans laquelle le précurseur ( $\text{Ag}^+$ ) est réduit en  $\text{Ag}^0$ , et la nanoparticule obtenue s'accumule sur la paroi cellulaire. La synthèse extracellulaire dépend des protéines et/ou des enzymes sécrétées pour réduire les ions d'argent. Cependant, la synthèse extracellulaire (comme le montre la **figure 03**) est fréquemment rapportée (Gonzalo et al., 2022).



**Figure 03.** Etapes de biosynthèse extracellulaire des AgNPs à l'aide des bactéries (Gonzalo et al., 2022).

### I.4. Applications potentielles des nanoparticules d'argent

L'utilisation des nanoparticules a augmenté dans plusieurs applications, telles que l'agriculture, la médecine, l'énergie et l'électronique (Khan et al., 2017). Les nanoparticules sont utilisées dans l'agriculture pour stimuler la croissance, le développement des plantes et assurer la durabilité. Les nanomatériaux contribuent à améliorer la production agricole en minimisant les pertes pertinentes grâce à une protection accrue des cultures. Ils sont également utilisés comme outils de gestion des maladies des plantes induites par les bactéries, les virus, les insectes et les champignons phytopathogènes. Certaines nanoparticules sont utilisées comme nanofertilisants en raison de leur absorption facile par les plantes (Gacem et Chaibi, 2022).

L'argent est connu par leur capacité à inhiber diverses souches bactériennes, c'est pourquoi ils sont couramment utilisés dans les savons, les pâtes, les plastiques, les cathéters et les cosmétiques médicaux (Figure 04). L'argent est ajouté pour protéger les plaies ouvertes et les infections locales après des brûlures (García - Barrasa et al., 2011 ; Kumar et al., 2018 ; Paladini et Polini, 2019 ; Sim et al., 2018).

L'une des nanostructures les plus étudiées et les plus étonnantes est la nanoparticule d'argent (NPs d'Ag), en raison de son utilisation répandue dans plusieurs applications (Gonzalo et al., 2022), comme le montre la

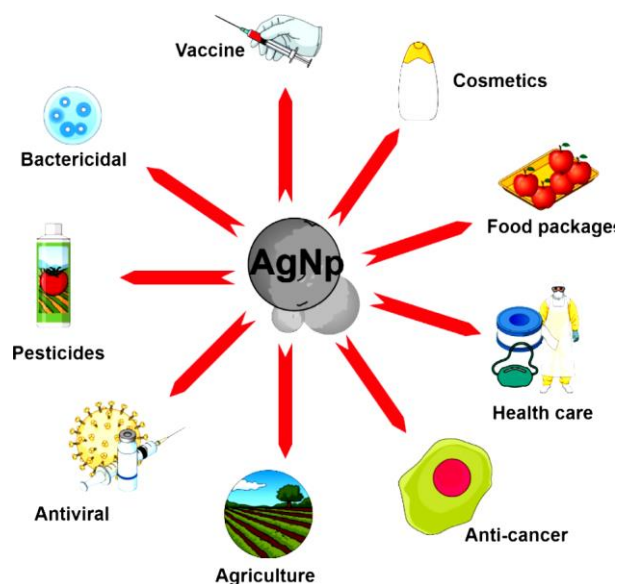


Figure 4. Applications potentielles des nanoparticules d'argent (Gonzalo et al., 2022).

## **II. Généralité sur Actinobactéries**

Les actinomycètes ont reçu beaucoup d'attention par la communauté scientifique en raison de leur capacité à produire une large gamme de composés bioactifs avec des structures chimiques intéressantes (**Barka et al., 2016 ; Lee et al., 2018**).

Les actinomycètes sont des bactéries filamenteuse à Gram-positif avec des niveaux élevés de guanine et de cytosine dans le ADN génomique. Ils sont largement distribués dans divers milieux terrestres et aquatiques (**Sharma et Salwan, 2018 ; Kim et al., 2020**) et constituent l'une des plus grandes communautés bactériennes (**Barka et al., 2016**).

Le nom actinomycètes vient de deux mots grecs (*aktis*) pour raie et *mykes* pour champignon. Cela est dû aux propriétés communes aux bactéries et aux champignons (**Azman et al., 2015**).

La plupart des actinomycètes sont immobiles (**Djaballah, 2010**) et strictement aérobies (**Massaoudi, 2013**). Ils peuvent être hétérotrophes ou chimioautotrophes, mais la plupart sont chimiohétérotrophes et peuvent utiliser une variété de sources de nourriture (**Barka et al., 2016**). Ils sont généralement mésophiles, cependant d'autres sont thermophiles et poussent dans des températures autour de 50 °C et peuvent atteindre jusqu'à 60 °C (**Massaoudi, 2013 ; Kitouni, 2007**).

### **II. 1. Caractéristiques microscopiques des Actinobactéries**

L'aspect microscopique de ce groupe de bactéries peut aller de formes coccoïdes à un mince mycélium filamenteux ramifié de 1 à 2 µm de diamètre. A la maturité, le mycélium peut produire des structures particulières comme les spores, les arthrospores, les conidies et les sporanges, qui sont extrêmement importantes dans la taxonomie de ce groupe de microorganismes. Les spores d'actinomycètes sont résistantes à plusieurs paramètres physicochimiques (**Messaoudi, 2013**).

### **II. 2. Habitat des Actinobactéries**

Les actinobactéries sont des microorganismes ubiquitaires rencontrés dans la plupart des niches écologiques. La grande majorité est d'origine tellurique et c'est à partir du sol que ces bactéries peuvent coloniser de nombreux biotopes : air, composts, eaux, fourrages, fumiers, grains de céréales, systèmes d'air climatisé, poussière de maison, foin et pailles, pollen des

## *Etude bibliographique*

---

plantes et bien d'autres substrats (Boudjelal, 2012 ).Le **tableau 01** présente quelques niches écologiques préférées par les genres d'actinobactéries .

### **II. 2.1. Environnement terrestre**

Dans de nombreux écosystèmes terrestres, les actinomycètes constituent la majorité des populations microbiennes identifiées. Dans de nombreux sols, les actinomycètes sont les pirates de l'air les plus puissants des communautés microbiennes (Bawazir et Shantaram, 2018). Il est à noter que les actinobactéries terrestres ont un potentiel antimicrobien très intéressants en raison de leur capacité à produire des antibiotiques. La littérature affirme aussi que les sols salins renferment de nombreux actinomycètes (Dhanasekaran et Jian, 2016).

### **II. 2.2. Eaux douces et marines**

Le milieu aquatique est très différent du milieu terrestre et par conséquent, les propriétés biologiques des actinomycètes aquatiques diffèrent de celles présentes dans les sols terrestres. (Bawazir et Shantaram, 2018). Les actinomycètes sont également abondants dans les lacs d'eau douce citant comme exemple les genres Actinoplanes, Micromonospora, Rhodococcus, Streptomyces et les thermoactinomycètes (Bhatti et al., 2017). D'autre part, les eaux de mer, les sédiments marins et les lacs salés sont considérées comme de bonnes sources pour l'isolement de nouveaux actinomycètes halophiles (Dhanasekaran et Jian, 2016).

### **II. 2.3. Air**

L'air n'est pas un habitat pour les actinomycètes, mais un moyen de transport. Les spores d'actinomycètes sont des polluants importants dans notre environnement. Les spores de certains actinomycètes se développent dans les matières décomposées et provoquent des maladies respiratoires lorsqu'elles sont inhalées. Les spores d'actinomycètes thermophiles sont produites en grand nombre et sont facilement aéroportées (Mazodier, 1974).

### **II. 2.4. Composts**

Les actinomycètes isolées du compost appartiennent généralement aux genres *Thermoactinomyces*, *Saccharomonospora*, *Microbispora*, *Micropolyspora* et *Pseudonocardia* (Ensign et al., 1993 ; Lacey, 1997 ; Song et al., 2001). Les actinomycètes sont actifs dans les dernières étapes du compostage. Ils sont spécialisés dans l'attaque des structures compliquées comme la cellulose, l'hémicellulose et la lignine (Zermane, 2007).

## Etude bibliographique

---

**Tableau 01.** Habitat de certains actinobactéries(Grigorova et Norris, 1990).

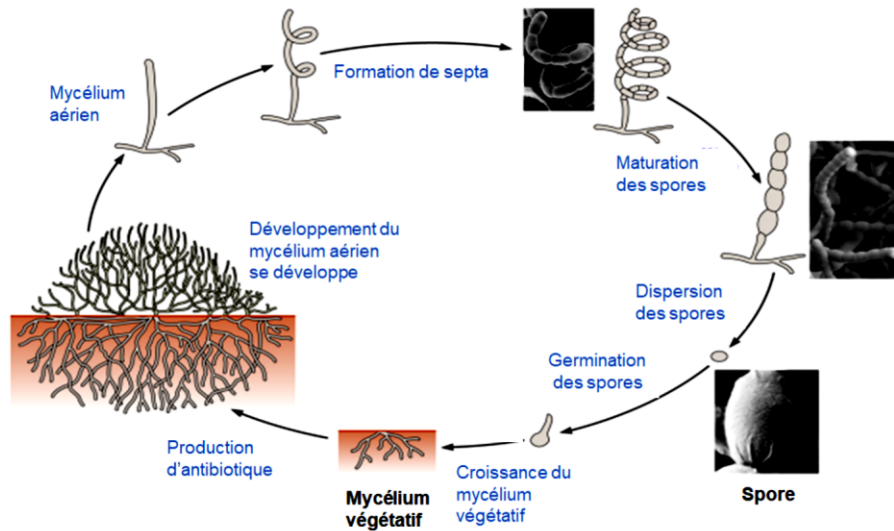
<b>Actinomycètes</b>	<b>Habitats</b>
<i>Actinoplanes</i>	L'eau douce, la litière végétale, le sol
<i>Frankia</i>	Les nodules racinaires des non-légumineuses
<i>Micromonospora</i>	L'eau douce, les sédiments, les sols humides
<i>Nocardiaamarae</i>	Les boues activées
<i>Rhodococcusprophilus</i>	Les déjections animales, l'eau, le sol
<i>Saccharopolysporarectivirgula</i>	Moisi du foin
<i>Streptomyces</i>	Le sol, la litière végétale, l'eau
<i>Thermoactinomyces</i>	Le compost

### II. 3.Cycle de vie des Actinobactéries

Les actinomycètes présentent un cycle de vie unique. La caractéristique la plus particulière du cycle de développement des actinomycètes est observée chez les actinomycètes qui se différencient en se développant sous forme d'hyphes ramifiés, puis en formant du mycélium végétatif (Hamedi et al., 2017).

Le cycle de vie de *Streptomyces* comprend trois stades de développement. Mycélium végétatif, mycélium aérien et spores (Jones et Elliot, 2018). Lorsque ces organismes sont cultivés sur des milieux solides préférés, les spores germent et se développent. L'appareil reproducteur se développe et forme un tapis de mycélium fermement attaché aux surfaces solides. C'est le mycélium de substrat ou végétatif (Figure 05).

Le mycélium végétatif est constitué d'hyphes minces (0,5–2 µm de diamètre), souvent sans parois latérales et largement ramifiés. Plus tard, lorsque les conditions trophiques commencent à devenir défavorables à la croissance végétative, des hyphes aériens spécialisés émergent le mycélium du substrat pour former un mycélium aérien contenant trois spores ou plus (Yamunarani et al., 2019).



**Figure 05.** Représentation schématique du cycle de vie des actinomycètes sporulantes (Barka *et al.*, 2016).

### II. 4. Caractéristiques physiologiques

Les principaux caractères physiologiques utilisés en taxonomie des actinobactéries sont : l'oxygène, le pH, la température, l'activité de l'eau ( $A_w$ ).

#### a) Oxygène

On peut classer les actinobactéries selon leurs types respiratoires en deux groupes :

- les formes fermentatives, anaérobies strictes ou facultatives, illustrées par le genre *Actinomyces*. Ces organismes sont des saprophytes des cavités naturelles de l'Homme et des animaux supérieurs et ils ne sont jamais retrouvés dans le sol (Aouar, 2012).
- les formes oxydatives, aérobies, tels que les *Streptomyces* où le sol est leur réservoir principal et à partir duquel elles sont disséminées, en particulier dans l'air (Aouar, 2012).

#### b) Température

Les actinobactéries sont des microorganismes mésophiles. La température optimale de croissance est entre 25 à 30 °C. Cependant, il existe des espèces thermophiles, principalement dans le genre *Thermoactinomyces* dont la température optimale est entre 50 et 60°C (Rangaswamiet *al.*, 2004).

### c) pH

La plupart des actinobactéries sont des bactéries neutrophiles leur croissance est comprise entre pH 5 et 9. Cependant, quelques *Streptomyces* sont acidophiles et croissent à des pH compris entre 3,5 et 6,5 ils ont donc une forte croissance dans les sols acides (Aouar, 2012).

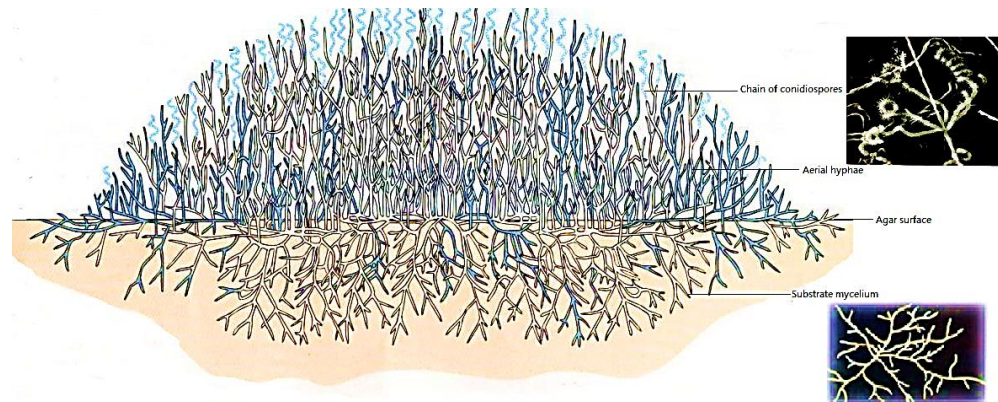
### d) Activité de l'eau (Aw)

La germination des spores de la plupart des actinobactéries est observée à des valeurs d'activité d'eau supérieures ou égales à 0,67, l'activité d'eau optimale pour la croissance et le développement des actinomycètes est égal à 0,98 (Messaoudi, 2012).

## II. 5. Classification des Actinobactéries

### II. 5.1. Classification morphologique

Les actinobactéries présentent la plus grande différenciation morphologique parmi les bactéries à Gram-positif. Cependant, la structure cellulaire des actinobactéries est typique des procaryotes et totalement différente de celle des champignons. Toute la structure d'une cellule hyphale correspond à l'organisation bactérienne : le cytoplasme contient des régions d'ADN génomique, des ribosomes et diverses inclusions, vraisemblablement des substances de réserve telles que des polyphosphates, des lipides ou des polysaccharides. Les actinobactéries classiques ont un mycélium radial bien développé. Selon la différence de morphologie et de fonction, le mycélium peut être divisé en mycélium de substrat et en mycélium aérien (Figure 06). Certaines actinobactéries peuvent former des structures complexes, telles que les spores, les chaînes de spores, les sporanges et les sporangiospores. Les modes de croissance et de fracture du mycélium de substrat, la position des spores, leur nombre, les structures de surface des spores, la forme des sporanges et le fait que les sporangiospores aient ou non des flagelles sont autant de caractéristiques morphologiques importantes de la classification des actinobactéries (Liet *al.*, 2016).



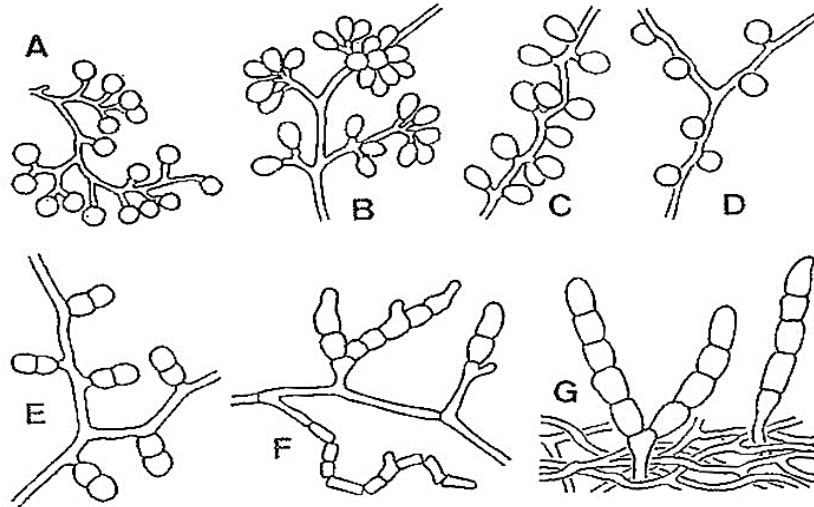
**Figure 06.** Coupe transversale d'une colonie d'actinomycètes montrant le mycélium du substrat et le mycélium aérien avec des chaînes de conidiospores (Li *et al.*, 2016).

### a) Morphologie mycélienne

Les actinobactéries forment un mycélium de substrat dans les cultures submergées et solides. Cependant, sur les surfaces solides, beaucoup se différencient pour former des hyphes aériens, dont le but principal est de produire des spores reproductrices. Le mycélium du substrat se développe à partir de l'excroissance d'une spore en germination. Le mycélium du substrat ramifié est souvent monopodial, mais dans de rares cas, les actinobactéries, telles que *Thermoactinomyces*, présentent une ramification dichotomique. D'autre part, les membres de la famille des *Micromonosporaceae* produisent un mycélium de substrat étendu avec un mycélium aérien absent ou rudimentaire (Barka *et al.*, 2016).

### b) Morphologie de la chaîne de spores

Les actinobactéries se développent jusqu'à un certain stade, il peuvent former des hyphes reproducteurs appelés mycélium porteur de spores. En effet, ce type de formation de spores se produit dans la plupart des genres d'actinobactéries. Selon l'observation, les chaînes de spores peuvent être divisées morphologiquement en respectant leur longueur et leur nombre de spores : di- ou bispores avec deux spores, oligospores avec quelques spores et polyspores avec beaucoup de spores. La longueur, la forme, la position et la couleur de la chaîne des spores d'actinomycètes constituent une base importante pour la classification (Figure 07) (Li *et al.*, 2016).



**Figure 07.** Types de spores produites par les actinobactéries

(A) *Micromonospora*, (B) *Thermomonospora*, (C) *Saccharomonospora*, (D) *Thermoactinomyces*.  
Disporeux : (E) *Microbispora*. Oligosporeux : (F) *Nocardia brevicatena*, (G) *Catellatospora* (Li et al., 2016).

### II. 5.2. Classification moléculaire

L'analyse moléculaire donne une précision supérieure en comparaison avec les techniques d'identification classiques. Ces techniques moléculaires comprennent l'analyse de séquences d'ADN codant pour l'ARN ribosomique 16S (ADNr 16S), l'hybridation ADN-ADN et le pourcentage de guanine-cytosine (GC%) pour déterminer la position taxonomique des actinomycètes (Bouaziz, 2018).

## II. 6. Potentiel biologique des Actinobactéries

### II. 6.1. Activité antibactérienne

L'incidence de la résistance des agents pathogènes microbiens continue de croître à un rythme alarmant dans le monde entier. Par conséquent, le développement de nouveaux médicaments efficaces et sans effets secondaires a toujours été un besoin urgent (tableau 02). Les actinomycètes présentent une activité antimicrobienne significative contre les bactéries à Gram positif par rapport aux bactéries à Gram négatif (Kokare et al., 2004 ; Berdy, 2005).

Les espèces du genre *Streptomyces* ont une activité antibactérienne significative contre *Staphylococcus aureus* et *Pseudomonas aeruginosa* et *Vibrio cholera* grâce à de nombreux composés antibactériens tels que l'abyssomicine C (Devi et al., 2006).

## *Etude bibliographique*

**Tableau 02.** Quelques exemples de substances antimicrobiennes produites par les actinomycètes.

<b>Substance bioactif</b>	<b>Actinobactérie</b>	<b>Applications</b>	<b>Références</b>
<b>Streptomycine</b>	<i>Streptomyces griseus</i>	<i>Xanthomonas Oryzae</i> <i>Xanthomonas citri</i> <i>Pseudomonas tabacisteven</i> <i>Pseudomonas lachrymans</i> Appliqué contre les maladies bactériennes des fruites et les légumes	(Carvalhis, Dennis.,2021),  (AOUAR, 2012)
<b>Glucopiercidine A</b>	<i>Streptomyces sp</i>	<i>Erwiniacarotovora</i>	
<b>Oxazolomycine</b>	<i>Streptomyces albus</i>	<i>Agrobacterium tumefaciens</i>	
<b>Rapamycin</b>	<i>Streptomyces rapamycinicum</i> <i>Streptomyces iranensis</i> <i>Actinoplanessp</i>	Appliqué contre plusieurs bactéries phytopathogènes	(Yoo et al., 2017)
<b>Dihydrostreptomycin</b>	<i>Streptomyces griseus</i>	Appliqué contre lesmaladies bactériennes des fruites et les légumes	(Carvalhis, Dennis.,2021)
<b>Oxytetreacyclin</b>	<i>Streptomyces rimosus</i>	Appliqué contre les maladies bactériennes des fruites et les légumes	(Carvalhis, Dennis.,2021)

### **II. 6.2. Activité antifongique**

Les métabolites secondaires issues d'actinomycètes sont très recommandés dans la lutte contre les champignons, ils sont considérés comme des agents de biocontrôle (Krziesniak et al., 2018). Le tableau 03 présente quelques exemples des substances antifongiques produites par les actinomycètes .

**Tableau 03:**Exemples d'agents antifongiques produits par les actinobactéries (Barka et al., 2016).

<b>Espèces</b>	<b>Agents antifongiques</b>
<i>Nocardiatransvalensis</i>	Transvalencine
<i>Streptomyces nodosus</i>	Amphotericine B

## *Etude bibliographique*

<i>Streptomyces venezuelae</i>	Chloramphenicole
<i>Streptomyces griseus</i>	Candicine

### II. 6.3. Activité insecticide

Les macrotétrolidés sont actifs contre les acariens, les insectes, les coccidiens et les helminthes, et ils présentent également des effets immunosuppresseurs. Ils sont produits par diverses espèces de *Streptomyces*. La tétranactine, un antibiotique cyclique produit par *Streptomyces* avec une structure moléculaire apparentée à la cyclosporine, est utilisée en émulsion contre les acariens carmin des fruits et du thé (Barka *et al.*, 2016).

**Tableau 04.** Quelques exemples des substances bioactives produites par les actinomycètes et utilisées comme agent de contrôle contre les insectes nuisibles des plantes.

Substance bioactive	Actinobactérie	Maladie/agent antagoniste	Références
<b>Spinosynes A et D</b>	<i>Saccharopolysporaspinoza</i>	Activité larvicide contre les moustiques	<b>(Gomes et al., 2018)</b>
<b>Spinosad</b>	<i>Saccharopolysporaspinoza</i>	Active contre les chenilles, les mineuses, les thrips et les insectes foliaires.	<b>(Copping et Menn, 2000)</b>
<b>Streptoverticillium</b>	<i>Streptomyces sp</i>	Active contre le troisième stade larvaire de la mouche domestique <i>Muscadomestica</i>	<b>(Kekuda et al., 2010)</b>
<b>Macrotétrolide de l'extrait acétonique</b>	<i>Streptomyces aureus</i>	Active contre <i>Callostfruchuschinensis</i>	<b>(Kekuda et al., 2010)</b>
/	<i>Streptomyces aureus</i>	Active contre <i>Tetranychuscinnabarinus</i> (Araignée rouge)	<b>(Suty, 2010)</b>

## *Etude bibliographique*

<b>(quinomycine A)</b>	<i>Streptomyces sp</i>	Active contre <i>Spodoptera exigua</i> <i>Dendrolimus punctatus</i> <i>Plutella xylostella</i> <i>Aphis glycines</i> et <i>Culex pipiens</i>	<b>(Kekuda et al., 2010)</b>
<b>Avermectine B1</b>	<i>Streptomyces sp</i>	Active contre <i>Helicoverpa armigera</i>	<b>(Kekuda et al., 2010)</b>
<b>Polyactins</b>	<i>Streptomyces aureus</i>	Active contre les acriens des arbres fruitiers et des théiers	<b>Carvalhis et Dennis.,2021)</b>
<b>Milbemectins</b>	<i>Streptomyces hygroscopicus</i>	Active contre les acriens des arbres fruitiers et des théiers	<b>Carvalhis et Dennis., 2021)</b>

### **II. 6.4. Activité anticancéreuse**

Les actinobactéries sont de riches sources de composés antitumoraux, par exemple l'actinomycine, l'anthracycline, l'auréolique, la mitomycine, la bléomycine, la pentostatine, la résistomycine . Ces facteurs sont efficaces dans la prévention et le traitement du cancer avec apoptose, perméabilité mitochondriale, inhibition de la transduction du signal, changements morphologiques dus à une différenciation cellulaire irrégulière, angiogenèse, codage de l'ADN et inhibition de l'activité de l'ARN polymérase (Mojganet *al.*, 2022) .

### **II. 6.5. Activité anti-inflammatoire**

L'inflammation est une réponse immunitaire à une infection, une irritation ou une lésion tissulaire. Divers facteurs tels que les traumatismes contondants, les corps étrangers, les vibrations et la pression chronique sont impliqués dans l'inflammation . De nombreux produits naturels tels que le resvératrol, la quercétine, la curcumine, etc. ont été utilisés pour relancer le

processus inflammatoire dans diverses maladies . Il a été prouvé que les métabolites bioactifs secondaires de *Streptomyces sp.* ont une activité anti-inflammatoire. Par conséquent, ces composés peuvent être utilisés comme méthode de traitement moderne dans le traitement des maladies inflammatoires .(**Mojganet al., 2022**).

### **II. 6.6. Activité antioxydant**

les antioxydants empêchent la détérioration, les dommages ou la destruction par le processus d'oxydation. Ces composés bioactifs protègent l'organisme contre le stress oxydatif en bloquant ou en retardant les dommages oxydatifs causés par les espèces réactives de l'oxygène (ROS) . Divers mécanismes tels que l'inhibition de la formation de radicaux libres, l'élimination des molécules d'oxygène et la chélation des prooxydants métalliques ont été envisagés pour eux .(**Mojganet al., 2022**).

*Streptomyces sp.*, a montré un potentiel antioxydant basé sur l'activité de piégeage des radicaux libres à l'aide de dosages de DPPH et d'oxyde nitrique (**Radhakrishnan et al., 2016**).

*Deuxième partie :*  
*Etude Expérimentale.*

# *Etude expérimentale*

---

## **Partie expérimentale**

Ce travail est réalisé au sein du laboratoire pédagogique de microbiologie, Département de Biologie, Faculté des Sciences. Université Ammar Telidji – Laghouat, la caractérisation physicochimique des nanoparticules biogéniques est réalisée dans le centre de recherche scientifique et technique en analyses physico chimiques (CRAPC) de Laghouat.

### **I. Matériel et méthodes**

#### **I. 1. Matériel biologique**

##### **I. 1.1. Souches microbiennes**

La souche bactérienne utilisé pour la synthèse verte des nanoparticules provient de la collection microbienne de Dr Gacem Mohamed Amine, enseignant à l'Université de Laghouat, cette souche appartient au genre *Streptomyces*.

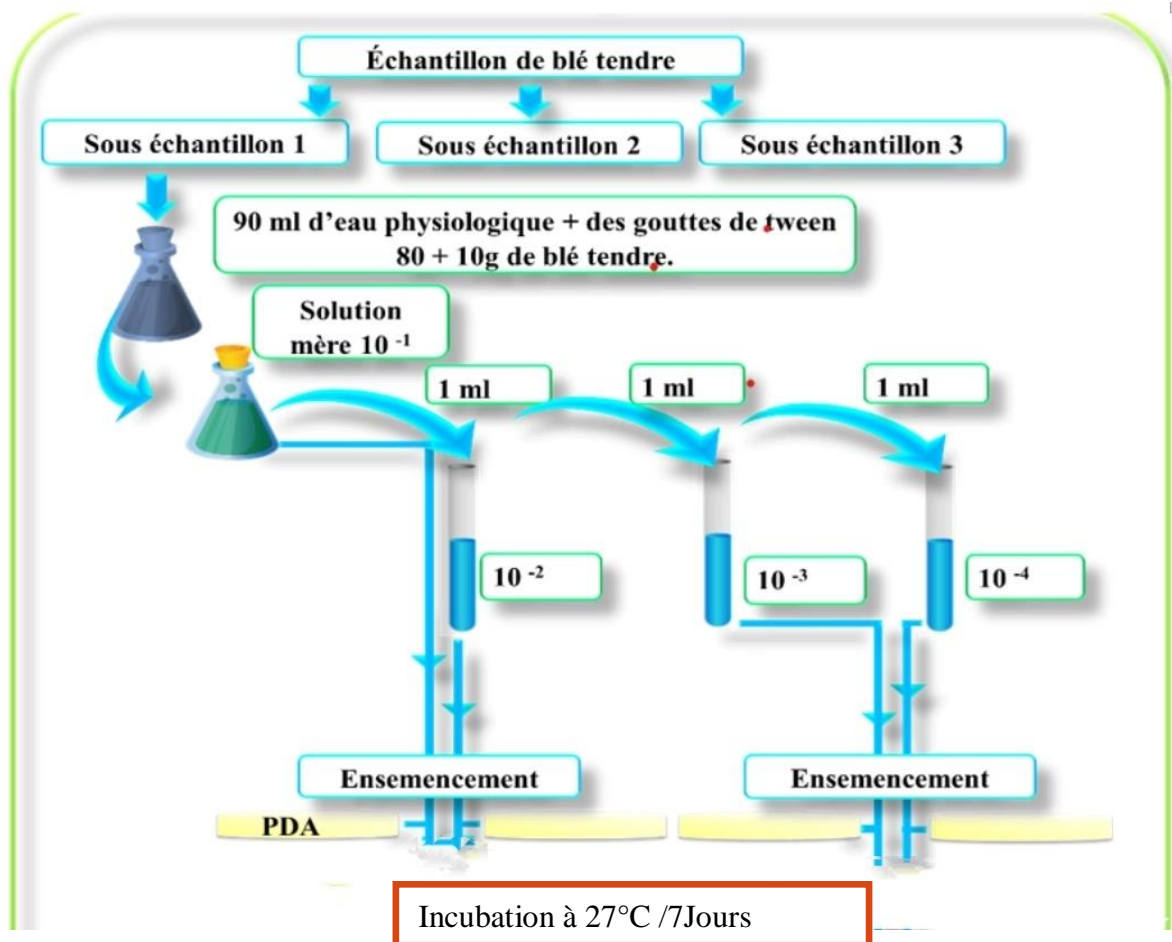
Les souches fongiques pathogènes utilisée pour évaluer l'activité biologique des nanoparticules générés sont isolées à partie des graines de blé.

##### **I. 2. Isolement et purification des moisissures**

L'isolement des moisissures est réalisé sur le milieu PDA à partir des graines de blé (méthode d'isolement indirecte). Le milieu PDA est jugé comme milieu de choix pour l'isolement des moisissures.

Les boîtes de pétri sont incubées à 27°C, pendant 5 à 7 jours (**Figure 08**).

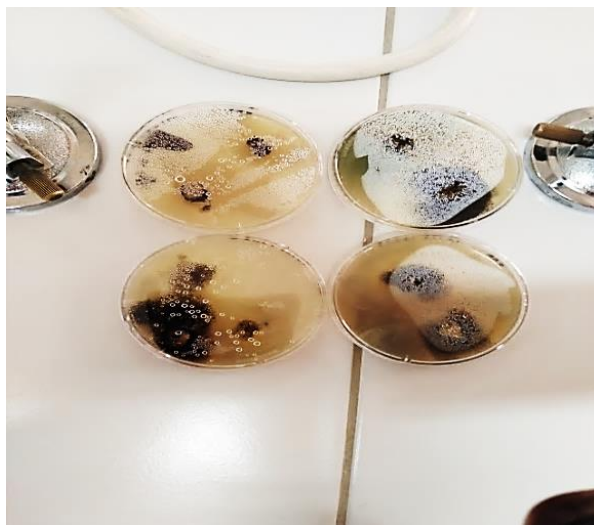
## Etude expérimentale



**Figure 08.** Isolement des moisissures à partir des graines de blé par la méthode indirecte (Lansborough, 2004).

La purification des moisissures recherchées est réalisée sur milieu PDA acidifié (2% d'acide lactique). Les colonies isolées sont repiquées successivement afin d'obtenir une croissance radiale pure.

Le repiquage est effectué par prélèvement de colonie à l'aide d'un ensemencement stérile tout en évitant son contact avec les autres colonies de la même boîte (**Photo 01**). Le fragment isolé est déposé au centre d'une nouvelle boîte de Pétri contenant le milieu PDA acidifié. L'incubation est réalisée à 27°C pendant 7 jours.

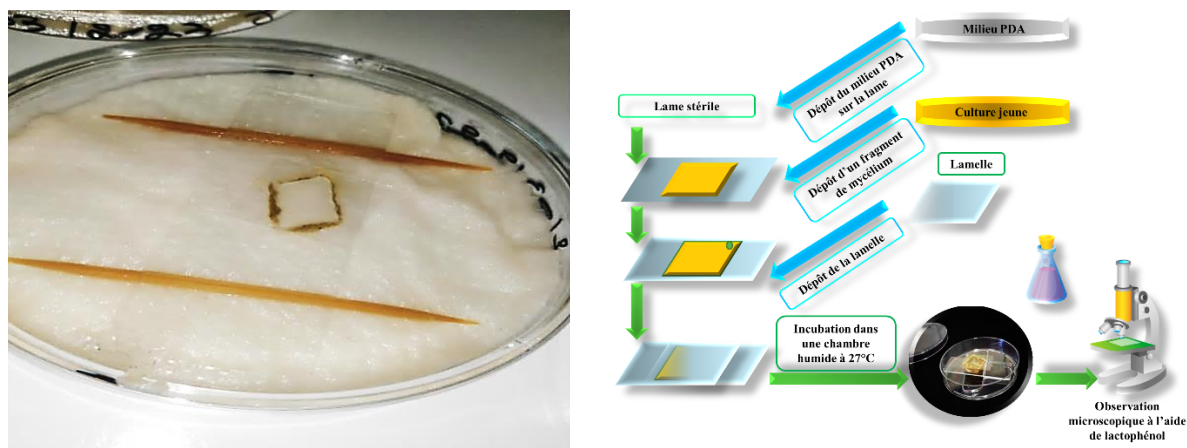


**Photo 01.** Culture fongiques mixte obtenue à partir des graines de blé sur milieu PDA.

### **I. 3. Identification des genres fongiques par la technique de micro-culture**

Décrite par **Haris (1989)**, la technique de micro-culture consiste à inoculer les spores des moisissures sur une lame menée de petits carrés, de milieu PDA acidifié et les recouvrir par une lamelle. Les spores sontensemencées sur les limites périphériques du milieu pour leur fournir un potentiel d'oxygène élevé afin qu'elles puissent germer. L'ensemble est conditionné dans une chambre stérile et humide puis incubé à  $27\text{ °C} \pm 25\text{ °C}$  pendant 07 jours.

Après incubation, les lamelles auxquelles s'adhèrent le mycélium sont transférées sur d'autres lames stériles contenant une goutte de bleu de lactophénol. Les observations microscopiques sont effectuées aux grossissements  $\times 10$ ,  $\times 40$  et  $\times 100$  (**Figure 09**). Les genres sont déterminés par les caractères culturaux et microscopiques en se référant au manuel de **Barnett et Hunter (1972)**.



**Figure 09.**Micro-culture des moisissures pour l'identification microscopique (Haris, 1989) .

## I. 4. Biosynthèse verte des nanoparticules d'argent (AgNPs)

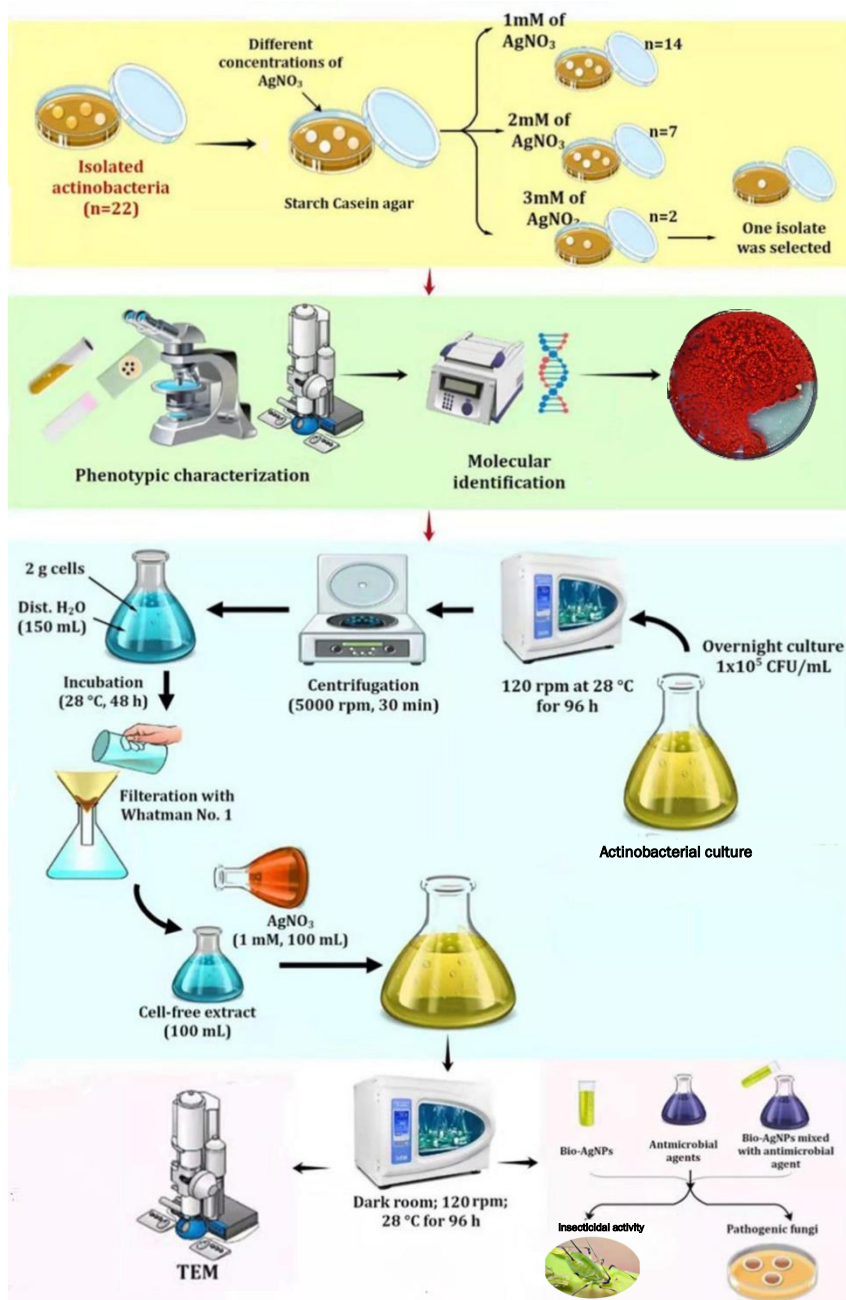
La souche d'actinomycète utilisée dans cette étude provient de la collection microbienne de Mr Gacem Mohamed Amine (enseignant à l'université de Laghouat). La souche est génétiquement identifiée, elle appartient au genre *Streptomyces*. La **figure 10** illustre les différentes étapes expérimentales suivies durant la synthèse des AgNPs.

Afin de détecter la résistance et/ou la tolérance de la souche *Streptomyces sp.* vis-à-vis le nitrate d'argent, la souche est cultivée sur milieu gélosé à l'amidon et à la caséine (SCA) contenant différentes concentrations d'AgNO<sub>3</sub>. L'incubation est réalisée à 28°C pendant 14 jours.

Comme le montre la **figure 10**, les bio-AgNPs sont synthétisés en utilisant AgNO<sub>3</sub> (Sigma Aldrich) comme précurseur et les métabolites secondaires de l'actinobactérie comme agents réducteurs. Un aliquote (20 µl) de la culture nocturne de *Streptomyces Sp.* ( $1 \times 10^5$  UFC/ml) est inoculée dans 100 ml de milieu 5294 (bouillon) puis incubé sur un agitateur orbital à 28 °C pendant 7 jours à 120 tr/min. La biomasse d'Actinobacterium est collectée après incubation par centrifugation à 5000 rpm pendant 30 min. Les composants du milieu associés sont éliminés par lavage (deux fois avec de l'eau distillée). Après cela, la biomasse est remise en suspension dans 150 ml d'eau distillée et incubée à 28°C pendant 48 h. Après avoir lysé osmotiquement les bactéries, elles ont été filtrées à travers un papier filtre Whatman n ° 1. Le filtrat obtenu est utilisé comme agent réducteur dans la préparation des bio-AgNPs. Le pH et la température sont ajustés à

# Etude expérimentale

8.5, 28°C, respectivement. La concentration d'AgNO<sub>3</sub> est ajusté à 1 et 2 Molaire (Tableau 6) (Veerasamy et al., 2011).



**Figure 10.** Schéma représentatif des étapes suivie durant la biosynthèse des nanoparticules d'argent.(Veerasamy et al., 2011).

# Etude expérimentale

**Tableau 05.** Concentration des solutions d'AgNO<sub>3</sub> préparées .(Veerasamy et al., 2011).

N° solution	AgNO <sub>3</sub> + H <sub>2</sub> O	Concentration d'AgNO <sub>3</sub>	pH	Volume de l'extrait brute d'actinobactéries ajouté
Solution 4	0.034g+100ml	2 M	8.28	100ml
Solution 6	0.034g+200ml	1 M	8.33	100ml

## I. 5. Microscopie électronique à balayage (MEB)

La taille et la morphologie des AgNPs biosynthétisés est examinées par microscopie électronique à balayage à émission de champ (marque de l'appareil), fonctionnant à 5 kV. En bref, un film mince d'AgNPs a été préparé en étalant 1 mg de chaque échantillon sur une bande de carbone, puis en l'enduisant de carbone. Les images de surface ont été capturées à différents grossissements. Le logiciel ImageJ est utilisé pour estimer la distribution et la taille des AgNPs.

## I. 6. Evaluation du pouvoir antifongique et insecticides des AgNPs

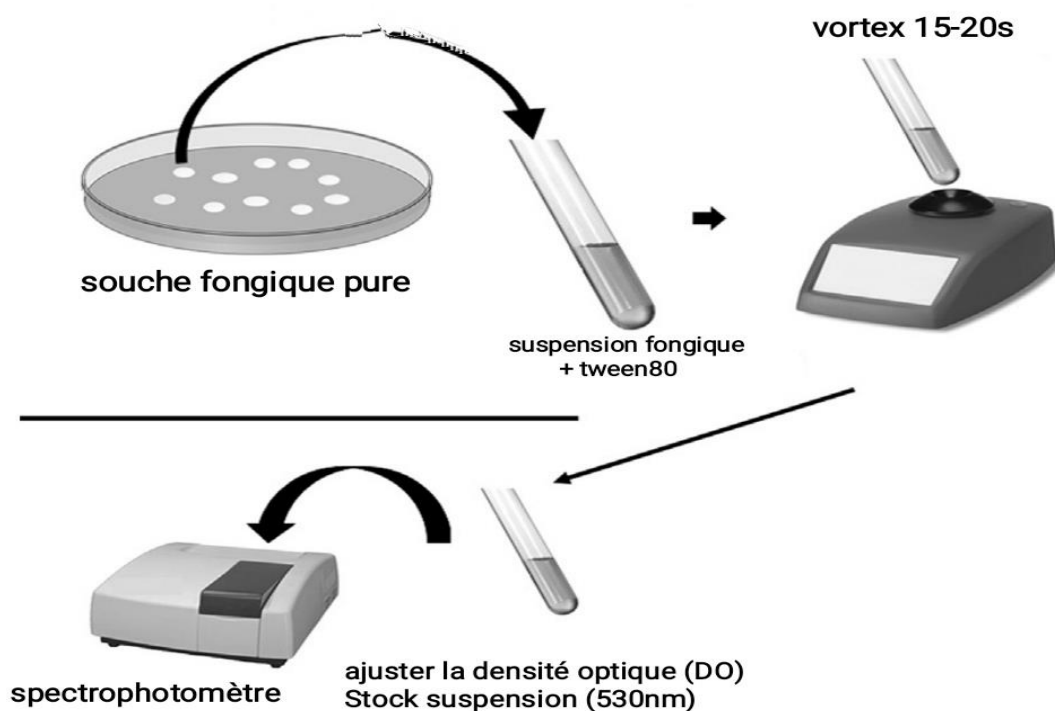
### I. 6.1 Evaluation de l'activité antifongique

#### I. 6.1.1. Préparation de la suspension fongique

Pour chaque moisissure, l'inoculum doit être préparé à partir d'une culture jeune de 7 jours préparée sur milieu PDA. La récupération des spores est effectuée par un écouvillon stérile imbibé dans le Tween 80, les spores sont par la suite transférées dans 9 ml d'eau physiologique stérile. A l'aide d'un vortex, la suspension des spores préparée est mélangé vigoureusement pendant 15-20 secondes afin d'empêcher l'agglutination des spores La solution est ajustée à 10<sup>6</sup> spores/ml à l'aide d'un spectrophotomètre réglé à 530 nm (**Figure 11**).

# Etude expérimentale

---



**Figure 11.** Préparation des suspensions fongiques par méthode micro-dilution en milieu liquide .

La densité optique à laquelle l'inoculum est ajusté varie en fonction de l'espèce fongique et la taille des spores (**Tableau 06**).

**Tableau06.** Densité optique des espèces fongiques utilisées durant l'évaluation de l'activité antifongique.

Espèce fongique	Densité optique (DO)
<i>Aspergillus flavus</i>	0.09-0.11
<i>Aspergillus ochraceus</i>	0.09-0.11
<i>Penicillium expansum</i>	0.09-0.11
<i>Fusarium avenaceum</i>	0.15-0.17

## **I. 6.1.2. Evaluation de l'activité des AgNPs sur les graines de blé contaminées**

Pour l'évaluation de l'activité antifongique par la méthode directe (sur les graines de blé stérile), quatre lots de blé ont été préparés. Chaque lot contient 60 graines de blé divisées sur 06 boîtes de pétrie.

Les graines de chaque lot ont étéensemencées par la suspension fongique préalablement préparée puis laissées sécher pendant 30 min près du bec bunsen afin qu'elles soient complètement enrobées par les spores fongiques.

Une fois les graines sont prêtes, ces dernières sont traitées comme suit :

- Le premier traitement les grainesensemencées par la suspension fongique est incubé à 28°C pendant 7 jours après avoir réparti les 60 graines dans 12 boîtes de pétrie contenant le milieu PDA(05 graines par boîte de pétrie) .Ces boîtes de pétrie est considéré comme témoin négatif.
- Le deuxième traitement les grainesensemencées par la suspension fongique est traité par les solutions d'AgNPs, a raison de 20µl pour chaque graine. Les graines enrobées par les AgNPs sont incubé à 28°C pendant 7 jours après leur répartition dans boîtes de pétrie contenant le milieu PDA a raison de 05 graines par boîte de pétrie.
- Les grainesensemencées du troisième traitement sont d'abord incubées pendant 24 heures afin dans des boîtes de pétries vide. Une fois l'incubation est achevée, les grainesont par la suite traitées par les solutions d'AgNPs, a raison de 20µl pour chaque graine. Les graines enrobées par les AgNPs sont incubé à 28°C pendant 7 jours après leur répartition dans boîtes de pétrie contenant le milieu PDA a raison de 05 graines par boîte de pétrie. La **figure 12** montre les étapes du traitement.

# Etude expérimentale

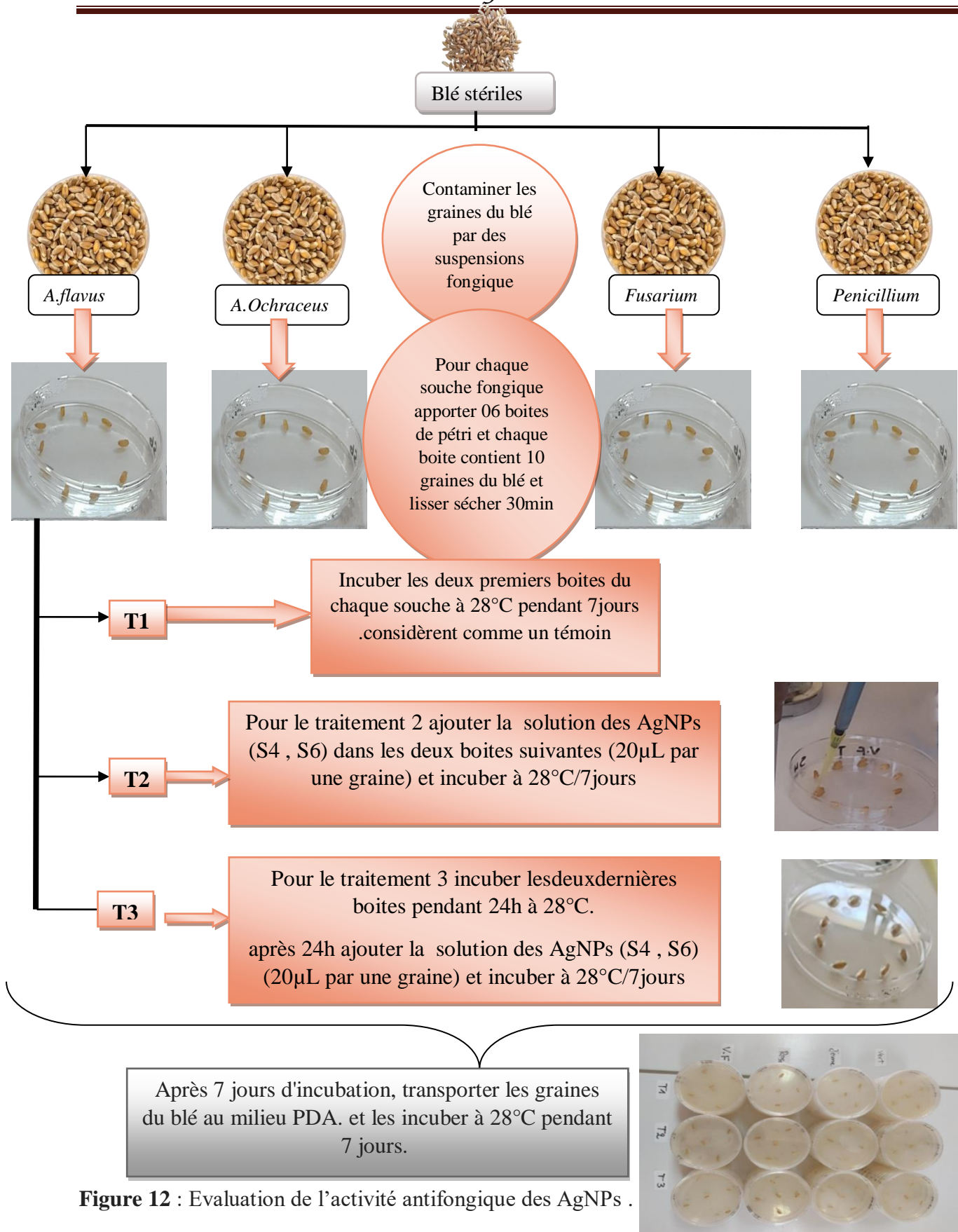


Figure 12 : Evaluation de l'activité antifongique des AgNPs .

# Etude expérimentale

---

## I. 6.2. Evaluation de l'activité insecticides

L'activité insecticide des AgNPs par la technique de trempage des plantes établie par **Bhattacharyya et al. 2016**. Une colonie d'insectes de pucerons (**photo 02**) a été cultivée sur des feuilles d'abricotier .

Les expériences sont réalisées en présence et en absences des feuilles d'abricotier provenant des cultures d'abricotier envahies de pucerons.



**Photo 02.** Feuilles d'abricotier envahies de pucerons (**Photos originales 2023**)

Tout d'abord, les feuilles sont lavées 3 fois par l'eau distillé puis laissées séchées à la température ambiante. Quatre feuilles d'abricotier ont été trempées dans différentes concentrations de solutions des AgNPs (50 et 100  $\mu$ ldes deux solutions, chaque une dans 3mL de l'eau distillé) ,placées dans des boîtes de Pétri (90 x 14 mm) tapissées de papiers filters humidifiés et laissées sécher à température ambiante, puis délicatement les insectes sont placées sur les feuilles (à raison de 10 pucerons par boîte).

D'autre part, une feuille d'abricot a été placée dans une autre boîte de petri avec les 10 insectes sans l'ajout des solutions des AgNPs .

Le témoin négatifest préparé par dépôt de 10 pucerons dans une boîte de Pétrie contenant seulement le papier humidifié.

## Etude expérimentale

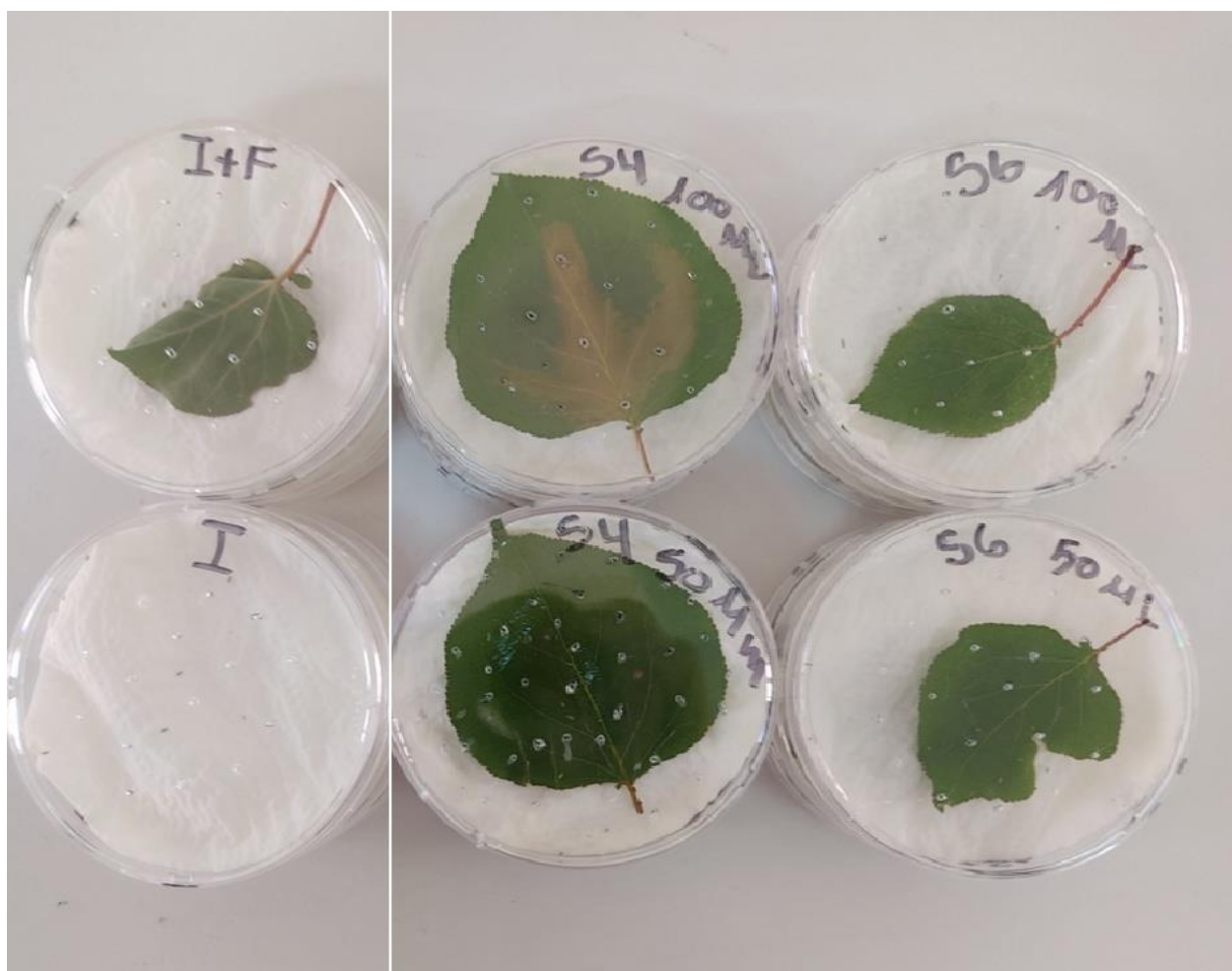
Trois répétitions ont été effectuées pour chaque cas (photo03).

Afin de calculer les mortalités et les mortalités corrigées, le nombre de pucerons morts doit être enregistré chaque 3 heures jusqu'à l'extinction totale des insectes. La mort des pucerons est confirmée par leur immobilité après avoir touché leurs pieds et leur antenne avec un pinceau.

- La mortalité et la mortalité corrigée sont calculées comme suit :

**La mortalité (%) = (Nombre d'insectes mortes / Nombre d'insectes testées) x 100**

**La mortalité corrigée = (Mortalité liée au traitement - Mortalité du control) / (100 -Mortalité du control) x 100**



**Photo 03.** Evaluation de l'activité insecticide des AgNPs.(photo originale 2023).

*Résultats et  
discussions.*

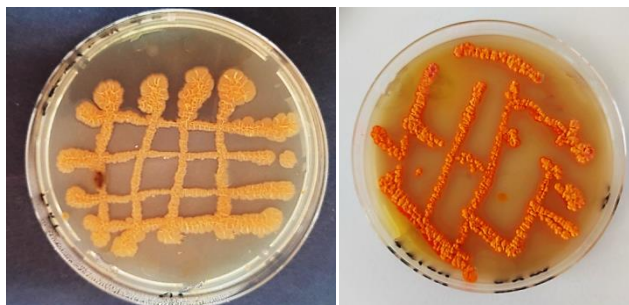
# Résultats et discussions

---

## II. Résultats et discussion

### II. 1. Résultats du repiquage de la souche *Streptomyces Sp*

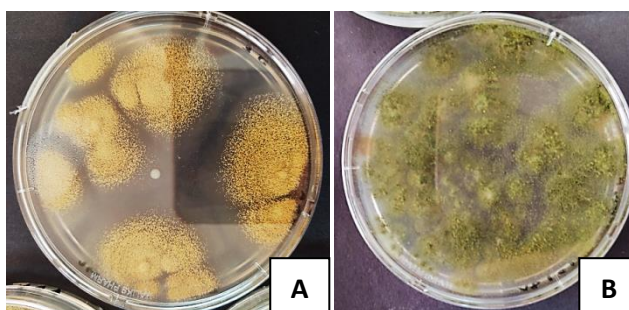
L'aspect macroscopique de la souche *Streptomyces Sp* utilisée dans cette étude est présenté dans les photos ci-dessous :



**Photo 04.** Aspect de la souche *Streptomyces Sp* sur milieu de culture Bennett et CSA (photos originales 2023) .

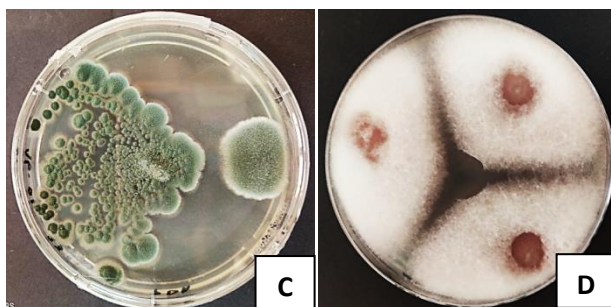
### II. 2. Résultats de la purification des souches fongiques

La purification des souches fongiques est montrée dans la **photo 05**.



*Aspergillus ochraceus*

*Aspergillus flavus*



*Penicillium expansum* *Fusarium avenaceum*

**Photo 05.** Aspects macroscopiques des souches fongiques pures isolées (photos originales 2023).

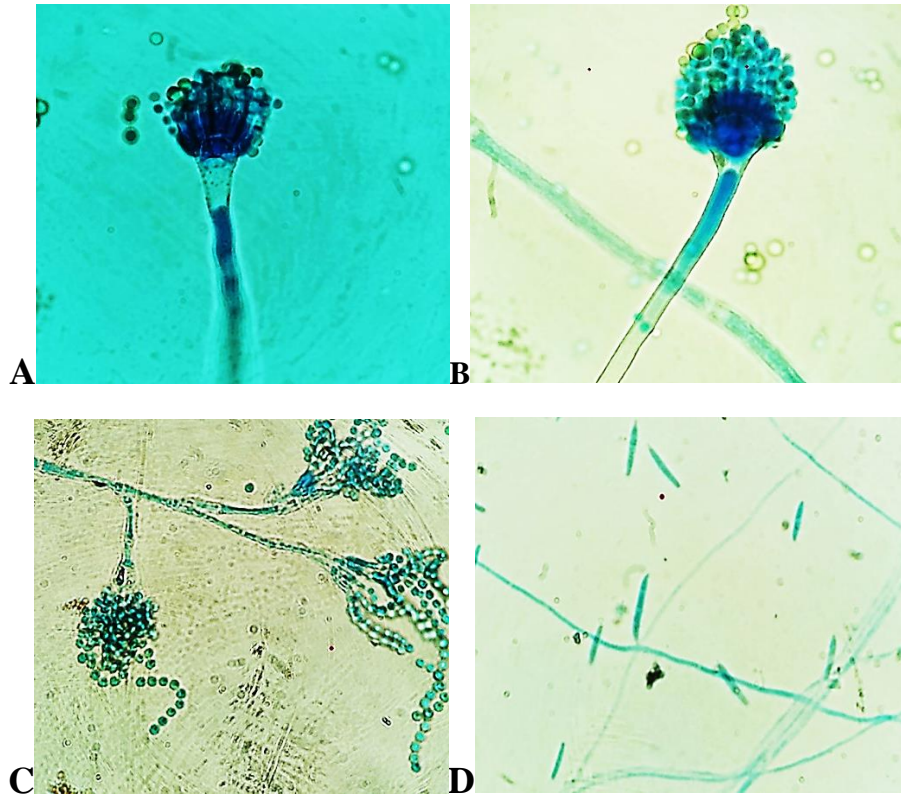
### **II. 3. Résultats obtenus par la méthode de micro-culture**

L'observation microscopique de la souche fongique **A** permet de distinguer les têtes conidiennes bisériées, d'abord globuleuses puis se séparent en 2 ou 3 colonnes divergentes, bien individualisées, de couleur jaune, ocre-jaune ou chamois. Les conidiophores sont rugueux, jaunes à brun pâle et longs. Les vésicules sont globuleuses, et hyalines. Les phialides sont portées par des métules, de dimensions variables. Les conidies sont sub-globuleuses à globuleuses. Elles sont finement échinulées ou lisses. Les sclérotés, souvent présents, de couleur lavande à pourpre, sont globuleux, ovales ou cylindriques. Nous pouvons déduire qu'il s'agit d'*Aspergillus ochraceus* (**Photo 06**).

L'observation microscopique de la souche fongique **B** mettant en évidence les têtes conidiennes, unisériées ou bisériées, d'abord radiées, puis réparties en plusieurs colonnes de spores individualisées, jaunâtres au début, puis vert-jaune foncé. Les conidiophores sont verruqueux. Les vésicules sont sub-globuleuses. Les phialides sont insérées directement sur la vésicule ou portées par des métules. Les conidies sont globuleuses à sub-globuleuses, de couleur vert pâle, verruqueuses. Les sclérotés, fréquents dans les isolats récents, sont globuleux à sub-globuleux, d'abord blanc puis virant au brunrouge foncé et au noir. Nous confirmons qu'il s'agit d'*Aspergillus flavus* (**photo 06**).

## Résultats et discussions

---



**Photo 06.**Aspect microscopique des souches fongiques par microculture(**Photos originales 2023**).

A : *Aspergillus ochraceus* ; B : *Aspergillus flavus*; C : *Penicillium expansum* ; D : *Fusarium avenaceum*.

L'observation microscopique de la souche fongique **C** permet de distinguer des organisations en pinceau. Le thalle, formé de filaments mycéliens septés et hyalins, porte des conidiophores lisses ou granuleux, simples ou ramifiés qui se terminent par un pénicille. Les conidiophores peuvent être isolés, groupés en faisceaux lâches ou agrégés en corémies bien individualisés. Nous pouvons déduire qu'il s'agit de *Penicillium expansum*(**Photo 06**).

Sur la base de l'observation microscopique de la souche fongique **D** mettant en évidence les microconidies en fusiformes, et courbées. La cellule terminale est longue et pointue. Les chlamydospores, intercalaires, formées par le mycélium rarement dans les conidies, sont globuleuses, hyalines à brun pâle. Nous pouvons déduire qu'il s'agit de *Fusarium avenaceum*. (**photo 06**).

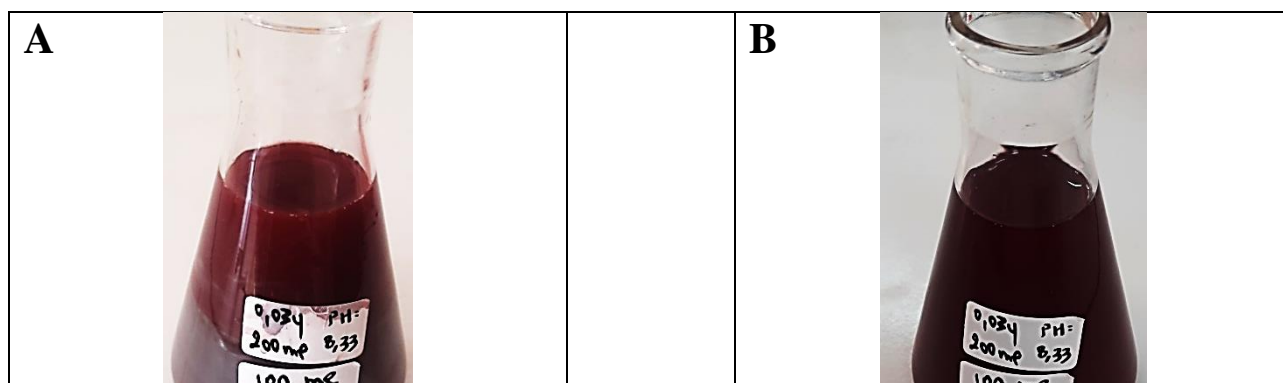
## Résultats et discussions

---

### II. 4. Résultats de la biosynthèse verte des nanoparticules d'argent (AgNPs)

#### II. 4.1. Mise en évidence du virage de couleur des solutions

Au cours de la biosynthèse des AgNPs, un virage de couleur est obtenu après incubations de la réaction à température ambiante 28°C pendant 5 jours. Le virage de couleur est un indice de production des AgNPs. En effet, un virage de couleur au marron foncé était observé dans les solutions de nitrate d'argent comme le montre la **photo 07**.

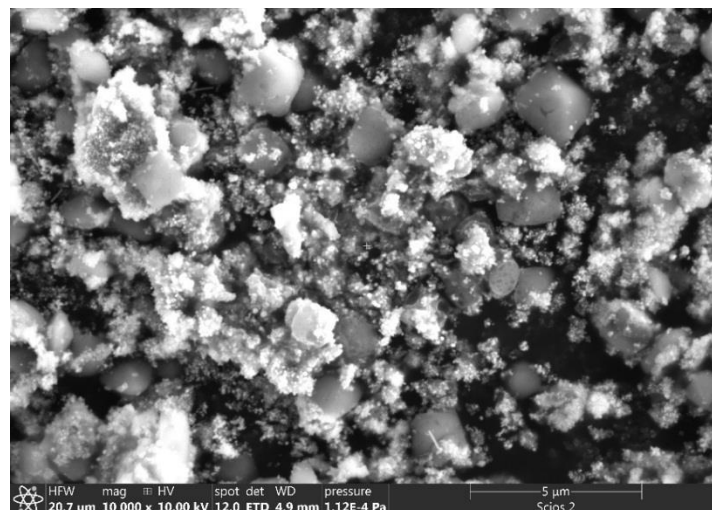


**Photo07.** Solutions réactionnelles de la synthèse des AgNPs (**Photos originales 2023**).

A: avant incubation. B : après incubation.

#### II. 5. Résultats de microscope électronique à balayage (MEB)

La synthèse verte des nanoparticules d'argent a été confirmée par des images MEB représentatives de nanoparticules d'argent générées en utilisant du AgNO<sub>3</sub>. La concentration utilisée durant la biosynthèse a favorisé l'apparition d'une population largement homogène de nanoparticules de petite taille. Diverses particules de forme triangulaire, hexagonale et ovoïde dans la plage de taille de 10 à 40 nm sont remarquées (**figure 13**) .



**Figure 13.** Images par MEB d'AgNPs biosynthétisés.

### II. 6. Résultats de l'activité antifongique des nanoparticules d'argents

Selon les résultats présentés dans les **tableaux 08 et 09** les solutions de nanoparticules d'argent ont montré une forte activité antifongique contre la majorité des moisissures sélectionnées.

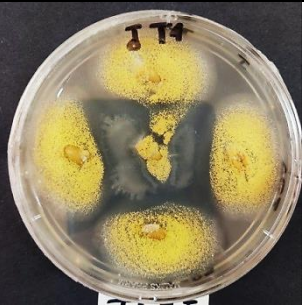



Dans le milieu de culture PDA utilisé, la pureté des souches a été obtenue lors du premier traitement (**Tableau 07**).

Lors du deuxième traitement, la solution 4 a inhibé les souches *Aspergillus Ochraceus*, *Penicillium expansum* et *Fusarium avenaceum*, aucune inhibition n'a été enregistrée au niveau de *Aspergillus Flavus*. Alors que la solution 6, les souches d'*Aspergillus Flavus* et *Penicillium expansum* ont été inhibées. Aucune inhibition d'*Aspergillus Ochraceus* et *Fusarium avenaceum* n'a été enregistrée.

Dans le troisième traitement, la solution 4 l'inhibition a été enregistrée dans toutes les souches fongiques. Dans la solution 6, aussi l'inhibition a été enregistrée dans tous les types de souches fongiques.







## Résultats et discussions

Tableau 07. Résultats du traitement positif des grains de blé.



Souche fongique	Photo originale
<i>Aspergillus Ochraceus</i>	
<i>Aspergillus Flavus</i>	
<i>Penicillium expansum</i>	
<i>Fusarium avenaceum</i>	

## Résultats et discussions




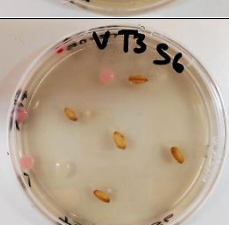
**Tableau 08.** Résultats du traitement graines du blé par les AgNPs.

Souche fongique	Solution d'AgNPs ajoutée	Photo originale	Activité antifongique
<i>Aspergillus Ochraceus</i>	S4		Présence d'activité antifongique
	S6		Absence d'activité antifongique
<i>Aspergillus Flavus</i>	S4		absence d'activité antifongique
	S6		Présence d'activité antifongique
<i>Penicillium expansum</i>	S4		Présence d'activité antifongique
	S6		Présence d'activité antifongique





## Résultats et discussions

<i>Fusarium avenaceum</i>	S4		Présence d'activité antifongique
	S6		Absence d'activité antifongique

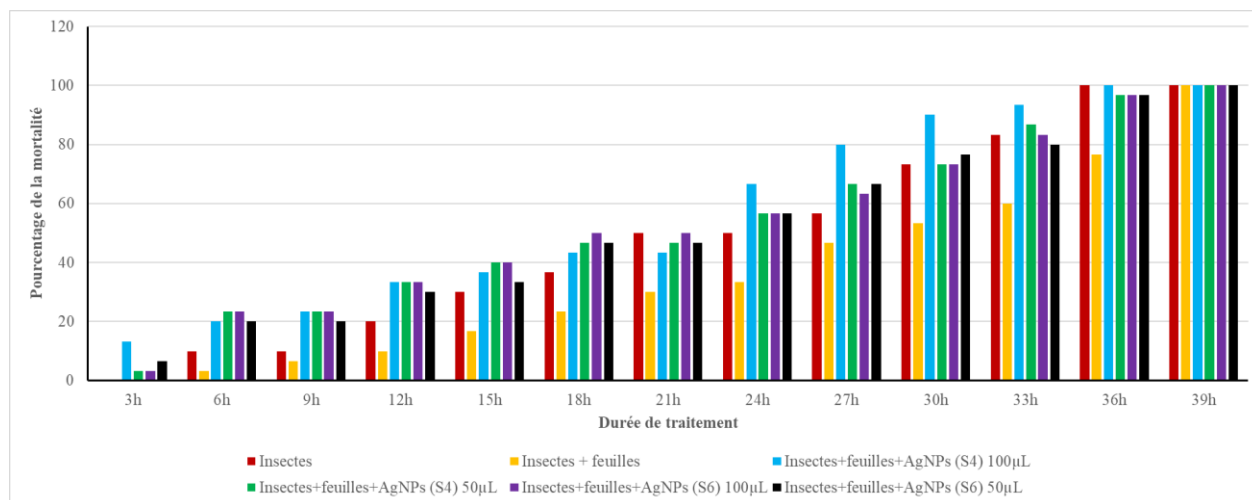
**Tableau 09.** Résultats du traitement des graines de blé par les AgNPs après une incubation de 24h dans la solution de spores fongique

Souche fongique	Solution d'AgNPs ajoutée	Photo originale	Activité antifongique
<i>Aspergillus Ochraceus</i>	S4		Présence d'activité antifongique
	S6		Présence d'activité antifongique
<i>Aspergillus Flavus</i>	S4		Présence d'activité antifongique
	S6		Présence d'activité antifongique

## Résultats et discussions

<i>Penicillium expansum</i>	S4		Présence d'activité antifongique
	S6		Présence d'activité antifongique
<i>Fusarium avenaceum</i>	S4		Présence d'activité antifongique
	S6		Présence d'activité antifongique

### II.7. Résultats de l'activité insecticides des nanoparticules d'argents



**Figure 14.** Résultats de l'activité insecticides des solutions d'AgNPs.

Les solutions des nanoparticules d'argent AgNP ont un excellent potentiel contre les pucerons verts *Myzus persicae*. Dans notre étude dont les résultats sont présentés dans la **figure 14**, nous avons constaté que l'exposition à des nanoparticules d'argent à haute concentration (100 µL) entraînait une augmentation significative du nombre de décès et un temps plus rapide par rapport à la concentration (50 µL).

La même figure indique que l'activité insecticide est proportionnelle à la concentration des nanoparticules d'argent utilisées lors des tests in vivo. A 100 µL, le nombre de décès est enregistré après 3 heures de traitement, en d'autre part, il n'est pas enregistré à une concentration de 50 µL pendant la même durée de traitement. De plus, un taux de mortalité de 100 % a été enregistré après 36 heures de traitement. Dans certains cas, l'exposition des insectes à des nanoparticules très concentrées peut augmenter la mortalité. Les pucerons migrent vers le couvercle de la boîte de Pétri et s'éloignent progressivement des feuilles contenant les AgNPs. Durant les dernières heures avant l'extinction complète des pucerons, ce dernier ralentit son mouvement avant d'être complètement gelé, et on enregistre également un changement de sa couleur du vert au noir, notamment la transformation de sa forme normale en une forme sphérique.

## Résultats et discussions

---

### Discussion

Les actinobactéries sont une source précieuse de molécules bioactives et ces dernières années, elles ont été explorées dans le domaine des nanotechnologies. Plusieurs études ont été menées pour synthétiser des nanoparticules d'argent à partir de souches d'actinobactéries ; ont été utilisées dans différents domaines et leurs résultats sont prometteurs.

D'après nos résultats, les nanoparticules d'argent peuvent inhiber la croissance des champignons .Les AgNPs ont montré une activité antifongique très élevée contre tous les champignons testés (*Aspergillus flavus* , *A.ochraceus* , *Penicillium* et *Fusarium* ). dans une autre étude similaire à la notre, il a été démontré que les AgNPs ont montré une activité antifongique plus élevée par rapport à l'amphotéricine B, un médicament antifongique conventionnel, contre tous les champignons humains testés .Des agents pathogènes tels que *Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger*, *Candida albicans*, *Penicillium sp* , et des phytopathogènes tels que *Fusarium oxysporum*, *Rhizoctonia solani* et *Curvularia sp*. (**Kondaiah et al., 2022** ).

L'activité antifongique contre *A. niger*, *A. fumigatus* et *A. flavus* a été déterminée par des nanoparticules d'argent préparées par *Streptomyces sp*. Les auteurs ont conclu que les nanoparticules d'argent présentaient une activité antifongique significative contre tous les champignons mentionnés ( **Zdenka , 2022**).

A la lumière de notre résultats , nous pouvons observer une mortalité accrue ; nanoparticules d'argent biosynthétisées par l'actinobactérie renferme un excellent potentiel insecticide contre les pucerons vertes *Myzus persicae*.

Les AgNPs synthétisés biologiquement peuvent également être utilisés comme une approche écologique de lutte contre les moustiques (**Adhikari et al., 2013**). Cette recherche innovante est une nouvelle étape pour établir les AgNPs comme insecticide .

**Huk et al., 2015** a été rapporté que l'accumulation d'argent peut entraîner des effets néfastes sur la croissance, en raison de ses propriétés physico-chimiques différentes et des ions libres libérés par les AgNPs des pucerons, ce qui entraîne une modification de la physiologie cellulaire et conduit ainsi à décès . Par conséquent, il peut être considéré comme un outil précieux et respectueux de l'environnement dans les programmes de lutte contre les insectes nuisibles (**Atanu et al., 2016**).

*Conclusion générale  
et perspectives*

## *Conclusion générale et perspectives*

---

### **Conclusion générale et perspectives**

L'objectif principal de cette étude est de proposer de nouvelles voies de biosynthèse des nanoparticules métalliques dans le but de remplacer l'utilisation des techniques classiques (chimique et physique). En effet, contrairement à la synthèse chimique, les nanoparticules obtenues à partir de systèmes biologiques tels que les champignons, les bactéries et les plantes est économique et écologique. D'autre part, le caractère unique des actinobactéries, considérées comme des micro-organismes prometteurs en raison de la production de divers métabolites secondaires attire l'attention de la communauté scientifique .

L'utilisation d'actinobactéries dans la synthèse de AgNPs à des fins antifongiques et insecticides est un domaine de recherche prometteur avec un potentiel significatif pour le développement d'agents nouveaux et efficaces. Les AgNPs synthétisées à l'aide d'actinobactéries ont démontré une forte activité antifongique et insecticide, et l'utilisation d'actinobactéries dans la synthèse de ces nanoparticules présente plusieurs avantages par rapport aux méthodes chimiques traditionnelles.

Les recherches futures dans ce domaine pourraient se concentrer sur l'optimisation de la synthèse des AgNPs à l'aide d'actinobactéries, explorer leur potentiel d'utilisation dans les applications agricoles et médicales, et étudier leur impact environnemental potentiel. De plus, le développement de nouvelles méthodes de distribution de AgNPs aux organismes cibles, telles que l'encapsulation dans des polymères biodégradables, pourrait améliorer leur efficacité et réduire les préoccupations concernant leur toxicité potentielle.

Dans l'ensemble, l'utilisation d'actinobactéries dans la synthèse de AgNPs à des fins antifongiques et insecticides présente un potentiel important pour relever des défis importants dans l'agriculture et la santé publique, et la poursuite des recherches dans ce domaine devrait conduire à des avancées importantes dans les années à venir.

*Références  
bibliographiques*

## Références bibliographiques

---

### A

- A'liyatur, R., Oratai, W., Nuannoi, Ch., Wanwisa, L et Nawarat, N (2022)** . Streptomyces chiangmaiensis SSUT88A mediated green synthesis of silver nanoparticles: characterization and evaluation of antibacterial action against clinical drug-resistant strains .
- Adhikari, U., Ghosh, A., Chandra, G. (2013)**. Nano particles of herbal origin: a recent ecofriend trend in mosquito control. *Asian Pac. J. Trop. Dis.* 3 (2), 167.
- Anandan, R., Dharumadurai, D., et Manogaran, G (2016)** . An introduction to Actinobacteria. In: Dhanasekaran D, Jiang Y, editors. *Actinobacteria*. Rijeka: IntechOpen.
- Aouar, L. (2012)**. Isolement et identification des actinomycètes antagonistes des microorganismes phytopathogènes, Thèse de doctorat. L'Université Mentouri Constantine, Algérie.
- Atanu, B., Ram, P., Abdul A., et al., (2016)**. One-Pot Fabrication and Characterization of Silver Nanoparticles Using Solanum lycopersicum: An Eco-Friendly and Potent Control Tool against Rose Aphid, *Macrosiphum rosae*.
- Azman, A. S., Othman, I., S Velu, S., Chan, K. G., & Lee, L. H. (2015)**. Mangrove rare actinobacteria: taxonomy, natural compound, and discovery of bioactivity. *Frontiers in microbiology*, 6, 856.

### B

- Barka, E. A., Vatsa, P., Sanchez, L., Gaveau-Vaillant, N., Jacquard, C., Klenk, H. P et van Wezel, G. P. (2016)**. Taxonomy, physiology, and natural products of Actinobacteria. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 80(1), 1-43.
- Bawazir, AM., et Manjula, Sh. (2018)**. article. Ecology and Distribution of Actinomycetes in Nature. P 3.
- Berdy, J. (2005)**. Bioactive microbial metabolites. *The Journal of antibiotics*, 58(1), 1-26.
- Bhatti, AA., Haq, S., Bhat RA. (2017)**. Actinomycetes benefaction role in soil and plant health. *Microbial Pathogenesis*. Vol 111. Pp 459-460.

## Références bibliographiques

---

**Bouaziz, S. (2018).** Recherche de souches bactériennes locales productrices de substances antimicrobiennes : isolement, sélection, identification des souches actives et caractérisation partielle des substances bioactives. Thèse de Doctorat. Université Kasdi Merbah-Ouargla. P : 4-13.

**Boudjellal-bencheikh, F. (2012).** Taxonomie et antagonisme des actinomycètes halophiles d'origine saharienne et caractérisation des composés bioactifs sécrétés par *Actinoalloteichus* sp. AH97. Thèse de doctorat en sciences agronomiques, Ecole nationale supérieure agronomiques El-harrach, Alger.

### C

**Caravallhais, L. C., Dennis, P. G. (2021).** The plant microbiome. *Methods in molecular biology*. Chap 18. Pp 222.

**Chakraborty, AK., Roy, T., et Mondal, S. (2016) .** Development of DNA Nanotechnology and Uses in Molecular Medicine and Biology.

**Copping, L.G. et Menn, J.J. (2000).** Biopesticides: A Review of Their Action. Applications and Efficacy. *Pest Management Science*. vol 56. Pp 652-657.

### D

**Devi, N. A., Jeyarani, M., et Balakrishnan, K. (2006).** Isolation and identification of marine actinomycetes and their potential in antimicrobial activity. *Pak J Biol Sci* 9(3):470-472.

**Djaballah, C. (2010).** Biodiversités des actinomycètes halophiles et halotolérantes isolées de la sebkha de Ain MLILA ; Mémoire de magister en microbiologie, université frères mentouri –Constantine.

### E

**Ensign J. C., Normand P., Burden J. P., Yallop C. A. (1993).** Physiology of some actinomycetes genera. *Rev. Microbiol.* **144**, 657-660.

### F

**Feiyang, X. et Wasu, P. (2021).** Actinobacteria From Desert: Diversity and Biotechnological Applications.

## Références bibliographiques

---

### G

- Gacem, MA., Chaibi, R. (2022).** Cu-based nanoparticles as pesticides: Applications and mechanism of management of insect pests.
- García-Barrasa, J., López-de-Luzuriaga, J.M., Monge, M. (2011).** Silver nanoparticles: synthesis through chemical methods in solution and biomedical applications. *Cent. Eur. J. Chem.*9, 7–19.
- Gonzalo, T., Olga, R., Mari´a, C., Sergio, C., Joana, C et Amedea, B. (2022).** Chapter 18 - Role of bacteria and actinobacteria in the biosynthesis of silver nanoparticles .
- Goodfellow, M., et Williams, S. T. (1983).** Ecology of actinomycetes. *Annual review of microbiology*, 37(1), 189-216.
- Grigorova, R., et Norris, J., R. (1990).**Technique in microbial ecology .Methodes in microbiology ;Vol 22 .academic press London. 627.

### H

- Hamedi, J., Poorinmohammad, N., et Papiran, R. (2017).** Growth and Life Cycle of Actinobacteria. In *Biology and Biotechnology of Actinobacteria*. Springer, Cham., 29-50.
- HARIS, C., 1989.** Introduction to modern microbiology. blackwell scientific publication, pp. 179.
- Huk, A., Izak-Nau, E., Yamani, N., et al., (2015).** Impact of nanosilver on various DNA lesions and HPRT gene mutations—effects of charge and surface coating,” *Particle and Fibre Toxicology*, vol. 12, article 25.

### J

- Javaid, A., Oloketuyi, S.F., Khan, M.M., Khan, F. (2017).** Diversity of bacterial synthesis of silver nanoparticles. *BioNanoScience* 8, 43–69.
- Jones, S. E., & Elliot, M. A. (2018).** ‘Exploring’the regulation of *Streptomyces* growth and development. *Current opinion in microbiology*, 42, 25-30.

### K

## Références bibliographiques

---

- Kekuda, T. P., Shobha, K. S., et Onkarappa, R. (2010).** Fascinating diversity and potent biological activities of Actinomycete metabolites. *Journal of Pharmacy Research*.vol 3(2). Pp 250-256.
- Khan, I., Saeed, K., Khan, I. (2017).** Nanoparticles: properties, applications and toxicities. *Arab. J. Chem.* 12 (7), 908–931.
- Kim, J. H., Choi, J. Y., Park, D. H., Park, D. J., Park, M. G., Kim, S. Y., ... & Je, Y. H. (2020).** Isolation and characterization of the insect growth regulatory substances from actinomycetes. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 228, 108651.
- Kitouni, M. (2007).** Isolement de bacteries actinomycétales productrices d'antibiotiques à partir d'écosystème extrêmes, identification moléculaire des souches actives et caractérisation préliminaire des substances élaborée, thèse doctorat en microbiologie, université frères Mentouri –Constantine.
- Kokare, C. R., Mahadik, K. R., Kadam, S. S., et Chopade, B. A. (2004).** Isolation, characterization and antimicrobial activity of marine halophilic *Actinopolyspora* species AH1 from the west coast of India. *Current Science*, 593-597.
- Kondaiah, S., Kishore K., Narasimha, G., et Bhagavanth, R. (2022) .** Chapter 7 – Bio mediated synthesis of silver nanoparticles via microwave-assisted technique and their biological applications .
- Krzeniak, K. J., Mateusiak, A.R., Guspiel, A., Ziemska, J., Solecka, J. (2018).** Secondary metabolites of Actinomycetes and their Antibacterial, Antifungal and antiviral properties. *Polish Journal of Microbiology*. Vol 67(3). Pp 259.
- Kumar, S.S.D., Rajendran, N.K., Houreld, N.N., Abrahamse, H. (2018).** Recent advances on silver nanoparticle and biopolymer-based biomaterials for wound healing applications. *Int. J. Biol. Macromol.* 115, 165–175.

### L

- Lansborough, L.A. (2004).** Food microbiology laboratory. Published by CRC press, pp. 179.
- Lee, L. H., Chan, K. G., Stach, J. E. M., Wellington, E. M., & Goh, B. H. (2018).** The search for biological active agent (s) from actinobacteria. *Frontiers in microbiology*, 9, 824.

## Références bibliographiques

---

**Li, Q., Chen X., Jiang Y., Jiang C. (2016).** Morphological identification of actinobacteria. *Actinobacteria-Basics and Biotechnological Applications. Rijeka, Croatia: InTech.5* 9-86.

### M

**Mazodier J. (1974).** Sociétés industrielles et déchets solides. *Sciences et Vie.* (106): 109-115.

**Messaoudi, O. (2013).** Contribution à la caractérisation des souches d'actinomycètes isolées de la Sebkhia de Kendsa (Bechar). Mémoire de magistère en microbiologie, université Abou Bakr Belkaid de Telemcen.

### P

**Paladini, F., Pollini, M. (2019).** Antimicrobial silver nanoparticles for wound healing application: progress and future trends. *Materials (Basel)* 12, 1–16.

**Palaniappan, S., Subramaniam, P., Palaniappan, S., Dharman, K., Murugesan, S., et Sivakumar, L. (2019).** Nanoparticles from Actinobacteria: A Potential Target to Antimicrobial Therapy .

**Panchanathan, M., Jayachandran, V., Kannan S., et Se-Kwon K. (2014).** Actinobacteria mediated synthesis of nanoparticles and their biological properties: A review.

### R

**Rangaswami, G., Bagyaraj, D. J. et Bagyaraj, D. G. (2004).** *Agricultural Microbiology.* New Delhi.

### S

**Saloni, J., Ishita, G., Priyanshu, W., et Shalini, S. (2022).** Application of Actinobacteria in Agriculture, Nanotechnology, and Bioremediation .

**Sharma, V., et Salwan, R. (2018).** Biocontrol potential and applications of Actinobacteria in agriculture. In *New and future developments in microbial biotechnology and bioengineering.* Elsevier. 93-108 .

**Sim, W., Barnard, R.T., Blaskovich, M.A.T., Ziora, Z.M. (2018).** Antimicrobial silver in medicinal and consumer applications: a patent review of the past decade. *Antibiotics,* 1–15.

## Références bibliographiques

---

**Song, J., Weon, H. Y., Yoon, S. H., Parrk, D. S., Go S. G., et Suh, J. W. (2001).** Phylogenetic diversity of thermophilic actinomycetes and Thermoactinomycetes isolated from mushroom composts in Korea based on 16S RNA gene sequence analysis. *FEMS Microbiol. Lett.* 202, 97-102.

**Stackebrandt, E., Rainey, F. A., et Ward-Rainey, N. L. (1997).** Proposal for a New Hierarchic Classification System, *Actinobacteria* classis nov. *International Journal Of Systematic Bacteriology*. Vol. 47, n° 2. P : 479-491.

**Suty, L., (2010).** La lutte biologique : Vers de nouveaux équilibres écologiques. Dijon cedex : Éducagri éditions. Pp 92-165.

### T

**Tárcio, S., Tarcisio, M., Juliana, C., Ricardo, L., Aleksandra, Z., Eliana, B., Patrícia, S., et Marcelo, da. (2021).** Biosynthesis of Silver Nanoparticles Mediated by Entomopathogenic Fungi: Antimicrobial Resistance, Nanopesticides, and Toxicity.

### V

**Veerasamy, R., Xin, T. Z., Gunasagaran, S., Xiang, T. F. W., Yang, E. F. C., Jeyakumar, N., et al. (2011).** Biosynthesis of silver nanoparticles using mangosteen leaf extract and evaluation of their antimicrobial activities. *J. Saudi Chem. Soc.* 15, 113–120. doi: 10.1016/j.jscs.2010.06.004.

### Y

**Yamunarani, K., Sundaram, A.K., Pandiyan, M. (2019).** *Streptomyces* as a potential biocontrol agent. *Journal of Entomology and Zoology studies.*, 7 (1): 637- 644.

**Yoo, Y. J., Kim, H., Park, S. R., & Yoon, Y. J. (2017).** An overview of rapamycin: from discovery to future perspectives. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*. Vol 44(4-5). Pp 537-539.

### Z

**Zdenka, B. (2022).** Chapter -21 Green synthesis of silver nanoparticles using actinomycetes

## *Références bibliographiques*

---

**Zermane, F. (2007).** Etude des caractéristiques culturelles des actinomycètes impliquées dans la biodégradation de la cellulose, des substances pectiques et des composés organiques de synthèse.p33-38.

*Annexe.*

# Annexe

---

## Annexe 1 : Les différents milieux de culture utilisés

### ❖ GYM

Extrait de malt	10.0g
Extrait de levure	4.0g
CaCO <sub>3</sub>	2.0g
Glucose	4.0g
Agar-Agar	12.0g
Eau distillée	1000 mL

### ❖ Bennett

Glucose	10.0g
Peptone pancréatique de caséine	2.0g
Extrait de levure	1.0g
Extrait de viande	1.0g
Agar-Agar	15.0g
Eau distillée	1000 mL

### ❖ Caséine Agar Medium (CSA)

Amidon	10.0g
KNO <sub>3</sub>	2.0g
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	2.0g
NaCl	2.0g
Caséine	0.3g
MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	0.05g
CaCO <sub>3</sub>	0.02g
FeSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	0.01g
Agar-Agar	18.0g
Eau distillée	1000 mL

## Annexe

### ❖ Gélose dextrosée à la pomme de terre (PDA)

Pomme de terre	200g
Dextrose	15.0g
Agar-Agar	20.0g
Eau distillée	1000 mL

### ❖ Milieu 5294

Peptone ( hydrolysate de protéines )	10.0g
• Lactose	10.0g
• Chlorure de sodium	5.0g
• Sels de potassium	4.0g
• Vitamine B	0.1g
• Eau distillée	1000 mL

### Annexe 2 :

**TABLE 10.4**  
**Optical Density (OD) Range and Inoculum Sizes for Common and Uncommon Molds**

Species	OD Range (%T) <sup>a</sup>	10 <sup>6</sup> CFU/mL Range
<i>A. nidulans</i>	0.09–0.11 (80–82)	1.1–2
<i>A. flavus</i>	0.09–0.11 (80–82)	0.4–4
<i>A. fumigatus</i>	0.09–0.11 (80–82)	0.6–5
<i>A. terreus</i>	0.09–0.11 (80–82)	0.9–5
<i>Bipolaris hawaiiensis</i>	0.2–0.3	0.07–0.4
<i>B. spicifera</i>	0.2–0.3	0.3–3
<i>Cladophialophora bantiana</i>	0.15–0.17 (68–70)	0.4–3.1
<i>Dactylaria constricta</i>	0.15–0.17 (68–70)	0.4–1
<i>Fusarium oxysporum</i>	0.15–0.17 (68–70)	0.8–5
<i>F. solani</i>	0.15–0.17 (68–70)	0.5–5.9
<i>Paecilomyces lilacinus</i>	0.09–0.13	0.8–2.3
<i>P. variotii</i>	0.09–0.11 (80–82)	ND
<i>Scedosporium apiospermum</i>	0.15–0.17	0.4–3.2
<i>R. arrhizus</i>	0.15–0.17	0.4–2.6
<i>S. prolificans</i>	0.15–0.17	0.6–1.7
<i>S. schenckii</i>	0.09–0.11	0.7–2.3
<i>Trichoderma longibrachiatum</i>	0.09–0.11	0.7–2.3
<i>Wangiella dermatitidis</i>	0.15–0.17	1.2–3.7

<sup>a</sup> %T = percent transmission.  
 Based on Refs. 4 and 8.