

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE : de Sciences

DEPARTEMENT : de chimie

N° : .....



FILIERE : DES SCIENCES MATIERES

OPTION : chimie pharmaceutique

Mémoire présenté pour l'obtention

Du diplôme de Master Académique

Par : *Mihoune Fousra*

**Intitulé**

**Biosynthèse des nanoparticules à base d'extrait  
de plante et la caractérisation des leurs activités  
biologiques**

**Soutenu devant le jury composé de :**

Mr Abdelhakim kheniche

Université de M'Sila

Encadreur

Mr ladegham chikouch djamel

Université de M'Sila

Examineur

Mr Amar djeriou

Université de M'Sila

Président

**Année universitaire : 2020 /2021**

# بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## **Remerciements**

*Je remercie Allah le tout puissant pour m'avoir donné la force, et la patience afin de pouvoir réaliser ce modeste travail.*

*Je tiens à remercier vivement toutes les personnes qui ont m'aide à le mener jusqu' au bout, et particulièrement.*

*\_ Mes remerciements les plus respectueux à mon encadreur Mr Abdelhakim kheniche chef département de Microbiologie et Biochimie de m'avoir encadrée dans ce travail.*

*- A Mr Président Amar djeriou , professeur de chimie pour sa valeur humaine constante et réelle, qui m'a guidé et coordonné avec diligence et savoir.*

*-Nous remercions également l'examineur, Mr ladegham chikouch djamel professeur de chimie pour nous avoir fait l'honneur d'examiner ce travail.*

*- Je m'adresse mes remerciements infiniment a madame Safia merah ingénieur de laboratoire et madame yasmine de m'avoir aidé dans ce travail.*

*- Merci et appréciation à tous les chefs du laboratoire de chimie et biologie.*

- *Sans oublier tous les enseignants qui ont contribué à notre formation durant notre cursus.*
- *Merci également à tous ceux qui, un jour ou l'autre, nous ont offert leur amitié et des moments inoubliables tout au long de notre cursus universitaire.*

## *Dédicace*

*Je dédie ce travail à tous ceux qui ont cru en moi et qui m'ont donné la force de continuer.*

*A ma chère mère, qui a toujours été présente et qui a su se dévouer pour l'accomplissement de mes souhaits, et dont je suis fière, autant qu'elle peut l'être de moi. Que ce travail soit en guise de reconnaissance et de gratitude, qu'elle reçoit tout mon amour.*

*A la mémoire de cet homme simple et bon qui reste présent dans mon cœur et dans mon esprit*

*Que fut mon père.*

*A mes chères frères Aymen, Grid lazhar, Ouadah salim*

*A mes chères sœurs Sara, Amira*

*A tous mes amis*





# Sommaire

# Sommaire

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

**Introduction**.....1

## Partie théorique

### Chapitre I : Présentation de plante étudiée

**I.1. La description botanique de la famille lamiacée :** .....3

**I.2. Intérêt économique de la famille lamiacées**.....3

**I.3. Le Genre *Salvia***.....3

I.3.1. la description botanique de *Salvia verbinaca* .....3

I.3.2. Classification taxonomique .....4

I.3.4. Synonymes .....5

I.3.4. La répartition *S. Verbinaca* .....5

I.1.5. Composition phytochimique de cette plante .....6

I.3.6. Effet thérapeutique .....6

### Chapitre II : Généralités sur les nanoparticules

**II.1. Nanotechnologies**.....7

**II.2. Nanomatériaux**.....7

**II.3. Définition des nanoparticules**.....8

II.3.1. L'argent .....8

**II.4. Les méthodes de synthèse des nanoparticules d'argent** .....9

Avantages des méthodes biologiques pour la préparation d'Ag NPs .....12

**II.5. Mécanisme de formation de nanoparticules d'argent** .....13

II.5.1. Nucléation .....	13
II.5.2. La croissance .....	13
II.5.3. Le murissement .....	14
II.5.4 : Mécanisme possible impliqué dans la synthèse verte des AgNPs .....	14
<b>II.6. Les caractérisations des nanoparticules d'argent .....</b>	<b>16</b>
II.6.1. Spectroscopie UV-Visible .....	17
II.6.2. Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) .....	17
II.6.3. Microscopie électronique à balayage (MEB) .....	17
II.6.4. La diffraction des rayons X (RDX) .....	18
<b>II.6. Application des nanoparticules d'argent :.....</b>	<b>18</b>

## Partie pratique

### Chapitre III : Matériels et Méthodes

<b>III. Introduction .....</b>	<b>20</b>
<b>III. Matériels et réactifs.....</b>	<b>22</b>
III.1. Matériel végéta .....	22
III.1.1. Récolte et identification du matériel végétal .....	22
<b>III.2. Montage et protocole général de synthèse .....</b>	<b>23</b>
III.2.1. Préparation de l'extrait aqueuse des feuilles des Salvia verbinaca.....	23
III.2.2. Détermination des rendements d'extraction .....	23
III.2.3. Biosynthèse des nanoparticules d'argent .....	24
<b>III.3. Extraction des composés phénoliques .....</b>	<b>26</b>
a) Principe d'extraction.....	26
b) Préparation des extraits.....	26
<b>III.3.1. Dosage des composés phénoliques .....</b>	<b>26</b>
III.3.1.1. Dosage des poly phénols totaux .....	26
III.3.1.2. Dosage des flavonoïdes .....	27
<b>III.4. Caractérisation des nanoparticules d'argent .....</b>	<b>27</b>
<b>III.5. Test biologique .....</b>	<b>28</b>
II.5.1. Activité antibactérienne.....	28

## **Chapitre IV : Résultats et discussion**

<b>IV.1. L'extraction</b> .....	32
<b>IV.2. Les dosages des composés phénoliques</b> .....	32
IV.2.1. La teneur des polyphénols .....	33
IV.2.1. La teneur des flavonoïdes .....	33
<b>IV.3. La biosynthèse des nanoparticules d'argent</b> .....	34
IV.3.1. Spectroscopie d'absorption UV -Vis .....	34
IV.3.2. Caractérisation par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) .....	35
<b>IV.4. Evaluation de l'activité antibactérienne des nanoparticules synthétisées</b> .....	37
<b>IV.5. Caractérisation par spectroscopie électronique à balayage MEB et EDX</b> .....	40
<b>Conclusion</b> .....	41
<b>Références bibliographiques.</b>	
<b>Annexes.</b>	

## Liste des abréviations

**Ag** : argent.

**NPs** : nanoparticule.

**Ag NPs** : nanoparticule d'argent.

**DRX** : Diffraction des rayons X.

**UV - vis** : Ultraviolet visible spectromètre.

**FTIR** : Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier.

**MEB** : Microscopie électronique à balayage.

**nm** : Nanomètre.

**µl** : Microlitre.

**mM** : milli Mole.

**S. Verbinaca** : *Salvia verbinaca*.

**PUF** : particules ultrafines.

**EAG** : Equivalent d'acide gallique.

**Esv** : Extraits de *Salvia verbinaca*.

**EQ** : Equivalent quercétine.

## Listes des figures

<a href="#"><u>Figure I.1: photo de l'espèce <i>Salvia verbinaca</i> L [10]</u></a> .....	4
<a href="#"><u>Figure I.2 : carte géographique de plante <i>S. Verbinaca</i> dans le monde</u></a> .....	5
<a href="#"><u>Figure II.3 : schéma récapitulatif des différents types des nanomatériaux [23]</u></a> .....	7
<a href="#"><u>Figure II.4 : les trois principales formes des nano-objets [25]</u></a> .....	8
<a href="#"><u>Figure II.5 : représentation schématique des deux grandes approches de synthèse de nanomatériaux [30]</u></a> .....	9
<a href="#"><u>Figure II.6 : les bio réducteurs utilisés dans la méthode biologique pour synthèse des nanoparticules d'argent</u></a> .....	11
<a href="#"><u>Figure II.7 : représentation schématique des différentes méthodes de synthèse des AgNPs [53]</u></a> .....	12
<a href="#"><u>Figure II.8 : synthèse verte des nanoparticules à partir d'extrait de plante [55]</u></a> .....	13
<a href="#"><u>Figure II.9 : un mécanisme hypothétique de synthèse verte d'AgNPs à l'aide d'extrait végétal [65]</u></a> ..	15
<a href="#"><u>Figure II.10 : mécanisme de synthèse des AgNPs à partir de sources végétales. [65]</u></a> .....	16
<a href="#"><u>Figure II.11 : diverses applications des AgNPs. [70]</u></a> .....	19
<a href="#"><u>Figure III.12 : la méthodologie de l'extraction et la caractérisation de la plante de <i>Salvia verbinaca</i></u></a> ..	22
<a href="#"><u>Figure III.13 : Photographies des parties aériennes de <i>Salvia verbinaca</i></u></a> .....	22
<a href="#"><u>Figure III.14 : localisation géographique du lieu de récolte de <i>S. Verbinaca</i></u></a> .....	22
<a href="#"><u>Figure III.15 : Schéma illustrant le protocole de préparation de nanoparticules d'argent par extrait de feuilles du <i>Salvia verbinaca</i></u></a> .....	26
<a href="#"><u>Figure III.16 : Mécanisme de réaction de chlorure d'aluminium avec les flavonoïdes</u></a> .....	27
<a href="#"><u>Figure IV.17 : Spectre UV-Vis des Ag NPs synthétisées par les extraits aqueux de <i>S. verbinaca</i></u></a> .....	34
<a href="#"><u>Figure IV.18 : Spectres FTIR d'extrait aqueux de <i>Salvia verbinaca</i></u></a> .....	35
<a href="#"><u>Figure IV.19 : Spectres FTIR de NPs d'Ag</u></a> .....	36
<a href="#"><u>Figure IV.20 : Histogramme des zones d'inhibitions des nanoparticules d'argent de <i>S. verbinaca</i> et de la solution AgNo3</u></a> .....	37

## Listes des tableaux

<a href="#"><u>Tableau I.1 : classification scientifique de S. Verbinaca [11]</u></a> .....	4
<a href="#"><u>Tableau I.2 : les synonymes de Salvia verbinaca L [12]</u></a> .....	5
<a href="#"><u>Tableau III.3 : Généralités sur les souches bactériennes utilisées.</u></a> .....	32
<a href="#"><u>Tableau IV.4 : le rendement d'extrait de <i>Salvia verbinaca</i></u></a> .....	33
<a href="#"><u>Tableau IV.5 : Les composés phénoliques d'extrait de <i>Salvia verbinaca</i>.</u></a> .....	34



# Introduction générale

## **Introduction générale :**

Le mot « nano » est dérivé du mot grec « Nanos » qui signifie « nain » et que l'échelle nanométrique représente une partie d'un milliard, un nanomètre équivaut donc  $10^{-9}$  mètres. [1]

La nanotechnologie est l'une des technologies les plus importantes qui pénètre dans de nombreux domaines, car elle dépend de la formation des particules des dimensions nanométriques (nanoparticules) NPs, et ces particules ont des propriétés différentes des minéraux qui les composent, et elles dépendent de l'ingénierie des particules minérales dans différentes formes et tailles.

Intérêt pour la production des nanomatériaux métalliques ces dernières années en raison de leur utilisation dans divers domaines tels que la biomédecine, l'agriculture, l'environnement et l'industrie. [2]

Les nanoparticules métalliques ont une large considération en raison de sa demande dans la variété des domaines, y compris les sciences biomédicales, l'industrie chimique, l'électronique, la livraison de médicaments-gène et biocapteur, etc.

D'habitude, les nanoparticules peuvent être synthétisées par différents procédé physico-chimique comme la déposition de vapeur et la réduction chimique. Les produits chimiques utilisés lors de ces synthèses sont souvent toxiques, couteux et non respectueux de l'environnement.

Depuis quelques années la communauté scientifique étudie plutôt les organismes vivants (bactéries, champignons, plantes, levures...) comme biréacteurs pour fabriquer les nanoparticules. L'intérêt des synthèses par les plantes, outre-leur simplicité de mise en œuvre, est la disponibilité de la matière première et surtout l'activité biologique que peut présenter cette dernière.

Ce travail de mémoire a donc pour objectif l'élaboration des nanoparticules d'argent par un procédé simple, rapide et propres vis-à-vis de l'environnement et du manipulateur. Pour répondre à ces critères nous avons choisi de préparer les nanoparticules d'argent en dispersion aqueuse en utilisant l'extrait d'une plante aromatique (*Salvia verbinaca*) comme bio réducteur.

Les produits végétaux trouvent une utilisation impérative dans la synthèse des nanoparticules (NPs). L'argent (Ag) est le métal de choix parmi les métaux nobles pour des applications potentielles dans le domaine des systèmes biologiques, de la matière organique et de la médecine.

Ce travail se décompose en quatre chapitres :

- ✓ **Le premier chapitre :** vise la présentation botanique et la composition chimique de l'espèce étudié *Salvia verbinaca*, ainsi l'intérêt thérapeutique dans la médecine traditionnelle.

- ✓ **Le deuxième chapitre** : est consacrée à une étude bibliographique sur les nanoparticules, notamment la synthèse, caractérisation et leurs applications.
- ✓ **Le troisième chapitre** : est constitué des matériels et méthodes de synthèse des nanoparticules d'argent.
- ✓ **Le quatrième chapitre** : contient les résultats obtenus des nanoparticules synthétisés, Où les données comme l'infrarouge et UV-vis et l'activité biologique. Ces discussions ont été discutées et caractérisation des nanoparticules d'argent et l'activité biologique.

Chapitre 01 :



# Présentation de plante étudiée

---

---

## La famille lamiacées

### I.1. La description botanique de la famille lamiacée :

La famille des Lamiacées est considérée comme l'une des plantes dicotylédones les plus importantes. C'est une famille diversifiée qui comprend environ **258** genres et **6900** espèces mondiales ou plus. Elle est répandue dans les régions tropicales et tempérées. Mais il est particulièrement fréquent du bassin méditerranéen à l'Asie centrale [3]. Les lamiacées sont souvent des plantes herbacées, des plantes aromatiques annuelles ou pérennes, des sous-arbustes et rarement des arbres ou des lianes. Les tiges de section sont carrées et les feuilles opposées sont parfois retournées.

Les fleurs sont généralement à deux lobes, à corolle irrégulière, possédant quatre étamines, dont deux longues et deux courtes. De plus, les Lamiacées contiennent de nombreuses espèces cultivées comme épice (comme la sauge, le thym, le basilic, la menthe, etc...). De plus, cette famille est une source importante d'huiles essentielles pour l'aromathérapie et l'industrie cosmétique.

### I.2. Intérêt économique de la famille lamiacées

La famille comprend de nombreux types économiquement importants, que ce soit pour ses huiles essentielles ou pour une utilisation dans les épices. Car elle appartient aux genres de la menthe, du rosmarinus, de la *Salvia* et du thymus. Les tubercules de certains *Stachys* sont considérés comme comestibles. *Tectona* fournit du bois important. Plusieurs genres contiennent des espèces végétales : parmi eux, *Aguja*, *Calicarpa*, *Salvia* etc... [4]

### I.3. Le Genre *Salvia*

La *Salvia* est un merveilleux type de plante. Il est dérivé du mot latin *Salavre*, qui signifie sauver et guérir, et c'est l'un des plus courants de la famille des Lamiacées [5], car le genre *Salvia* comprend des espèces annuelles, bisannuelles ou pérennes. Les tiges sont généralement en pente quadrangulaire comme les autres membres de la famille des Lamiacées. Les feuilles sont généralement entières, mais parfois dentées ou plumeuses. Les tiges des fleurs ont de petites bosses inégales [6]. Le genre *Salvia* (*Sage*) est l'un des genres les plus importants de la famille des Lamiacées, avec près de 900 espèces réparties dans le monde. En Algérie, il existe 23 espèces du genre *Salvia* [7].

#### I.3.1. La description botanique de *Salvia verbinaca* :

*S. verbinaca* L est une plante herbacée vivace, de 8-30 cm de hauteur, très polymorphe, surtout en ce qui concerne les feuilles, qui sont simples, vertes, avec le limbe ovale ou ovale allongé dont les bords sont fortement crénelés ou découpés en lobes ou encore profondément divisés [8]

Les fleurs assez petites, et de couleur violet bleuâtre, elles sont bilabiées en épi de faux verticilles (verticillastres) de 5-10 flores et leur taille ne dépasse pas 15 mm [9]. La tige est pubescente, quadrangulaire. Le calice de la fleur est bilabié, variable, à lèvre supérieure tridentée et l'inférieure bidentée. (Figur1) Elle croit dans les pelouses sèches, les talus et au bord des chemins.



Figure I.1: photo de l'espèce *Salvia verbinaca* L [10]

### I.3.2. Classification taxonomique :

Tableau I.1 : classification scientifique de *S. Verbinaca* [11]

<b>Royaume</b>	<b>Plantes</b>
<b>Sous royaume</b>	<b>Tracheobiontes</b>
<b>Embranchement</b>	<b>Spermatophytes</b>
<b>Division</b>	<b>Magnoliophytes</b>
<b>Classe</b>	<b>Magnoliopsides</b>
<b>Sous classe</b>	<b>Asteridae</b>
<b>Ordre</b>	<b>Lamiales</b>
<b>Famille</b>	<b>Lamiaceae</b>
<b>Genre</b>	<b>Salvia</b>
<b>Espèce</b>	<b>Salvia verbinaca Linn</b>



**I.3.4. Synonymes :****Tableau I.2 :** les synonymes de *Salvia verbinaca* L [12]

Nom en italien	Chiarella-minore
Nom en français	Prud'homme, Orvale sauge.
Nom en anglais	Vervain-Clary.
Nom commun	Essafaya.
Le nom générique	Dérivé du latin « Salvus » Signifiant « sain et sauf » est dû aux propriétés médicinales de <i>Salvia officinalis</i> autre fois réputée quasiment universelle
En arabe	Zergtoun, koussa, meryiamia

**I.3.4. La répartition *S. Verbinaca* :**

L'espèce de *Salvia verbinaca* (sauge sauvage) est une plante médicinale couramment cultivée, qui est indigène aux régions climatiques méditerranéennes d'Europe, d'Afrique, d'Asie et du Moyen Orient. Cependant, il est devenu une espèce envahissante dans les régions semi-arides et arides du sud de l'Australie [13]. Une très large distribution géographique de *Salvia verbinaca* a été signalée sur tout le pourtour du bassin méditerranéen : du Maroc jusqu'aux Canaries, Algérie, Tunisie, Lybie, Egypte, Chypre, Turquie jusqu'en Transcaucasie, sud et ouest de l'Europe jusqu'au nord de la Grande-Bretagne. Elle a été naturalisée dans le sud-ouest de l'Afrique, l'Australie et en Amérique du Nord [14].

**Figure I.2 :** carte géographique de plante *S. Verbinaca* dans le monde

### I.1.5. Composition phytochimique de cette plante :

La détermination qualitative et quantitative des polyphénols dans l'extrait méthanoïque de *S. verbinaca* évaluée par RP-HPLC couplée à un détecteur UV multi-longueurs d'onde a révélé un profil chimique composé de 18 composés phénoliques individuels. Ces composés ont été répartis dans trois classes : [15]

- Sous forme d'acides phénoliques (acide p-hydroxy benzoïque, acide vanillique, acide caféique, acide p-coumarique, acide férulique et acide rosmarinique).
- Des diterpènes phénoliques (acidecarnosique, carnosol, méthylcarnosate)
- Sous forme de Flavonoïdes : Flavanones (naringénine, naringine), flavones (lutéoline, cirsiol, apigénine, cirsilinoléol, genkwanine) et flavone glycosides (apigénine-7-glucoside).

### I.3.6. Effet thérapeutique :

Le genre *Salvia* est considéré comme l'un des remèdes à base des plantes les plus populaires utilisés en médecine traditionnelle d'Afrique du Nord, et il était utilisé comme antiseptique, diurétique et astringent [16]. D'autres types de *Salvia* sont également utilisés comme tisane. Et les arômes alimentaires, ainsi que dans les industries des cosmétiques, des parfums et des médicaments [17].

La *Salvia* a été utilisée dans diverses maladies infectieuses et inflammatoires, des tumeurs et des cancers en médecine traditionnelle en Chine et en Afrique du Sud. Quelques types sont utilisés contre diverses maladies telles que les troubles respiratoires et gastro-intestinaux, l'hépatite, les infections, le cancer, la perte de mémoire, maladies cardiovasculaires, inflammation, troubles menstruels et insomnie. [18]

Concernant *S. verbinaca*, en périphérie de la wilaya de Bordj Bou Arreridj en Algérie ainsi qu'en Tunisie et au Maroc, des feuilles fraîches hachées sont appliquées, en tant que substance, sur les plaies et kystes excrétés pour faciliter leur cicatrisation [19]. Comme indiqué dans le Catalogue des plantes aromatiques et médicinales du Haut Atlas oriental, les feuilles de la plante *S. Verbinaca* sont utilisées pour traiter les crampes, les coliques et l'anxiété, et que la tisane pour les feuilles peut être utilisée pour traiter les rhumes, la grippe, pharyngite et angine de poitrine.

**Chapitre 02 :**



## **Généralité sur les nanoparticules**

Avant de parler des Nanoparticules, on parle tout d'abord sur les Nanotechnologies et de nanomatériaux

## II.1. Nanotechnologies

Les nanosciences et les nanotechnologies est un domaine de recherche et d'innovation qui s'intéresse à la construction des matériaux et des dispositifs - à l'échelle des atomes et des molécules. L'objectif des nanotechnologies consiste à produire des objets ou matériaux inférieurs à 100 nanomètres, et l'étude et l'application des choses extrêmement petites qui peuvent être utilisées dans tous les autres domaines scientifiques, tels que la chimie, la biologie, la physique, la science des matériaux et l'ingénierie

À court terme, les plus grandes avancées grâce à la nanotechnologie se présenteront sous la forme de nouveaux dispositifs et procédés médicaux, de nouveaux catalyseurs pour l'industrie et de composants plus petits pour les ordinateurs [20].

## II.2. Nanomatériaux

Un nanomatériau est un matériau dont les dimensions extérieures inférieures à 100 nanomètres peuvent être mesurées, et un nanomètre équivaut à une partie d'un milliardième de mètre.

Les nanomatériaux peuvent exister naturellement ou artificiellement et avoir des propriétés spécifiques à partir de l'échelle nanométrique [21]

Il existe deux grandes familles des nanomatériaux [22] :

### ➤ Les nano-objets

#### Les matériaux nano structurés

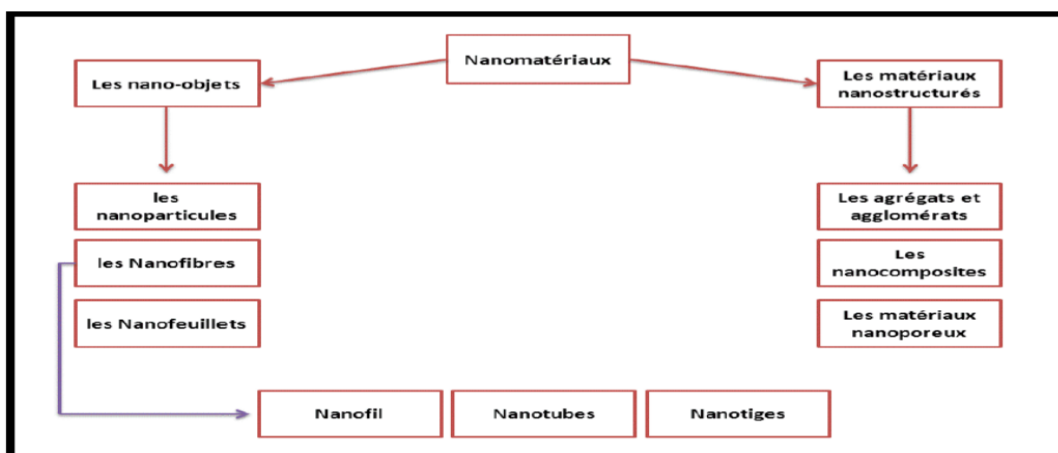
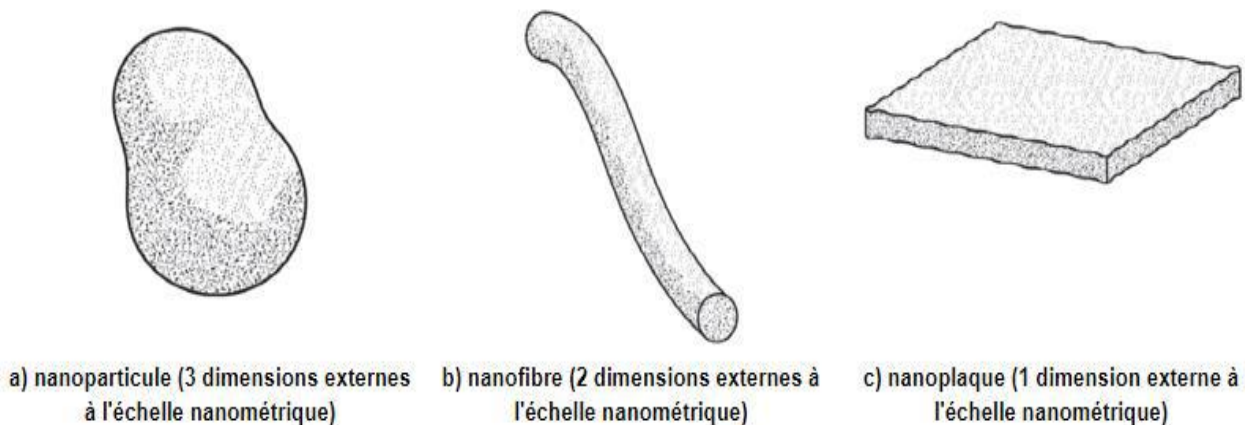


Figure II.3 : schéma récapitulatif des différents types des nanomatériaux [23].

**Les nano-objets** sont des matériaux présentant une, deux ou trois dimensions externes dans le domaine nanométrique.

Parmi ces nano-objets, les nanoparticules comprennent leurs trois dimensions dans le domaine nanométrique, les nano plaques ont une dimension nanométrique alors que les nanofibres sont des nano-objets présentant deux dimensions. [24]



**Figure II.4** : les trois principales formes des nano-objets [25]

### II.3. Définition des nanoparticules

Les nanoparticules (NP) également appelées particules ultrafines (PUF), qui sont des nano-objets dont les trois dimensions [26], dont la taille varie de 1 à 100 nm ( $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ M} = 0,00000000001 \text{ M}$ ). Il est donc plus grand que les atomes et plus petit que la cellule. [27]

De plus, les nanoparticules sont une masse moléculaire atomique ou microscopique, constituée d'un million d'atomes liés entre eux de manière presque sphérique avec un rayon inférieur à 100 nm.

#### II.3.1. L'argent

L'argent est un métal de transition doux, blanc et brillant et un élément chimique de numéro atomique 47, symbole Ag. Parmi le cuivre et l'or, l'argent appartient à la colonne du tableau périodique et est l'un des métaux qui conduisent le plus la chaleur et l'électricité il est utilisé sous plusieurs formes telles que

colloïdes comme lotions, C'est le principal agent thérapeutique en médecine pour les maladies infectieuses et les infections chirurgicales. [28]

#### II.4. Les méthodes de synthèse des nanoparticules d'argent :

Les deux grandes approches des méthodes de synthèse des nanoparticules (figure 3)

➤ *L'approche descendante, ou top down :*

Cette approche est basée sur la miniaturisation. Elle consiste à fractionner un matériau jusqu'à obtenir un objet de taille nanométrique en optimisant les technologies industrielles existantes. L'approche induit principalement l'utilisation des méthodes mécaniques (mécano-synthèse, fortes déformations, ...) et Regroupant essentiellement physiques (Le broyage à haute énergie, évaporation-condensation, procédé d'ablation laser...) [29]

➤ *L'approche ascendante, ou Bottom up (méthodes chimiques) :*

La voie ascendante, Bottom-up, consiste à assembler des composants élémentaires (atomes, molécules, agrégats) pour fabriquer des structures plus complexes, Cette voie nécessite l'utilisation de trois composants indispensables Un précurseur, un agent réducteur et un agent stabilisant.

Et L'assemblage ou le positionnement des atomes, des molécules ou des agrégats s'effectue de façon précise, contrôlée et exponentielle, permettant ainsi l'élaboration de matériaux fonctionnels dont la structure est complètement maîtrisée.

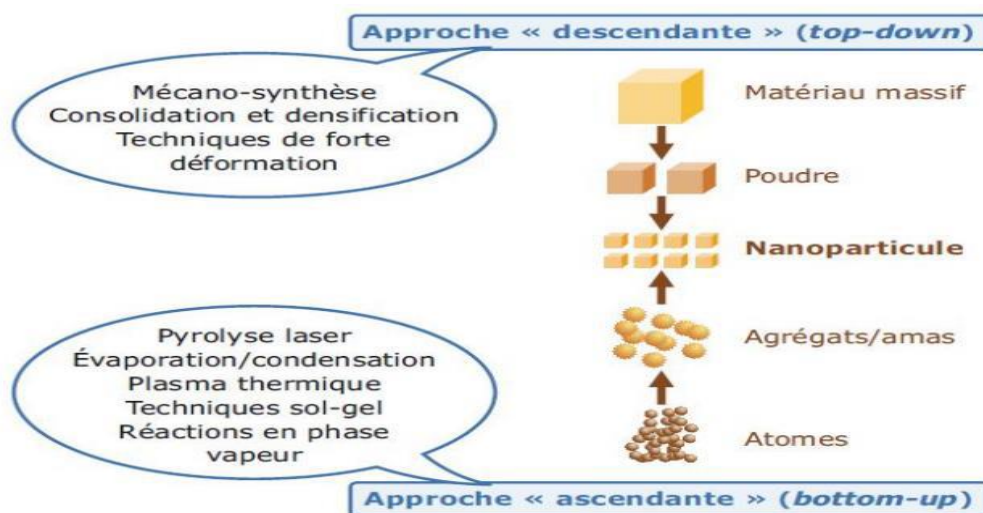


Figure II.5 : représentation schématique des deux grandes approches de synthèse de nanomatériaux [30]

L'approche « ascendante » fait appel à des procédés d'élaboration chimiques et physiques alors que l'approche « descendante » induit, principalement, l'utilisation de méthodes mécaniques.

#### ❖ **Méthode physique :**

Des méthodes mécaniques, telles que l'homogénéisation et le broyage, ont été utilisées pour préparer des nanoparticules d'argent pour une application antimicrobienne. Toutefois, les nanoparticules d'argent obtenues ont formé des agrégats et ont montré un effet bactéricide et inhibiteur négatif.

Dans les processus physiques modernes, les nanoparticules d'argent sont généralement synthétisées par évaporation et condensation. Le concept de la synthèse de nanoparticules d'argent au moyen d'un procédé de condensation de gaz inerte a été présenté dans l'article [31].

#### ❖ **Méthode chimique :**

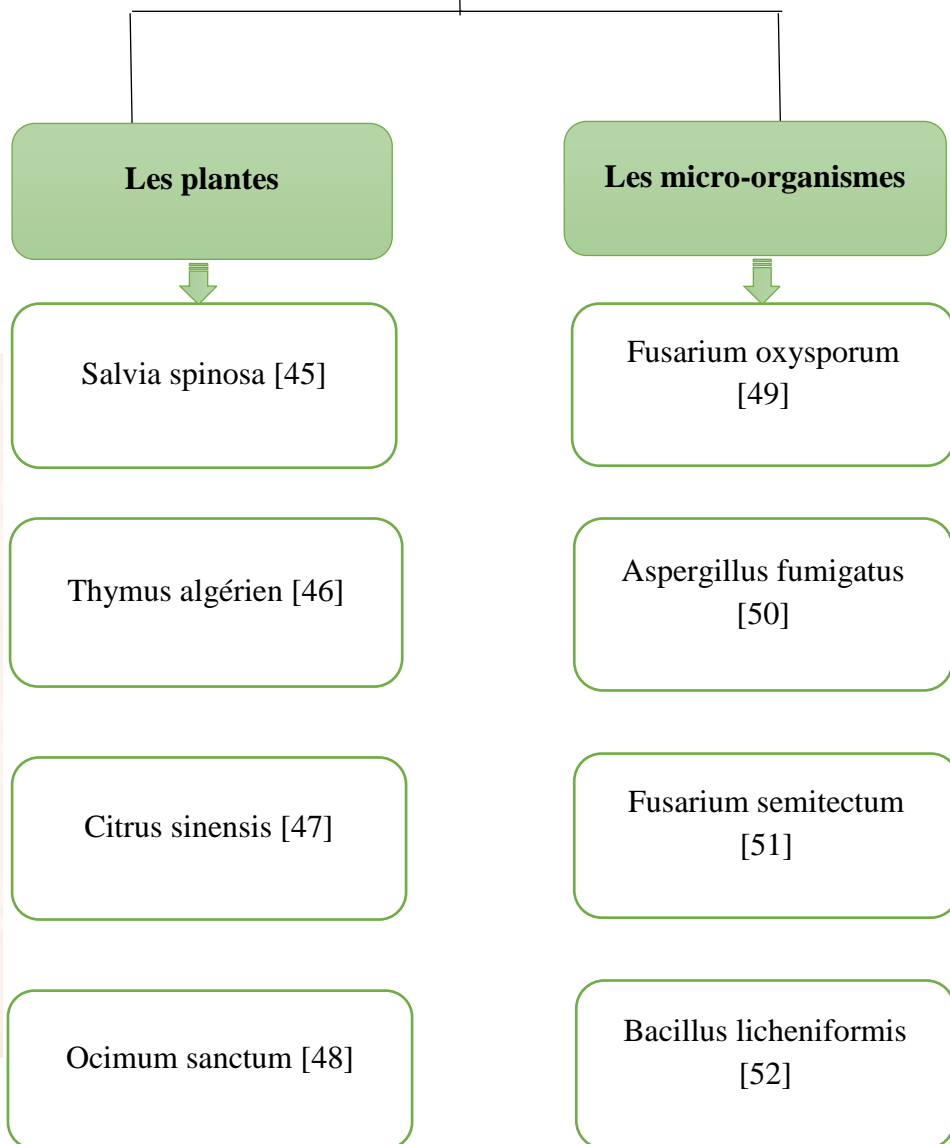
Les méthodes chimiques de préparation des nanoparticules d'argent comprennent la réduction chimique en phase aqueuse [32] [33] ou organique, [34], la réduction électrochimique [35] et la voie micellaire inverse [36], Biochimique Reduction [37] ... etc.

Les méthodes chimiques conventionnelles couramment utilisées comprennent l'approche du gel colloïdal, la précipitation chimique, la synthèse colloïdale, la méthode de Langmuir-Blodgett (1-b) et les microémulsions. La méthode chimique de synthèse du NP est simple, peu coûteuse et de grandes quantités peuvent être préparées en peu de temps [38]. Des agents tensioactifs ou des méthodes de préparation à base de polymères sont également utilisés pour empêcher l'agglutination et obtenir un meilleur contrôle des NP. La méthode de précipitation chimique homogène est appliquée pour la synthèse économique des molécules d'oxyde métallique à diffusion unique de différentes formes et tailles [39]

#### ❖ **Méthode biologique :**

La synthèse de NP à l'aide de micro-organismes [40], d'extraits de plantes [41] ou d'enzymes [42] comme l'acide désoxyribonucléique (ADN) est appelée biosynthèse [43]. La synthèse biologique de nombreuses NP à l'aide de micro-organismes et d'extraits des plantes est plus couramment utilisée par rapport à d'autres techniques en raison de leur nature écologique car aucun produit chimique toxique n'est utilisé dans ces méthodes, [44] et ces méthodes ne nécessitent pas de pression, température, etc...

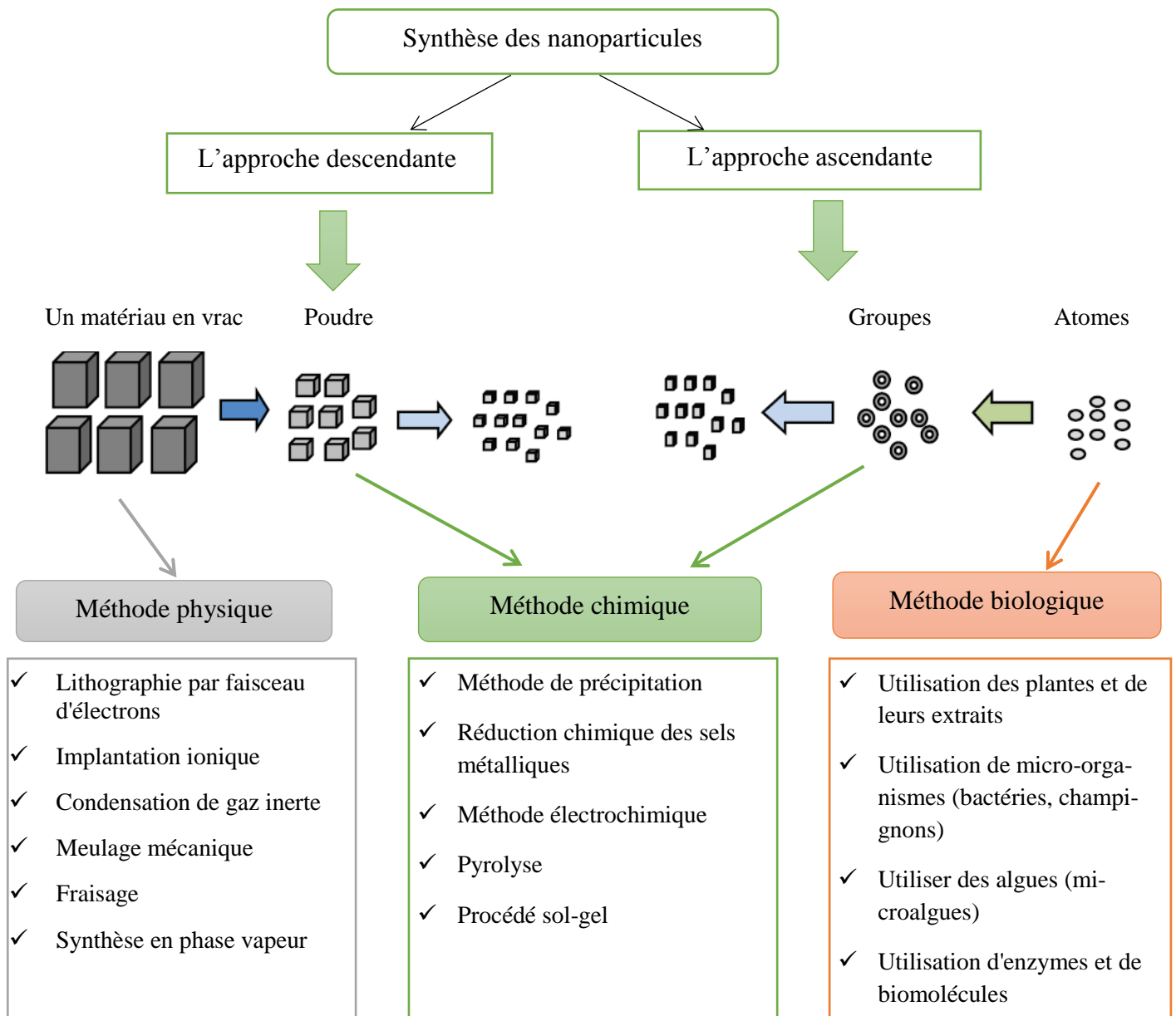
*Nanoparticule d'argent*



**Figure II.6 :** les bio réducteurs utilisés dans la méthode biologique pour la synthèse des nanoparticules d'argent

**Avantages des méthodes biologiques pour la préparation d'Ag NPs**

- La méthode est sûr et n'utilise ni ne produit des substances toxiques ou nocives pour l'environnement.
- Faible coût de préparation en raison de la disponibilité de la plupart des matériaux.
- Il n'est pas nécessaire d'utiliser des températures et des pressions élevées.
- La facilité de la méthode ne nécessite pas des techniques compliquées.



**Figure II.7 :** représentation schématique des différentes méthodes de synthèse des AgNPs [53]

## II.5. Mécanisme de formation de nanoparticules d'argent :

Le processus de formation des nanoparticules en solution est si complexe que la formation de nanoparticules métalliques dans les plantes et les extraits des plantes se déroule en trois étapes principales et de nombreux paramètres peuvent interférer avec la formation des nanoparticules : température, concentration et nature des réactifs. Et agent réducteur. [54]

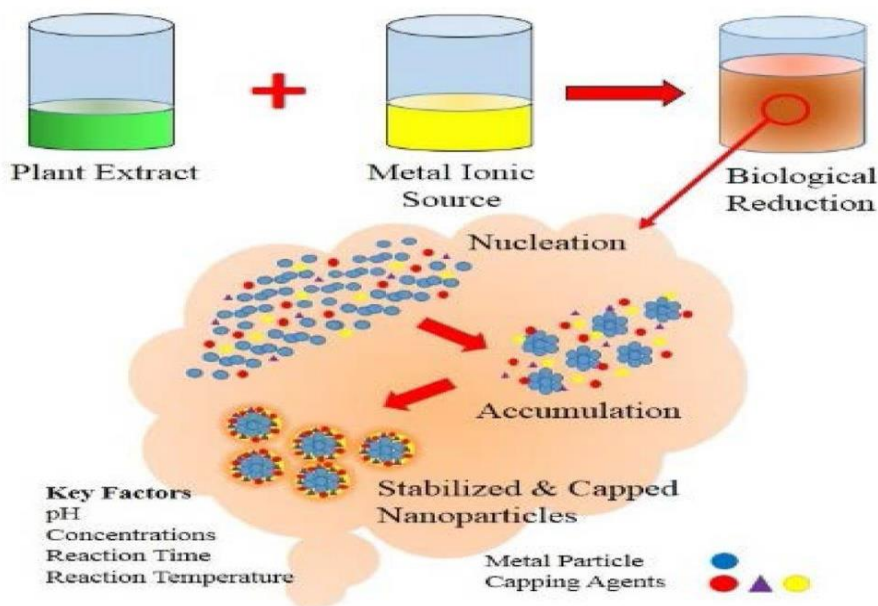


Figure II.8 : synthèse verte des nanoparticules à partir d'extrait de plante [55]

### II.5.1. Nucléation :

C'est une étape d'activation au cours de laquelle se produit la réduction des ions métalliques et la nucléation des atomes métalliques réducteurs.

Le précurseur métallique est dissous puis réduit pour donner les atomes métalliques de valence nulle. Une sursaturation élevée d'atomes insolubles crée de petits agrégats par collision. Cette deuxième étape est appelée la nucléation : elle correspond à la formation in situ d'une nouvelle phase solide thermodynamiquement stable au sein de la phase liquide. La formation de noyaux après un certain laps de temps entraîne une diminution de la sursaturation. Ainsi, la vitesse de nucléation diminue et le nombre de particules dans le système devient constant.

### II.5.2. La croissance :

Les nuclei ayant atteint un rayon critique vont pouvoir croître par consommation des monomères se trouvant en solution. Cette étape de croissance est thermodynamiquement favorisée. Plus la concentration en atomes est importante plus les particules vont croître rapidement.

### II.5.3. Le murissement :

Le murissement Au fur et à mesure que la réaction se poursuit, le taux de sursaturation continu à diminuer. La croissance ne peut plus se poursuivre, et une dernière étape peut intervenir : c'est le phénomène de murissement d'Oswald. Il s'agit de l'inter diffusion des atomes des plus petites particules vers les plus grosses.

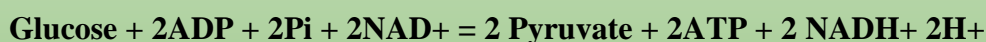
### II.5.4 : Mécanisme possible impliqué dans la synthèse verte des AgNPs :

Les NP sont synthétisés à la fois à l'intérieur des plantes vivantes et dans la biomasse séchée, plusieurs chercheurs ont proposé diverses approches mécanistes pour comprendre la voie cachée derrière la synthèse verte des AgNPs. Le mécanisme préliminaire implique l'accumulation de nanoparticules après la réduction de l'ion métallique et le processus de réduction est médié par certains agents réducteurs ou implique certaines enzymes qui sont liées à la paroi cellulaire. [56] ont proposé, pour la production d'AgNPs sphériques en utilisant le champignon, l'activation, la nucléation et le processus de réduction impliquent dans le mécanisme. [57] ont démontré que lors de la synthèse verte des AgNPs lorsque l'extrait de feuille est ajouté à l'AgNO<sub>3</sub> aqueux, l'ionisation se déroule comme suit :



Les ions argent agissent comme des espèces accepteuses d'électrons, les biomolécules végétales agissent comme des espèces donneuses d'électrons. Les pigments de chlorophylle agissent comme un agent stabilisant entre la molécule donneuse et accepteuse. Ces biomolécules agissent comme un agent réducteur principal pour la réduction de l'ion argent en métal. Les réactions d'oxydation et de réduction sont effectuées par différents agents réducteurs et oxydants. L'interaction du groupe -CH<sub>3</sub> avec l'extrait de présent en ion métallique joue un rôle majeur dans la formation et la stabilisation des NP [58]

Apparemment, les produits biosynthétiques ou les cofacteurs réduits jouent un rôle important dans la réduction des sels respectifs pour former des NP. La possibilité de réduction de Ag<sup>+</sup> en argent peut être illustrée en conséquence du mécanisme connu sous le nom de glycolyse comme suit :



---

Au cours de la glycolyse, la formation de NAD (nicotinamide adénine dinucléotide) se produit, qui est une co-enzyme présente dans toutes les cellules vivantes. Le NAD est un agent oxydant qui accepte les électrons d'autres molécules et s'est réduit [59], cela aurait pu conduire à la conversion des ions argent en AgNPs. Les plantes contiennent un réseau complexe de métabolites antioxydants.

La synthèse verte des NP métalliques, les étapes de réduction, de coiffage et de stabilisation se produisent et les biomolécules telles que les enzymes, les protéines, les sucres, etc. En raison de la présence dans l'extrait végétal rapporté [60]. Le mécanisme impliqué dans chaque plante peut varier avec les types de phytoconstituant, cependant, la réduction des ions est le mécanisme majeur qui a lieu. Bien que le mécanisme exact impliqué dans la production d'AgNPs par les plantes ne soit pas entièrement déchiffré. On pense que les biomolécules sont directement impliquées dans la réduction des ions et la formation des AgNPs [61]. Les mécanismes biochimiques et moléculaires de la synthèse verte des AgNPs restent à découvrir, par exemple les mécanismes biochimiques ont souligné l'importance des phytoconstituants qui peuvent médier la synthèse verte [62]. Un mécanisme hypothétique de synthèse verte des AgNPs à l'aide d'extraits de plantes, Le mécanisme de base pour la bio réduction des ions argent a été supposé impliquer d'abord le piégeage des ions argent à la surface des protéines dans l'extrait au moyen d'interactions électrostatiques, c'est-à-dire, processus de reconnaissance. Les ions argent sont alors réduits par les protéines, entraînent des changements dans leur structure secondaire et la formation de noyaux d'argent, par conséquent les noyaux d'argent se développent par la réduction des ions argent et leur agrégation au niveau des noyaux [63]. Bien que les aspects mécanistes de la formation des NPs dans les plantes ne soient pas encore pleinement explorés, ils pourraient être quelque peu associés aux concepts de phytoremédiation dans les plantes [64].

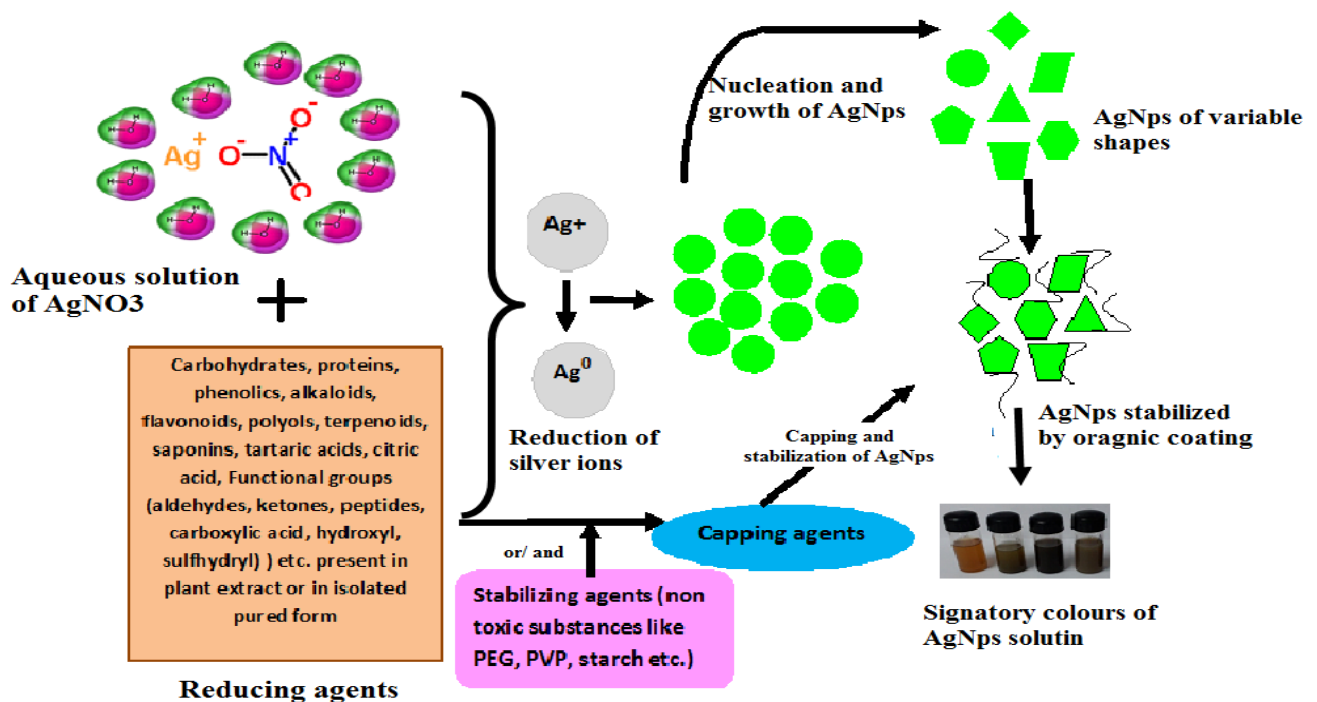


Figure II.9 : un mécanisme hypothétique de synthèse verte d AgNPs a l'aide d'extrait végétal [65]

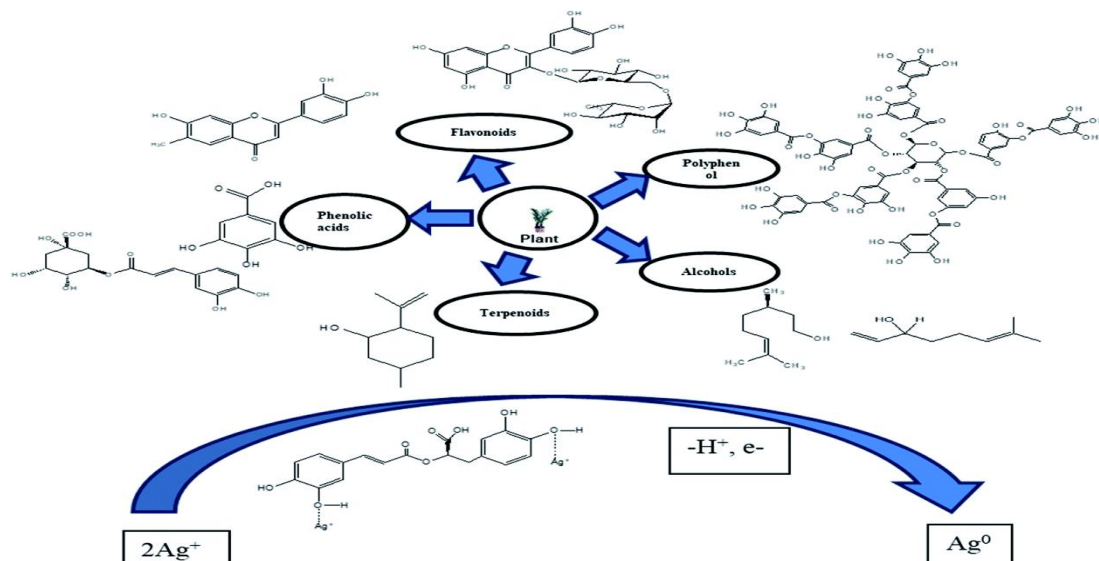
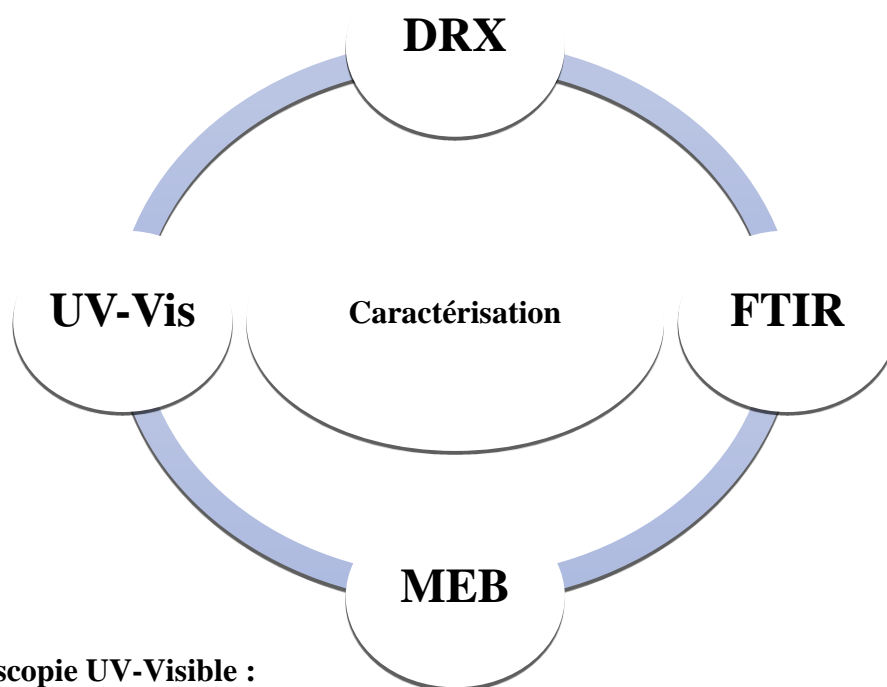


Figure II.10 : mécanisme de synthèse des AgNPs à partir de sources végétales. [65]

## II.6. Les caractérisations des nanoparticules d'argent :

La partie la plus importante de la recherche sur les NPs est la caractérisation qui est généralement basée sur la taille, la morphologie, la cristallinité, la charge et la composition des NPs. Les techniques les plus utilisées pour la caractérisation des NPs comprennent généralement la spectroscopie ultraviolette visible (UV-Vis), Microscopie électronique à balayage (MEB), la Diffraction des rayons X (DRX), la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR).



### II.6.1. Spectroscopie UV-Visible :

La spectrophotométrie est une méthode analytique quantitative qui consiste à mesurer l'absorbance (ou densité optique) d'une substance chimique en solution limpide, en utilisant une lumière sensiblement monochromatique. On peut ainsi, par exemple, déterminer la concentration d'une substance en mesurant l'absorption relative de la lumière par rapport à celle d'une substance de concentration connue. Cette méthode d'analyse est intéressante car elle permet de travailler sur de faibles quantités de substance, de manière non destructrice vis-à-vis de l'échantillon. Elle s'applique à un très grand nombre de dosages. On peut aussi l'utiliser pour déterminer la concentration précise d'un composé absorbant à partir de son coefficient d'extinction molaire, notamment pour les acides nucléiques et les protéines.

Le principe de la spectrométrie d'absorption dans l'ultraviolet et le visible repose sur l'absorption du rayonnement par les molécules dans le domaine allant de (190 à 800 nm), ce qui correspond à l'ultraviolet (190-400 nm) et au visible (400-800 nm).

#### ➤ Appareillage

Le spectrophotomètre utilisé dans cette étude est du type Jasco V-670 en mode transmission et absorption.

### II.6.2. Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) :

La spectroscopie FTIR est une technique utilisée pour obtenir le spectre d'absorption ou d'émission infrarouge d'un solide, d'un liquide ou d'un gaz. Et cela dépend de l'analyse des schémas de vibration des particules : les schémas d'allongement et de déformation. Les fréquences de vibration dépendent des atomes impliqués et du type de liaison considéré. Ainsi, les schémas de vibration et la fréquence associée permettent de déterminer différentes liaisons chimiques.

Cette technique éclaire un faisceau contenant plusieurs fréquences de lumière en même temps et mesure la quantité de ce faisceau émis par l'échantillon. Ensuite, le faisceau est modifié pour contenir un ensemble différent de fréquences, résultant en un deuxième point de données. Ce processus est répété plusieurs fois. Les données sont ensuite traitées à l'aide d'un algorithme commun appelé transformée de Fourier pour dériver l'absorbance à chaque longueur d'onde. Cette technique permet de découvrir les groupes fonctionnels associés aux NPs

### **II.6.3. Microscopie électronique à balayage (MEB) :**

La microscopie électronique à balayage (MEB) ou Scanning Electron Microscopie (SEM) en anglais est une technique de microscopie électronique capable de produire des images en haute résolution de la surface d'un échantillon en utilisant le principe des interactions électrons-matière.

C'est l'une des techniques les plus utilisées pour caractériser les nanoparticules. Le SEM a une résolution de quelques nanomètres et les instruments peuvent fonctionner pour l'amplification. Le SEM produit non seulement des informations topographiques comme les microscopes optiques, mais nous donne également des informations sur la composition chimique à proximité de la surface. [66]

Dans un microscope à balayage (SEM), la surface de l'échantillon est balayée avec un faisceau d'électrons finement focalisé pour produire une image de cette surface. Les électrons qui frappent la surface sont réfléchis et détectés par un écran fluorescent ou un écran. Environ quelques centaines de milliers, ce qui permet théoriquement la détection d'objets de quelques nanomètres de taille.

### **II.6.4. La diffraction des rayons X (RDX) :**

La cristallographie aux rayons X ou diffractométrie de rayons X est une technique d'analyse fondée sur la diffraction des rayons X sur la matière. La diffractométrie de rayons X est une méthode d'analyse physico-chimique. Elle ne fonctionne que sur la matière cristallisée (Minéraux, métaux, céramiques). Par contre, elle permet de reconnaître des produits ayant la même composition chimique brute, mais une forme de cristallisation différente.

## **II.6. Application des nanoparticules d'argent :**

La synthèse verte des AgNPs à l'aide de plantes et leur application dans le domaine allié est devenue la poursuite préférée de tous les scientifiques, y compris les biologistes, les chimistes et les ingénieurs. Les AgNPs sont utilisés dans le développement de nouvelles technologies dans les domaines de l'électronique, de la science des matériaux et de la médecine, et en raison de leurs vastes applications dans divers domaines, de plus en plus de recherches sur les AgNPs sont menées par des scientifiques du

monde entier [67]. De nos jours, les nanomatériaux, en particulier les nanoparticules d'argent, sont régulièrement utilisés comme agent antimicrobien dans les domaines médical et environnemental.

Les AgNPs ont été largement utilisés comme agents antibactériens dans l'industrie de la santé, le stockage des aliments, les revêtements textiles et en certain nombre d'applications environnementales. Il est important de noter que malgré des décennies d'utilisation, les preuves de la toxicité de l'argent ne sont toujours pas claires. Les produits fabriqués avec des AgNPs ont été approuvés par une variété d'organismes accrédités, y compris la FDA (Food and Drug Administration) américaine, l'EPA (Agence de protection de l'environnement) des États-Unis et le SIAA (Society of Industrial-Technology for Anti-microbial Articles) du Japon, et en Corée. [68] De plus, les AgNPs sont incorporés dans des capteurs à l'échelle nanométrique en raison de leurs propriétés électrochimiques, qui peuvent fournir de temps de réponse plus rapidement et limites de détection minimales. Les AgNPs sont utilisés comme agents antibactériens, allant de la désinfection des dispositifs médicaux et des appareils ménagers au traitement de l'eau. L'industrie textile a été encouragée à utiliser des AgNPs dans divers tissus textiles. Des fibres de nano composite d'argent avec des AgNPs incorporés dans le tissu ont été préparées dans ce sens. [69] Les fibres de coton avec des AgNPs sont hautement antibactériennes contre Escherichia coli.

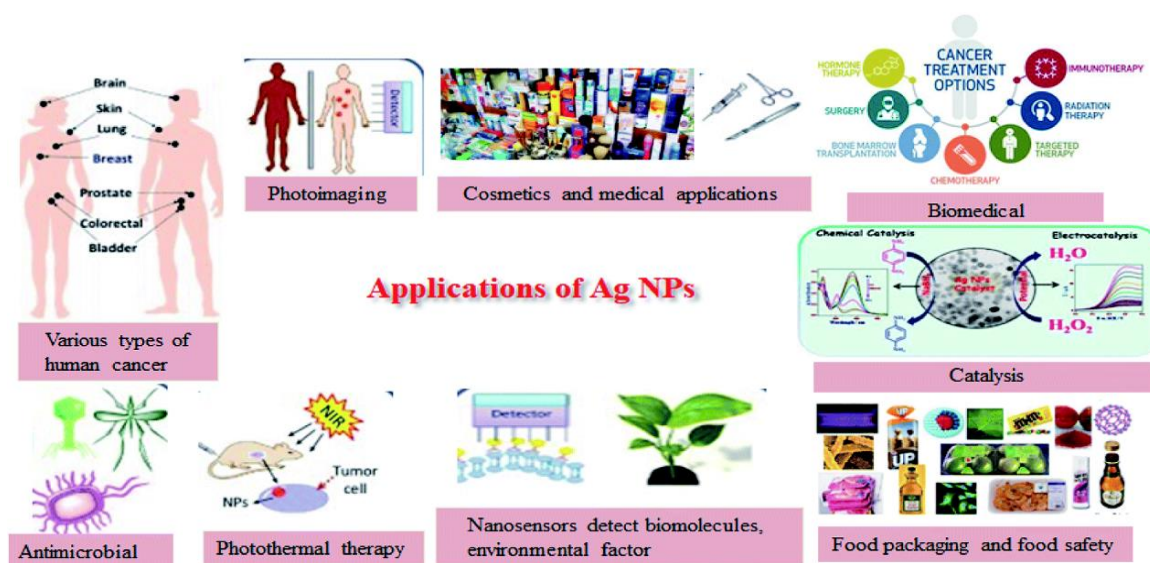


Figure II.11 : diverses applications des AgNPs. [70]

Chapitre 03 :

# Matériel et méthodes



Ce chapitre est consacré à la description des différents matériaux et produits chimiques expérimentaux utilisés, détaillent les méthodes et techniques expérimentales employés tout au long de ce travail.

### III. Introduction :

Notre travail consiste à synthétiser des nanoparticules d'argent (NPsAg) par la méthode de bioréduction des ions d'argent par les biomolécules de l'extrait aqueux de la plante *Salvia verbinaca*. Ainsi, nous tenterons d'examiner le rôle des nanoparticules synthétisés dans l'amélioration de l'activité biologique, notamment l'activité antibactérienne, vis-à-vis l'extrait aqueux et méthanolique de notre plante. La synthèse des nanoparticules d'argent AgNPs a été étudiée pour démontrer leur effet antibactérien à l'aide d'extrait de feuille de *Salvia verbinaca*, et après évaluation qualitative des composants phytochimiques actifs qui agissent comme des substances bioactives antimicrobiennes et antioxydants. La recherche a trouvé des résultats, dont le plus important est que les feuilles de *Salvia verbinaca* sont une excellente source de production de nanoparticules d'argent, faciles à appliquer et à former, respectueuses de l'environnement et leurs composants sont sans danger pour l'environnement. La formation de nanoparticules d'argent a été confirmée par le changement la couleur de la solution vers le brun rougeâtre dans les 30 minutes, et L'aspect morphologique, la disposition des nanoparticules, la taille et la densité ont été examinés avec les techniques UV-Vis, DRX et FTIR, MEB.



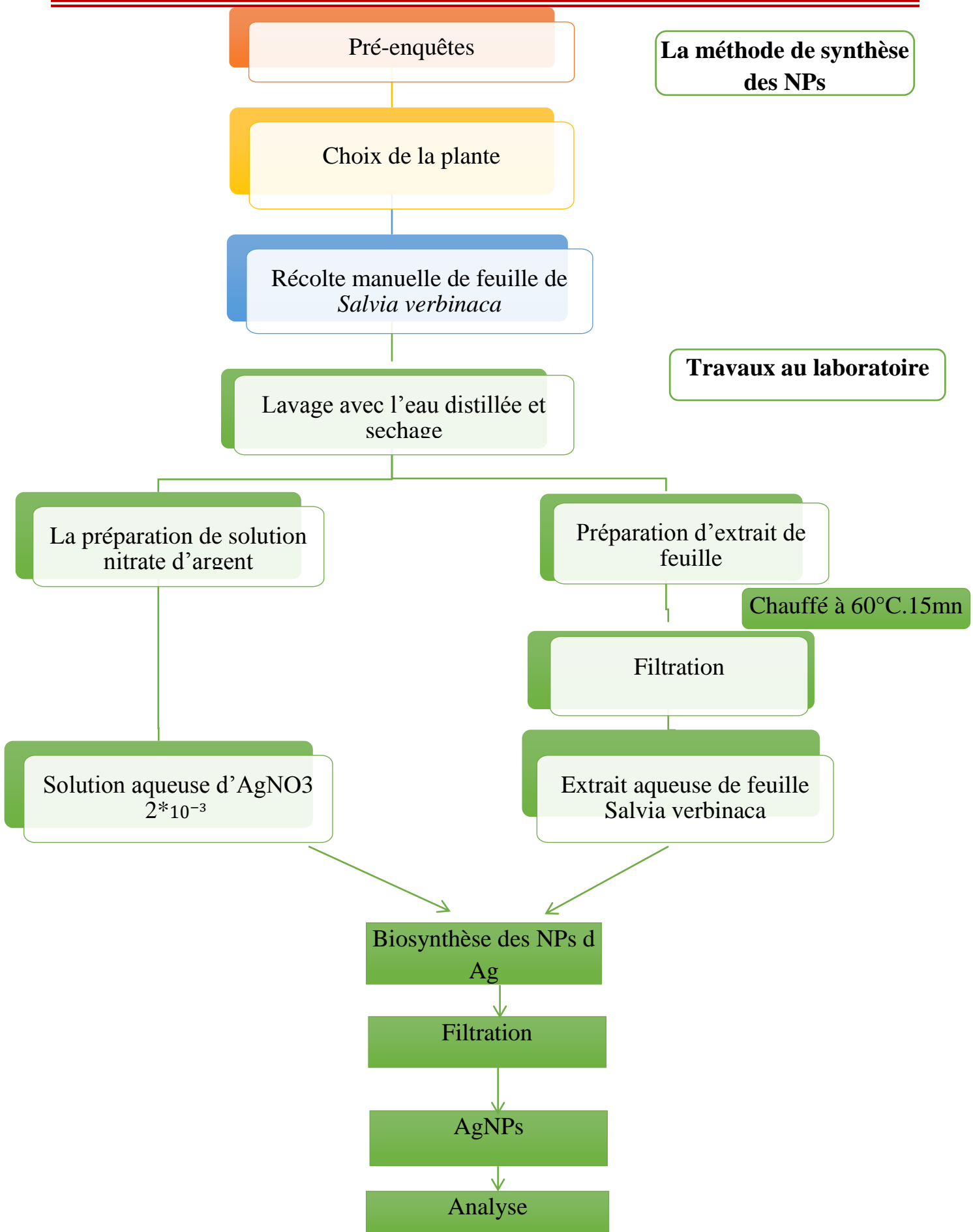


Figure III.12 : la méthodologie de l'extraction et la caractérisation de la plante de *Salvia verbinaca*

### III. Matériels et réactifs

#### III.1. Matériel végéta

##### III.1.1. Récolte et identification du matériel végétal :

Les parties aériennes de *Salvia verbinaca* illustrées dans les figures ci-dessous (Figure III.13), ont été récoltées au mois de 12 avril 2021 dans la région de Hawran de la commune Hammam-Dalaa, située à 50 Km de la wilaya de Msila.



Figure III.13 : Photographies des parties aériennes de *Salvia verbinaca*

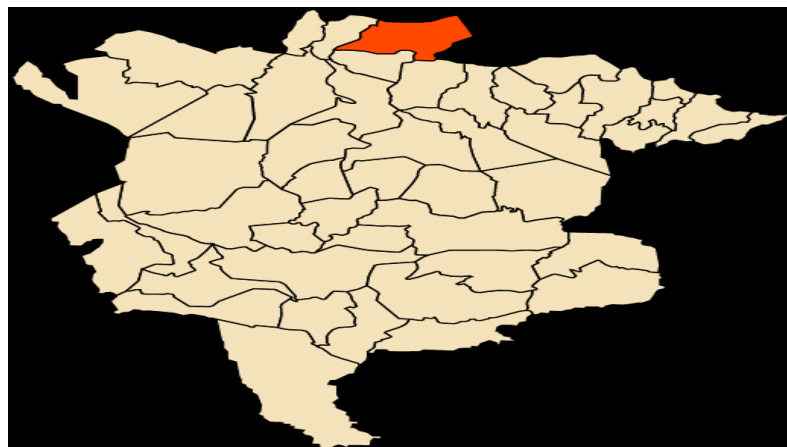


Figure III.14 : localisation géographique du lieu de récolte de *S. Verbinaca*.

## III.2. Montage et protocole général de synthèse

### III.2.1. Préparation de l'extrait aqueuse des feuilles des *Salvia verbinaca*

Tout d'abord, les feuilles de la plante sont bien lavées à l'eau du robinet, puis à l'eau distillée, puis laissez-les bien sécher pendant quelques jours à température ambiante.

L'extrait aqueux a été préparé en chauffant 10 g de biomasse végétale dans 200 ml d'eau distillée à 60 ° C pendant 15 minutes, et filtré sur papier filtre pour éliminer toutes les particules et obtenir des solutions claires, qui ont été séchées dans une étuve à 40 ° C. Afin d'obtenir l'extrait sec après évaporation complète de *Salvia verbinaca*.

### III.2.2. Détermination des rendements d'extraction

Le rendement d'extraction dépend du solvant et de la méthode d'extraction, du temps de macération et du volume du solvant [71]. Le rendement est le rapport de la quantité de composés phénoliques recueillie après extraction par les solvants sur la quantité de la biomasse.

Il est déterminé selon Owen et Johns (1999) par la formule suivante : [72]

$$Rd (\%) = [P1 - P0 / EI] * 100$$

Rd : Rendement.

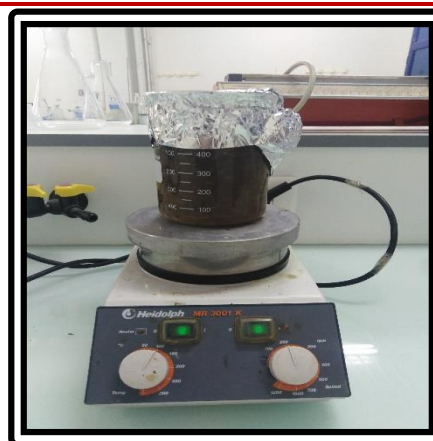
P0 : Poids de la fiole vide (g)

P1 : Poids de l'extrait sec avec la fiole après évaporation du solvant (g)

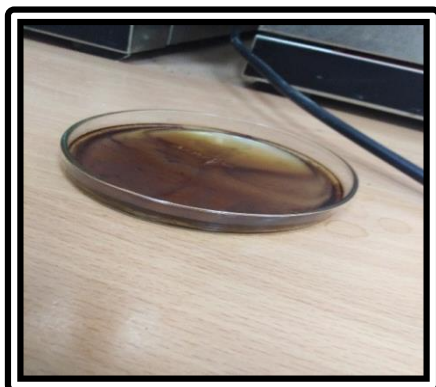
EI : Poids de l'échantillon (poudre) en gramme (g)



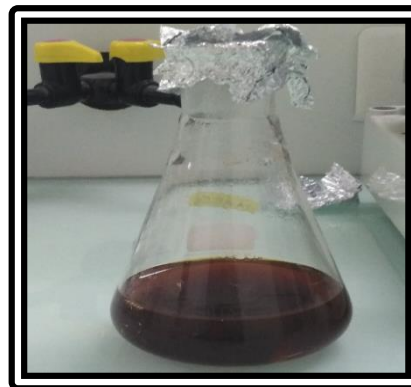
Plante lavée et séchées



Préparation de l'extrait



Extraits séchés dans une étuve



Extrait

### III.2.3. Biosynthèse des nanoparticules d'argent :

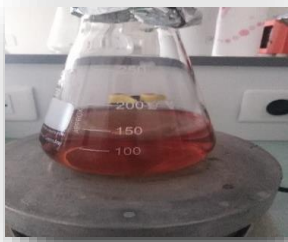
Un extrait aqueux de plant *Salvia verbinaca* a été utilisé pour la synthèse des AgNPs, et d'un autre côté, Une solution aqueuse d'une couleur transparente a été préparée avec d'AgNO<sub>3</sub> agitée avec l'eau distillé à l'aide d'un mélangeur magnétique jusqu'à ce que la totalité du nitrate soit dissoute.

Brièvement, l'extrait aqueux 20 ml a été ajouté goutte à goutte à 90 ml de solution de nitrate d'argent 2 mM. Le mélange réactionnel a été maintenu à 60 °C pendant 15 minutes sous agitation mécanique constante. La solution incolore de nitrate d'argent est passée au brun foncé, indiquant la formation d'AgNPs. Après la synthèse des AgNPs, la solution contenant des nanoparticules a été centrifugée à 4 500 tr / min pendant 30 min pour séparer les AgNPs, Le culot a été lavé par de l'eau distillée plusieurs fois pour éliminer les impuretés et de l'éthanol à 90% pour obtenir une poudre d'Ag NPs pure.

➤ Préparation de l'extrait de la plante :



Chauffage à reflux à une température entre 60 et 70 °C pendant 15 mn. Et filtre



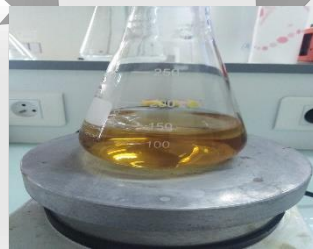
20 ml d'extrait

➤ Préparation d'une solution de l'AgNO<sub>3</sub> :

Dissoute dans l'eau distillée 2Mm AgNO<sub>3</sub>



90ml de solution AgNO<sub>3</sub>



Changement de couleur après l'addition de l'extrait des feuilles du *Salvia verbinaca* avec la solution d'AgNO<sub>3</sub> de 2 mM indique la formation des nanoparticules d'argent



Centrifugation et lavage



AgNPs

**Figure III.15 :** Schéma illustrant le protocole de préparation de nanoparticules d'argent par extrait de feuilles du *Salvia verbinaca*

### III.3. Extraction des composés phénoliques

#### a) Principe d'extraction

La rupture des tissus végétaux et la diffusion a pour but de libérer les polyphénols de la matrice végétale.

#### b) Préparation des extraits

3g de la poudre des feuilles de *Salvia verbinaca* sont extraits au moyen de 150 ml de méthanol dans trois jour (macération) à température ambiante (25 °C) et à l'abri de la lumière puis filtrés avec du papier filtre, et ajout dans évaporateur rotatif pour récupérer le méthanol.

Les filtrats sont mis dans des béchers, ensuite, séchés à l'aide d'une étuve à 40 °C jusqu'à l'obtention d'un poids stable.

#### III.3.1. Dosage des composés phénoliques

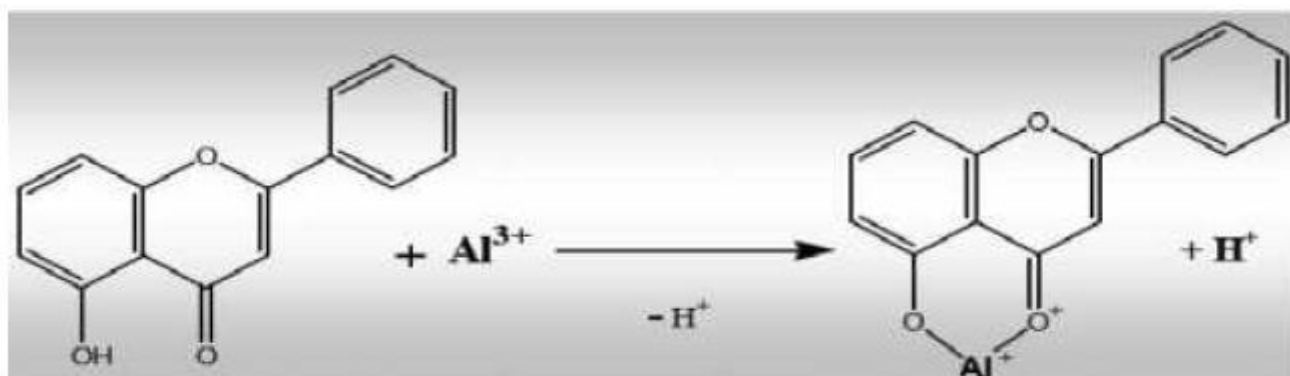
##### III.3.1.1. Dosage des poly phénols totaux :

Le dosage des polyphénols totaux est effectué par le test de Folin-Ciocalteu [73]. Le réactif Folin-Ciocalteu est constitué par un mélange d'acide phosphotungstique (H<sub>3</sub>PW<sub>12</sub>O<sub>40</sub>) et d'acide phosphomolybdique (H<sub>3</sub>PMO<sub>12</sub>O<sub>40</sub>). Il est réduit, lors de l'oxydation des phénols en un mélange d'oxydes bleus de tungstène et de molybdène. La coloration produite dont l'absorption est maximale à environ 760-765 nm est proportionnelle à la quantité de polyphénols présents dans les extraits végétaux.

Brièvement, 1 ml de Folin-Ciocalteu (10 %) est ajouté à 200 µl de chaque extrait à une concentration de 2 mg/ml ou à 200 µl de DMSO utilisé pour dissoudre les extraits (blanc). Après avoir agité et incubé durant 4 min, on ajoute 800 µl de carbonate de Sodium (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) à une concentration de 75 g/l, puis on incube durant 2h à température ambiante et à l'abri de la lumière. L'absorbance est ensuite mesurée  $\lambda = 765\text{nm}$  par un spectrophotomètre (Shimadzu UVmini-1240). La courbe d'étalonnage de l'acide gallique (dissout dans le méthanol) est préparée par 5 concentrations défèrent (10, 20, 40, 80 et 100 µg/ml). Les concentrations des polyphénols dans les extraits sont calculées et exprimées en µg d'équivalent d'acide gallique par mg d'extraction sec (µg/mg E).

### III.3.1.2. Dosage des flavonoïdes :

Le dosage des flavonoïdes est effectué par la méthode de trichlorure d'Aluminium ( $AlCl_3$ ) [74]. En effet, les flavonoïdes possèdent un groupement hydroxyle (OH) libre en position 5, qui est susceptible de donner avec le groupement CO un complexe coloré avec le chlorure d'aluminium. Les flavonoïdes forment des complexes jaunâtres par chélation des métaux (fer et aluminium), ceci traduit le fait que le métal (Al) perd deux électrons pour s'unir à deux atomes d'oxygène de la molécule phénolique agissant comme donneur d'électrons.



**Figure III.16 :** Mécanisme de réaction de chlorure d'aluminium avec les flavonoïdes.

On ajoute 1ml d' $AlCl_3$  ; (2%) à 1 ml de chaque solution des extraits préparés à des concentrations différentes (2 et 4 mg/ml) et dissouts dans le DMSO. Après incubation à l'obscurité durant 10 min. l'absorbance est mesurée à  $\lambda = 430$  nm. Le calcul de la concentration des flavonoïdes dans les extraits se fait à l'aide d'une gamme d'étalonnage établie avec la quercétine (dissoute dans méthanol) a déférents concentration (5, 10, 20, 40 et 80  $\mu$ g/ml), elle est exprimée en  $\mu$ g d'équivalent de la quercétine par mg d'extrait sec ( $\mu$ g EQ/mg E)

### III.4. Caractérisation des nanoparticules d'argent

Il existe plusieurs manières de caractériser les nanoparticules, Le premier et le plus pratique est le changement de couleur de la solution.

- ✚ Les Ag NPs biosynthétisés ont été caractérisés par spectroscopie par la bande de résonance plasmonique de surface en utilisant une **spectroscopie UV-Visible** :

Les mesures spectrophotométriques ont été effectuées à l'aide d'un spectrophotomètre à double faisceau UV-visible (Thermo) pour les deux extraits préparés (AgNPs et extrait) en utilisant une cuve en quartz de 10 mm de trajet optique. L'enceinte du spectrophotomètre est

Thermostatée à 25°C. L'analyse est effectuée entre 200 et 800 nm. L'appareil est relié à un microordinateur. Le logiciel UV-Probe, permet l'enregistrement et la visualisation des spectres des échantillons analysés.

### **Spectroscopie Infrarouge (FTIR) :**

- ✚ L'infrarouge est une méthode très utilisée pour la caractérisation et l'identification des composés ou de leurs groupements fonctionnels (liaisons chimiques) dans un mélange d'extraits. L'identification des liaisons se fait à l'aide du nombre d'onde correspondant et la détermination de groupe caractéristique par un spectre d'un composé inconnu qui sera identifié par comparaison à la bibliothèque des composés connus. Et Cette technique a été utilisée afin d'identifier les groupements fonctionnels présentes dans un échantillon ainsi que les liaisons développées après la formation des nanoparticules d'argent.

### **Diffraction rayons X (DRX) :**

- ✚ La DRX est une méthode d'analyse physicochimique qualitative et quantitative permet la détermination des structures et des phases cristallines d'un solide, les orientations privilégiées d'un cristal et d'autres paramètres structuraux tels que la taille moyenne de cristallites.

### **Microscopie électronique à balayage (MEB) :**

- ✚ La microscopie électronique à balayage (MEB) est actuellement la méthode la plus utilisée pour observer la topographie ou la morphologie d'une surface avec une profondeur de champ beaucoup plus importante.

Son principe consiste à balayer la surface d'un échantillon par un faisceau d'électrons finement localisé pour en collecter, par détecteurs respectifs, les électrons secondaires et les électrons rétrodiffusés.

## **III.5. Activité biologique**

L'objectif de notre travail est d'optimiser les propriétés antibactériennes de nos catalyseurs nanostructures par l'argent. Pour cela plusieurs tests ont été effectués.

### **II.5.1. Activité antibactérienne**

L'évaluation l'activité antimicrobienne de AgNPs et de l'extrait aqueuse a été effectué par la méthode de diffusion en milieu gélosé (antibiogramme) [75]. Cette technique repose sur l'apparition d'une zone d'inhibition autour du disque contenant l'extrait de la plante et AgNPs et AgNO<sub>3</sub> [76], dans le milieu de culture contre trois souches bactériennes :

- *Escherichia coli*.

- Staphylococcus aureus.
- Bacillus subtilis

Les souches microbiennes identifiées précédemment sont conservées dans des boîtes contenant de la gélose nutritive à 4°C.

Les germes qui ont été choisis sont les suivants :

➤ **Des Bactéries à gram positif :**

- Staphylococcus aureus ATCC 25923.
- Bacillus subtilis ATCC9372

➤ **Des Bactéries à gram négatif :**

- Escherichia coli ATCC 25922.

✓ **Le repiquage**

Le repiquage des souches microbiennes a pour objectif l'obtention d'une culture pure et jeune. Elle est réalisée par la méthode des stries. Les souches sont alors repiquées à partir des boîtes de conservation sur un nouveau milieu gélose nutritive. Les cultures sont incubées à l'étuve à 37°C pendant 18 à 24 h.

✓ **Préparation des dilutions des extraits**

D'extrait aqueux de Salvia verbinaca ont été préparé par DMSO [77]. Et en ajoute dans le disque le poudre de AgNPs et le Agno3 (20 mg)

✓ **Préparation des disques**

Le principe de cette méthode est d'utiliser des disques de papier Whitman n°3 de 9 mm de diamètre. Ensuite ils sont mis dans un tube à essai, et stérilisés à l'autoclave (120 C° pendant 15 min) et conserver jusqu'à l'utilisation.

✓ **Préparation le milieu de la culture**

On met la stérilisation et la surfusion de milieu de culture (Muller Hinton et milieu Sabord pour la levure) à l'aide d'autoclave pendant 15 min à 121°C, puis on le verser dans les boîtes de Pétri à 4 mm de hauteur et on laisse quelques minutes jusqu'à la solidification [78].

### ✓ Préparation de l'inoculum

- A partir d'une culture pure de 18 h des souches microbienne à tester sur milieu d'isolement, racler par une pipette Pasteur, quelques colonies bien isolées et parfaitement identiques ;
- Décharger l'anse dans 10 ml d'eau physiologique stérile à 0.9 %, bien homogénéiser la suspension bactérienne, son opacité doit être équivalente à 0.5 Macfarlane (D.O de 0.15 lue à 625 nm) [79].
- L'ensemencement doit se faire en moins en quelques min après la préparation de l'inoculum [80].

### ➤ Ensemencement

- La culture se fait dans un milieu stérile en présence de bec benzène ;
- Tremper un écouvillon stérile dans la suspension microbienne (il évite la contamination du manipulateur et de la paillasse) ;
- L'essorer en le pressant fermement, en tournant sur la paroi interne du tube, afin de le décharger au maximum ;
- Frotter l'écouvillon sur la totalité de la surface gélosée, sèche, de haut en bas
- Répéter l'opération deux fois, en tournant la boîte de Pétrie de 60° à chaque fois, sans oublier de faire pivoter l'écouvillon sur lui-même. Finir l'ensemencement en passant l'écouvillon sur la périphérie de la gélose [81].

### ➤ Application des disques d'antibiogramme

En effet de chaque dilution on prélève 10 µl et on la met dans les disques. (Dans chaque boîte quatre 4 disques ont été réalisées à différentes concentrations des extraits, les disques doivent être espacés de 24 mm, centre à centre). La boîte de contrôle, réalisée pour l'expérience, est une boîte ensemencée contenu 3 disques, deux contrôle positif IPM10/CIP5 et l'autre de contrôle négatif par DMSO [82].

Il faut Presser chaque disque à l'aide d'une pince bactériologique stérile pour s'assurer de son application. Une fois appliqué, le disque ne doit pas être déplacé [83].

### ➤ Incubation et Lecture

Après incubation 18-24 heures à 37°C pour les souches bactériennes et 48 h pour le champignon dans l'étuve, Les résultats sont observés, en mesurant les diamètres d'inhibition [84].

Tableau III.3 : Généralités sur les souches bactériennes utilisées.

Les Souches Testées	Caractères Bactériologiques	Habitats	Pouvoir Pathogène
Escherichia coli ATCC 25922.	Bactérie Gram –	-Le tube digestif	-Septicémie méningite du nourrisson, de plaies opératoires et gastro-entérites -Douleurs abdominales et des diarrhées sanglantes.
Bacillus subtilis ATCC9372	Bactérie Gram +	-Le sol	
Staphylococcus aureus ATCC 25923.	Bactérie Gram +	- Les fosses nasales - La gorge - Le tube digestif	-Infection hospitalière. -Responsable des abcès, des plaies, des septicémies, de pneumonie et de l'intoxication alimentaire. -Infections mortelles chez l'homme.

Chapitre 04 :

# Résulta et discussion



## IV.1. L'extraction :

L'extraction par décoction est une méthode d'extraction des principes actifs et/ou des arômes d'une préparation généralement végétale par dissolution dans l'eau en ébullition, et procédure importante qui préserve les structures des métabolites d'origine végétale. Par conséquent, elle est largement employée pour l'évaluation de la composition chimique des extraits bruts de plante, mais aussi pour estimer les teneurs des certains constituants spécifiques solubles dans un solvant particulier. [85]

Les rendements d'extraits sont définis comme étant les rapports de la quantité des substances végétales extraites sur la quantité de matière végétale utilisée, ils sont exprimés en pourcentage (%). *S. Verbinaca* 10.94%, et le rendement.

### ✓ Le rendement d'extraction méthanoïque :

La méthode d'extraction par macération en utilisant le méthanol pur (99%) comme solvant d'extraction, et l'extraction hydro-méthanoïque des polyphénols à partir les feuilles *S. Verbinaca* a permis d'obtenir des extraits riches aux différents composants Biochimiques.

Le taux d'extraction méthanoïque est noté pour les feuilles (7.43%). L'extraction des composés phénoliques à partir de la matière végétale est influencée par leur nature chimique, la variété, la méthode d'extraction et les dimensions des particules de l'échantillon.

**Tableau IV.4 :** le rendement d'extrait de *Salvia verbinaca*

<i>Rendement de l'extraction (en %)</i>	
<i>EA</i>	<i>EM</i>
<i>10.94</i>	<i>7.43</i>

## IV.2. Les dosages des composés phénolique :

Les composés phénoliques jouent un rôle très important dans la stabilité oxydative et l'activité antioxydante. Il fait actuellement l'objet de plusieurs études en raison de son effet bénéfique sur la santé.

**Tableau IV.5** : Les composés phénoliques d'extrait de *Salvia verbinaca*.

Les composés phénoliques		
	Polyphénol totaux	Flavonoïde
EM	25.32 µg EAG/mg Esv	51.42 µg EAQ/mg Esv

Toutes les valeurs sont exprimées par la moyenne des trois essais (n=3)

#### IV.2.1. La teneur des polyphénols :

Les quantités correspondantes des polyphénols totaux (PPT) ont été rapportées en microgrammes équivalents à l'acide gallique par milligramme d'extrait (µg EAG / mg d'extrait). La méthode est basée sur l'équation de régression linéaire de la courbe de titrage à l'aide d'acide gallique, basée sur les valeurs d'absorption de la solution d'Esv réalisées par la méthode spectrophotométrique Folin-Ciocalteu, et sur une comparaison avec des étalons équivalents pour l'acide gallique (Annexe I).

Nous avons évalué les polyphénols végétaux à 25,32 µg EAG/mg Esv, ce qui est une bonne quantité pour la région et le climat. D'autres dans la même plante ont enregistré des teneurs comprises entre 55,49 mg et 136,33 mg EAG/g EAG [86] dans les extraits méthanoliques de la partie aérienne de *S. verbinaca* collectés dans différentes régions. Ils ont attribué cette différence de teneur totale en phénol aux différences des conditions de croissance et des génotypes, qui influencent l'accumulation de ces composés en synthétisant différentes quantités et/ou différents types des phénols. Aussi, ont attribué les différences de contenu à la méthode d'extraction et aux solvants utilisés. [87]

#### IV.2.1. La teneur des flavonoïdes :

Les quantités correspondantes de flavonoïde ont été rapportées en microgrammes équivalents à quercétine par milligramme d'extrait (µg EQ / mg d'extrait). La méthode est basée sur l'équation de régression linéaire de la courbe de titrage à l'aide quercétine, basée sur les valeurs d'absorption de la solution d'EM réalisées par la méthode spectrophotométrique de trichlorure d'aluminium, et sur une comparaison avec des étalons équivalents pour quercétine (Annexe I).

Concernant la teneur en flavonoïdes, les résultats obtenus ont montré que *Salvia verbinaca* L, avait également la teneur la plus faible (51.42 mg EQ/g Esv) par rapport à d'autres recherches (162,47 mg EQ/g Esv), ceci est dû au climat et l'emplacement de plante.

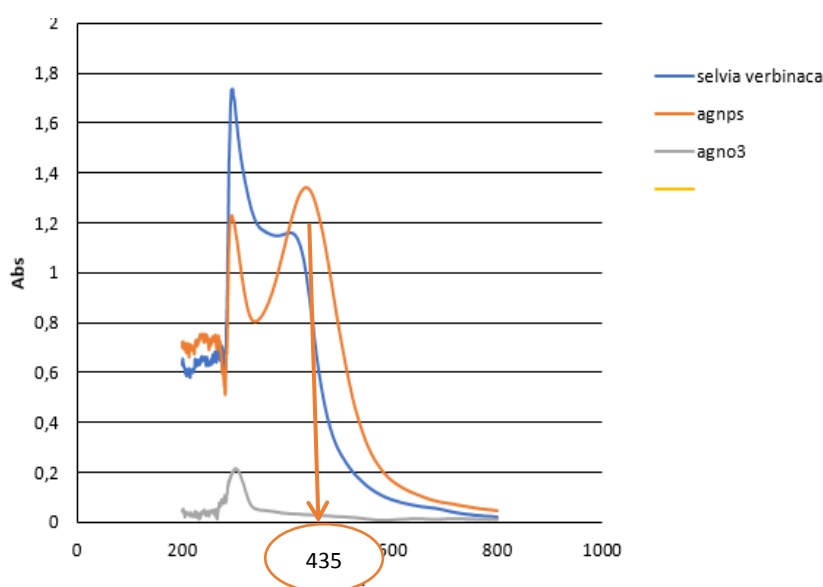
### IV.3. La biosynthèse des nanoparticules d'argent :

Les nanoparticules d'argent sont synthétisées à l'aide d'extrait de *S. Verbinaca* qui ont montré une couleur brune très foncée en solution aqueuse en raison de l'excitation des vibrations de Plasmon de surface dans les nanoparticules d'argent [88]. En raison de l'abondance des groupements carboxyles, carbonyles, hydroxyles et phénols dans d'extraits aqueux des feuilles de *S. Verbinaca*, ces derniers peuvent réduire le cation  $\text{Ag}^+$  et stabiliser les NPs d'argent ainsi formées via ces groupements. Donc, en utilisant une solution aqueuse d'extrait des feuilles du *S. verbinaca* tant que bio réducteur.

Les NPs d'argent préparés sont caractérisés en utilisant :

#### IV.3.1. Spectroscopie d'absorption UV -Vis

Des nanoparticules d'argent ont été synthétisées avec l'extrait botanique de *S. verbinaca*. Une réaction se produit entre les biomolécules et le nitrate d'argent est réduit pour former des nanoparticules d'argent. Les nanoparticules d'argent composites ont été marquées par spectrophotomètre UV dans la plage de 300 à 700 nm. (Figure IV 15) Un pic caractéristique observé à 435 nm, c'est-à-dire la résonance plasmonique de surface des nanoparticules d'argent. Les formations de pics dans les échantillons sont principalement dues à la réduction du nitrate d'argent et à la réduction biologique des particules végétales en solution. Ces observations indiquent clairement que les particules végétales jouent un rôle important dans la réduction du nitrate d'argent en nanoparticules d'argent [89]. Le même phénomène a été signalé par d'autre chercheur.



**Figure IV.17 :** Spectre UV-Vis des Ag NPs synthétisées par les extraits aqueux de *S. verbinaca*

### IV.3.2. Caractérisation par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) :

Une analyse FTIR a été réalisée pour identifier la biomolécule potentielle responsable de la réduction des ions argent et du facteur de blocage de la biomolécule d'argent synthétisée par *S. verbinaca*. Les bandes spectrales ont été interprétées pour déterminer les groupes fonctionnels des composés organiques attachés aux nanoparticules d'argent [90].

En comparant à la fois les deux spectres FTIR, on a constaté que de nombreux pics obtenus dans le cas du spectre de l'extrait ont été répétés dans le spectre FTIR en présence de nanoparticules d'argent avec des changements dans la position ainsi que dans l'intensité des bandes de transmission et la disparition ou l'apparition de quelques autres.

L'analyse FTIR est utilisable pour caractériser la chimie de surface des nanoparticules. Des groupes fonctionnels organiques comme OH, C=O liés à la surface des nanoparticules sont trouvés par FTIR. [91] Les spectres FTIR de l'extrait de *Salvia verbinaca* sont présentés à la (figure IV.17). Après la synthèse des AgNPs, la solution contenant des nanoparticules a été centrifugée à 4 500 tr / min pendant 30 min pour séparer les AgNPs des autres compositions de solution et le dépôt a été préparé pour l'analyse FTIR. (Figure 17)

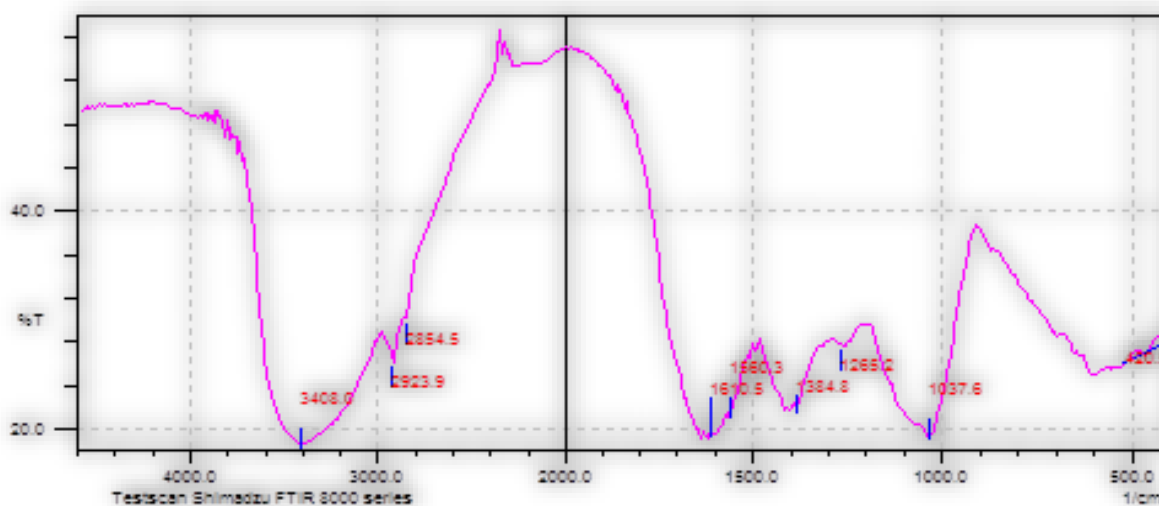


Figure IV.18 : Spectres FTIR d'extrait aqueux de *Salvia verbinaca*.

Les spectres FTIR de l'extrait de feuilles *Salvia verbinaca*. Les spectres FTIR d'extrait de feuille montrent plusieurs pics majeurs à 3408  $\text{cm}^{-1}$ , 2923  $\text{cm}^{-1}$ , 2854  $\text{cm}^{-1}$ , 1610  $\text{cm}^{-1}$ , 1560  $\text{cm}^{-1}$ , 1384  $\text{cm}^{-1}$ , 1265  $\text{cm}^{-1}$ , 1037  $\text{cm}^{-1}$  et quelques autres pics à environ 1000  $\text{cm}^{-1}$ . Le pic à 3408  $\text{cm}^{-1}$  représente la vibration d'élongation O – H dans les alcools, les flavonoïdes et les composés phénoliques. Les pics d'absorption situés à 1610  $\text{cm}^{-1}$ , 1560  $\text{cm}^{-1}$ , correspondent aux vibrations de liaison amide primaire, tandis que les pics à 2923  $\text{cm}^{-1}$  et 2854  $\text{cm}^{-1}$  sont probablement attribuables à la vibration d'élongation

N – H de l'amide secondaire des protéines et la bande à 1384cm-1 et 1037cm-1 affectés à de fortes vibrations d'élongation des amines aromatiques et aliphatiques C – N. Les petits pics situés autour de 1000 cm-1 représentent la présentation d'ester.

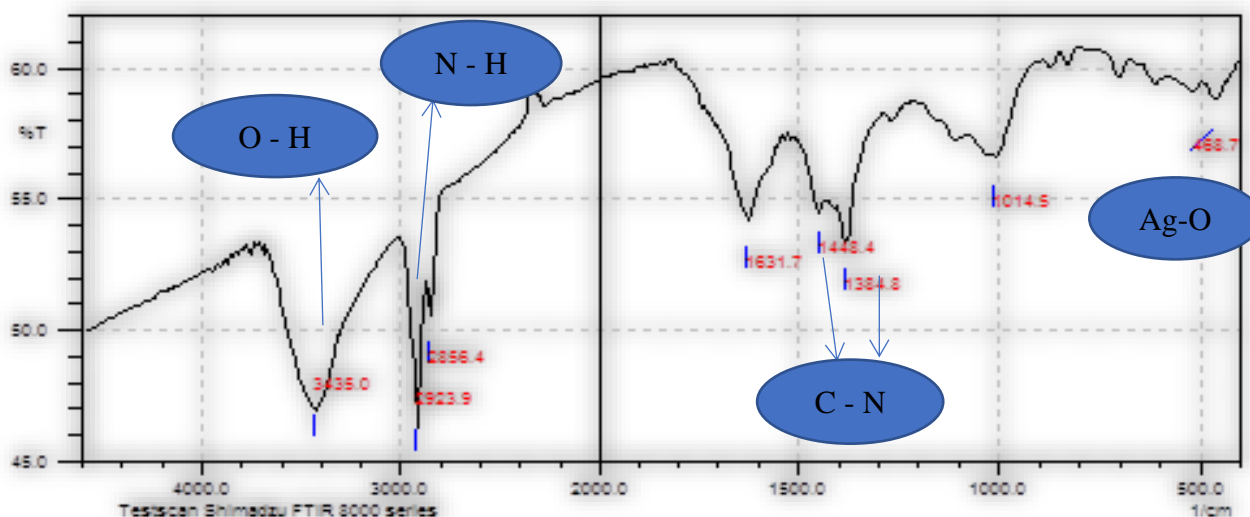


Figure IV.19 : Spectres FTIR de NPs d'Ag.

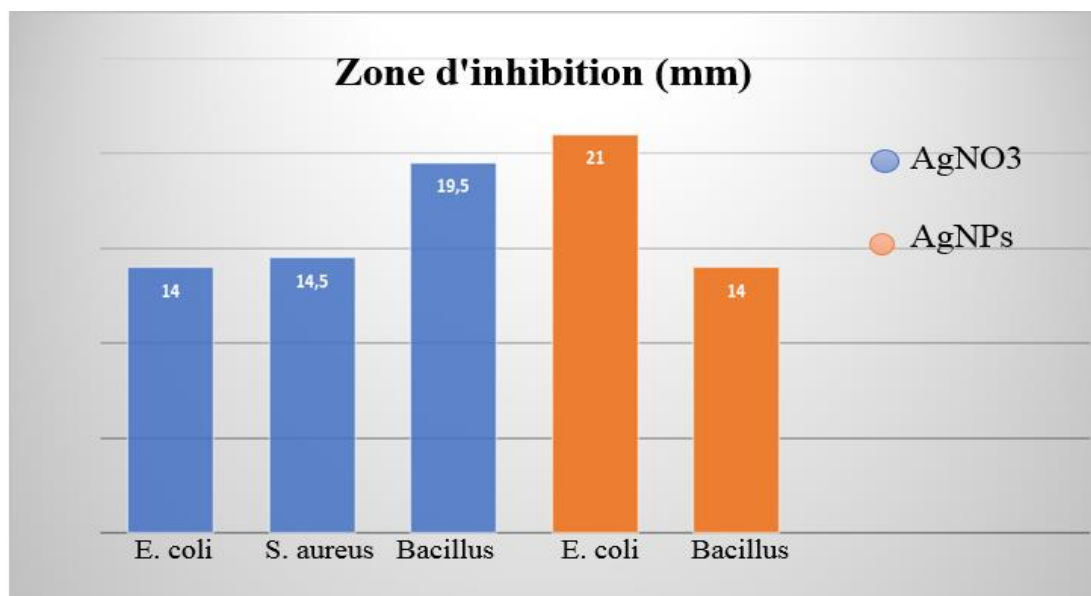
Après la formation des AgNPs, il y a quelques déplacements des photos précieux tels que la vibration O - H de 3408 cm-1 à 3435 cm-1, la vibration amide primaire de 1610 cm-1 à 1631 cm-1, la vibration N - H de 2923 cm-1 à 2923 cm-1, 2854 cm-1 à 2856 cm-1, vibration C - N de 1560 cm-1 à 1448 cm-1 et 1384cm-1 à 1384 cm-1, 1037 cm- 1 à 1014 cm-1 que la réduction produite s'est produite. Non seulement le déplacement du pic, mais également le raccourcissement des photos se produisent aux pics 2856 cm-1, soulignons la réduction de la protéine amide secondaire.

- Une diminution de l'intensité de la bande large située à 3369 cm-1 caractéristique OH qui représentent les groupements OH libre dans la molécule et formant un groupe OH liaisons hydrogène
- Un apparition un pic est observé à 468 cm-1 attribué à la liaison Ag-O de l'oxyde d'argent.

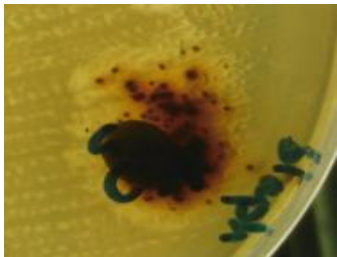

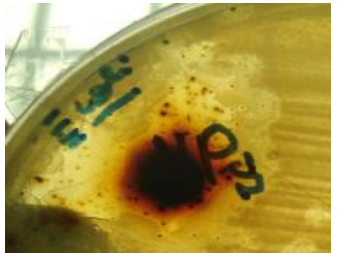
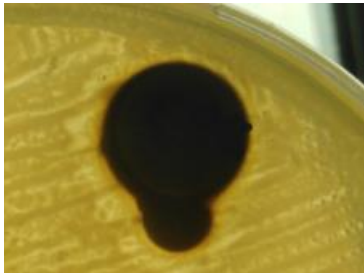

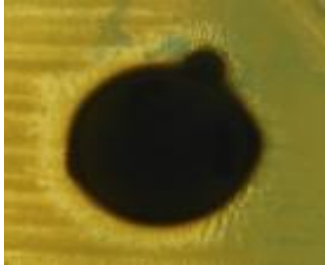
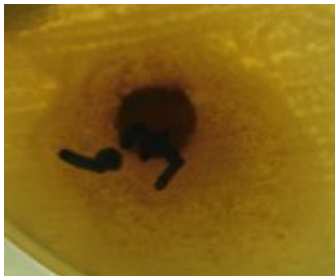

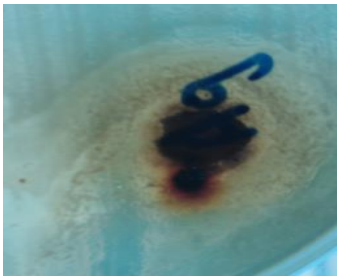
#### IV.4. Evaluation de l'activité antibactérienne des nanoparticules synthétisées :

Pour l'étude antibactérienne, nous avons testé l'efficacité antibactérienne de la solution de AgNPs, de la solution de nitrate d'argent, ainsi que de l'extrait aqueux de plante étudié (*S. Verbinaca*) sur trois souches bactériennes, puis les micro-organismes ont été cultivés et inoculés, qui sont les bactéries positives (*Staphylococcus aureus* ATCC 25923) (*Bacillus subtilis* ATCC9372) et bactéries négatives (*Escherichia coli* ATCC 25922).

Ensuite (20 mg / ml) d'AgNPs et d'AgNO<sub>3</sub> ont été introduits et un extrait aqueux (100 mg / ml) a été ajouté à chaque disque (9 mm de diamètre). Les boîtes de Pétri inoculées ont été inversées et incubées à 37 ° C pendant 24 h. L'efficacité des AgNPs et d'AgNO<sub>3</sub> et l'extrait a été testée contre les bactéries, Elle permet de voir directement l'effet antibactérien du matériau soit par l'apparition d'un halo d'inhibition autour des puits de l'échantillon si celui-ci diffuse, soit par l'absence de la croissance bactérienne dans la zone ayant été en contact avec le matériau si celui-ci est inhibiteur mais ne diffuse pas.



**Figure IV.20** : Histogramme des zones d'inhibitions des nanoparticules d'argent de *S. verbinaca* et de la solution AgNO<sub>3</sub>.

	Les bactéries		
	Gram +		Gram -
	Staphylococcus aureus ATCC 25923	Bacillus subtilis ATCC9372	E. coli ATCC 25922
AgNPs	0	14	21
			
AgNO <sub>3</sub>	19.5	14,5	14
			
L'extrait aqueuse	0	0	0
			

Zone d'inhibition a été utilisé comme critère pour déterminer les effets antibactériens de l'extrait de *S. Verbinaca* et des AgNPs et AgNO<sub>3</sub> contre *Bacillus subtilis* et *E. coli* et *Staphylococcus aureus*. Les plaques ont été surveillées pour la croissance bactérienne à des intervalles de 12 h, on observe que les différentes souches de bactéries étudiées réagissent différemment aux antibiotiques testés, même s'il s'agit de deux souches du même gramme bactérien.

L'activité antibactérienne des Ag NPs biosynthétisées est montrée sur la Figure IV.19. Le diamètre mesuré pour la zone de restriction pour la croissance des bactéries dans *B. subtilis*, *Staphylococcus aureus* et *E. coli* était de 14, 0 et 21, respectivement. Ce résultat indique que les bactéries Gram-négatives sont plus sensibles que les bactéries Gram-positives. L'activité bactéricide des Ag NPs contre un large éventail de bactéries a été prouvée dans plusieurs études. Ce potentiel des Ag NPs confirme la stratégie multiforme des Ag NPs dans l'exposition des bactéries [91]. Le mécanisme de l'activité bactéricide des Ag NPs est très probablement dû à la fixation des Ag NPs à la paroi cellulaire et à la génération de radicaux libres. De plus, la présence d'Ag NPs dans la membrane cellulaire des bactéries a été prouvée dans des études antérieures [92]. Les Ag NP perturbent la perméabilité de la membrane en pénétrant dans la membrane cellulaire et en provoquant une fuite d'ATP intracellulaire et la mort cellulaire [93, 94]. La libération d'ions argent à partir des Ag NPs agissant comme réservoir provoque une activité antibactérienne des Ag NPs [95].

AgNO<sub>3</sub> testée manifestent des zones d'inhibition dont le diamètre varie de 19.5, 14 et 14.5 mm contre *S. aureus*, *Bacillus subtilis*, *E. coli*.

L'extrait aqueux de feuilles de *Salvia verbinaca* de sa résistance aux bactéries *E. coli* et *Bacillus subtilis* et *Staphylococcus aureus*. La capacité antibactérienne de l'extrait étudié dépend de sa teneur en polyphénols, plus précisément en flavonoïdes.

#### IV.5. Caractérisation par spectroscopie électronique à balayage MEB et EDX :

Dans le cadre de notre étude, l'analyse par spectroscopie électronique à balayage MEB a principalement été réalisée pour connaître deux types d'informations : la taille et la morphologie des particules synthétisées.

L'image MEB des Ag NPs synthétisées par extrait aqueux des feuilles de citron limon est représentée dans la figure 21. On observe un assemblage de petites nanoparticules sphériques de taille inférieure à 100 nm. Le même comportement a été signalé par d'autres chercheurs.

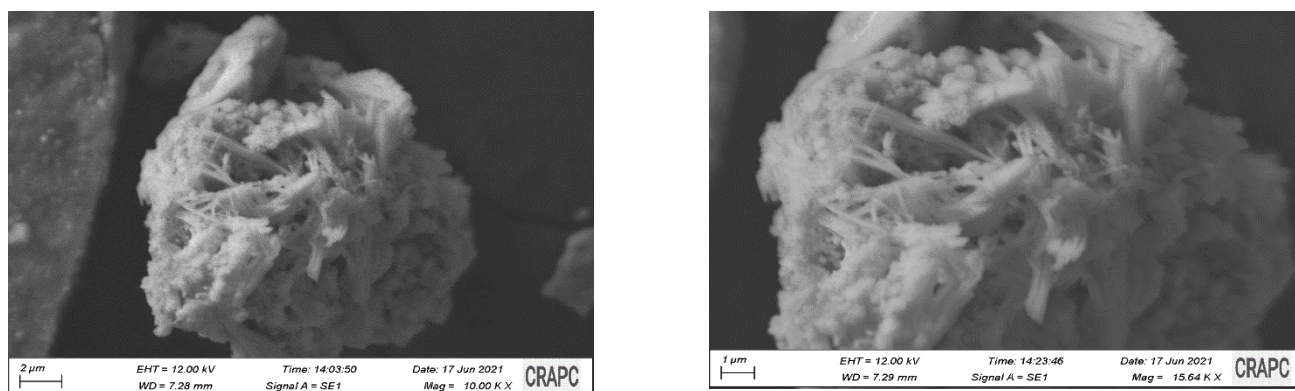


Figure IV.21: image MEB des nanoparticules synthétisées.

Pour connaître la composition atomique des nanoparticules, une analyse par MEB-EDX a été réalisée, la figure 22 représente les résultats d'analyse EDX des Ag NPs synthétisée. Elle montre un pourcentage très important de l'argent qui confère la formation des NPs d'Ag.

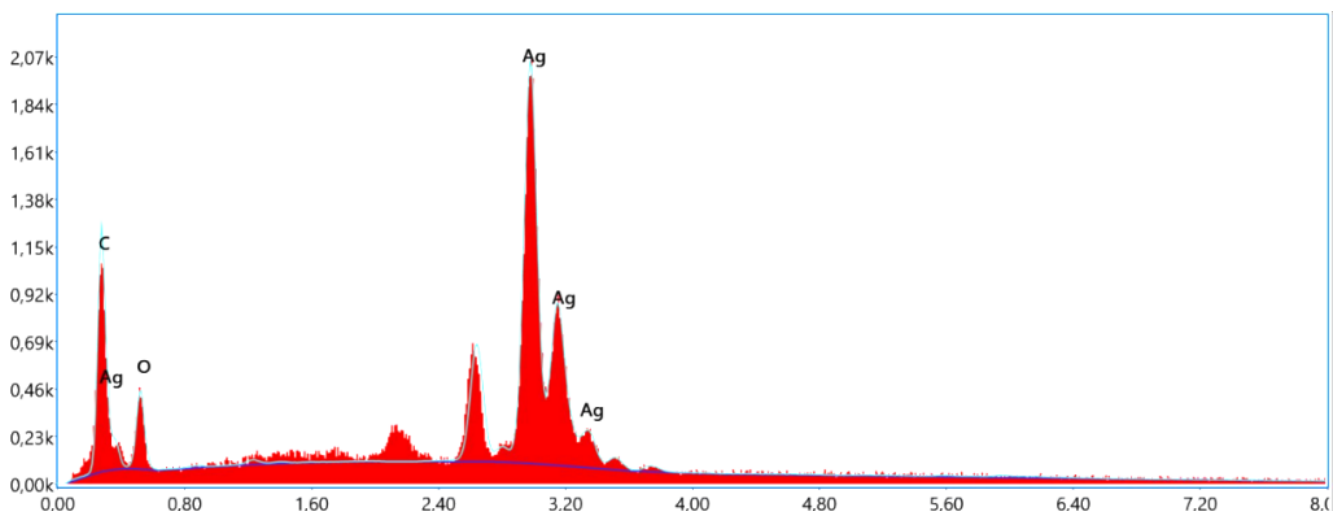


Figure IV.22 : Spectre EDX des Ag NPs synthétisées.



# **Conclusion**

## **Conclusion générale :**

La biosynthèse des nanoparticules d'argent a reçu une attention croissante dans le domaine de la nanotechnologie en raison de leurs applications antimicrobiennes et biomédicales. La synthèse verte de nanoparticules métalliques est envisagée comme une alternative rentable et écologique dans le scénario de recherche actuel.

Les travaux présentés dans cette mémoire portent sur le développement de nanoparticules d'argent en solution de nitrate d'argent. Cette étude a permis de faire une corrélation entre l'effet de l'extrait et de la solution nitrate d'argent.

Des nanoparticules d'argent ont été synthétisées à partir de la méthode de synthèse verte en utilisant l'extrait de feuille de *Salvia verbinaca*. Les Ag NPs synthétisées ont été étudiées pour leurs propriétés optiques, structurales, morphologiques de surface et antibactériennes.

Les conclusions suivantes ont été tirées des résultats obtenus dans la présente étude :

- L'étude optique montre que l'apparition du pic UV-vis à 435 nm dans le spectre d'absorption confirme la formation des Ag NPs et sa forte intensité avec une largeur rétrécie indiquant la taille et la forme homogènes des Ag NPs.
- Différents composés chimiques présents dans les extraits de plantes ont agi comme agents réducteurs et coiffants lors de la synthèse des NP comme en témoignent les spectres FTIR.
- Les Ag NPs synthétisées ont montré une activité antibactérienne contre les bactéries *E. coli* et *Bacillus subtilis*. Cependant, une activité bien prononcée a été observée contre *E. coli*.

La présente enquête a conclu que la synthèse verte d'AgNPs, utilisant du matériel végétal comme agent réducteur et coiffant, présente des avantages tels que la facilité de disponibilité, le respect de l'environnement avec lequel le processus peut augmenter la viabilité économique. Le protocole a été optimisé, permet une production rapide et à grande échelle d'AgNPs. Des protéines, des flavonoïdes et des phénols ont été trouvés peuvent être responsables de la synthèse verte des AgNPs. Pour élucider le mécanisme précis et comprendre l'ensemble de la procédure derrière la synthèse verte des nanoparticules d'argent, une étude plus approfondie est nécessaire. La biotine est une vitamine importante trouvée comme précurseur pour la synthèse des AgNPs. En raison de la riche biodiversité des plantes, leur potentiel pour la synthèse de NP métalliques n'est pas encore pleinement exploré. L'utilisation d'entités Biologiques telles que les plantes pour la production de NP donnent de nombreuses applications respectueuses de l'environnement et compatibles pour les industries pharmaceutiques et biomédicales telles

que la médecine, Les industries alimentaires, l'agriculture. Une compréhension approfondie des mécanismes biochimiques impliqués dans la synthèse des NP à médiation végétale est une condition préalable afin de rendre l'approche économiquement plus compétitive et durable. De nouvelles améliorations des méthodes vertes de synthèse, de purification et de stérilisation amèneront la nanotechnologie vers une nouvelle approche respectueuse de l'environnement dans un avenir proche.



# Référence

- [1] Hulkoti, N. I., & Taranath, T. C. (2014). Biosynthesis of nanoparticles using microbes—a review. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 121, 474-483.
- [2] Singh, P., Kim, Y. J., Zhang, D., & Yang, D. C. (2016). Biological synthesis of nanoparticles from plants and microorganisms. *Trends in biotechnology*, 34(7), 588-599.
- [3] Botineau, M. (2010). *Botanique systématique et appliquée des plantes à fleurs*. Tec & doc.
- [4] Judd, W. S., Campbell, C. S., Kellogg, E. A., & Stevens, P. (2002). *Botanique systématique : une perspective phylogénétique*. De Boeck Supérieur.
- [5] Grieve, M. (1980). *A Modern Herbal*. Penguin Press, London, U.K. 700-705
- [6] KHENFER, H., KHINECH, C., BOUAL, Z., & RIGHI Nouhad, A. Caractérisation structurale et potentiel biologique des polysaccharides issus de *Salvia officinalis*.
- [7] Quezel, P., & Santa, S. (1963). Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales (No. 581.965 Q8).
- [8] J. CAMARASA. *Plantes. (1982). médicinales et phytothérapie*, Tome XVI, n° 3, p. 192-196
- [9] Pottier-Alapetite, G. (1981). *Flore de la Tunisie: angiospermes, dicotylédones. Gamopétales*. Ministère de l'Enseignement Supérieur de la Recherche Scientifique et le Ministère de l'Agriculture.
- [10] Bayer E., Buttler KP., Finkenzeller X., Grau J (1990). *Guide de la flore méditerranéenne*. Delachaux et Niestlé .Paris., p: 179.
- [11] Judd W.S., Campbell C.S., Kellogg E.A., Steven P. (2002) *Botanique systématique: Une perspective phylogénétique*. 1ere Ed : Paris et Bruxelles. pp. 369-384.
- [12] Bonnier, G., Douin, R., & Poinso, J. (1990). [La grande flore en couleurs]; *La grande flore en couleurs de Gaston Bonnier: France, Suisse, Belgique et pays voisins*. Belin.
- [13] Javaid, MM, Florentine, S., Ali, HH, & Weller, S. (2018). Effet des facteurs environnementaux sur la germination et l'émergence des cultivars de *Salvia verbenaca* L. (*verbenaca* et *vernalis*): une espèce envahissante dans les régions de parcours semi-arides et arides. *PloS one* , 13 (3).
- [14] Afzal-Rafii, M. Z. (1979). Contribution à l'étude cytotoxonomique du groupe *Salvia verbenaca* L. *Bulletin de la Société Botanique de France. Lettres Botaniques*, 126(1), 79-86.
- [15] Farhat, M. B., Landoulsi, A., Chaouch-Hamada, R., Sotomayor, J. A., & Jordán, M. J. (2013). Phytochemical composition and in vitro antioxidant activity of by-products of *Salvia verbenaca* L. growing wild in different habitats. *Industrial Crops and Products*, 49, 373-379.
- [16] Khlifi, S., El Hachimi, Y., Khalil, A., Es-Safi, N., Belahyan, A., Tellal, R., & El Abbouyi, A. (2006). In vitro antioxidant properties of *Salvia verbenaca* L. hydromethanolic extract. *Indian Journal of Pharmacology*, 38(4), 276.

## Reference

---

- [17] Taarit, M. B., Msaada, K., Hosni, K., Amor, N. B., Marzouk, B., & Kchouk, M. E. (2010). Chemical composition of the essential oils obtained from the leaves, fruits and stems of *Salvia verbenaca* L. from the northeast region of Tunisia. *Journal of Essential Oil Research*, 22(5), 449-453.
- [18] KHOSRAVI, D. N., Ostad, S. N., Maafi, N., Pedram, S., Ajani, Y., Hadjiakhoondi, A., & Khnavi, M. (2014). Cytotoxic activity of the essential oil of *Salvia verticillata* L.
- [19] Lahsissene, H., Kahouadji, A., & Hseini, S. (2009). Catalogue des plantes médicinales utilisées dans la région de Zaër (Maroc occidental). *Lejeunia, revue de botanique*.
- [20] Belkacem, I. Synthèse et caractérisation optique des nanoparticules d'argent pour des applications médicales (Doctoral dissertation).
- [21] Gaffet, E. (2008). Nanomatériaux: différentes voies de synthèse, propriétés, applications et marchés. *Actualité et dossier en santé publique*, 64, 183.
- [22] Journal Officiel de l'Union Européenne. Recommandation de la commission du 18 octobre relative à la définition des nanomatériaux. (2011/969/UE) Consultable sur <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:275:0038:0040:FR:PDF>, 2011.
- [23] 2018). (سلمان, ساسية, & قريشة). la synthèse verte des nanoparticules métallique de cuivre CuO par l'extrait *Moringa*.
- [24] Gaffet, E. (2011). Nanomatériaux: Une revue des définitions, des applications et des effets sur la santé. Comment implémenter un développement sûr. *Comptes Rendus Physique*, 12(7), 648-658.
- [25] ISO. Nanotechnologies — Vocabulaire — Partie 2 : Nano-objets, ISO/TS 80004-2 :2015(fr) [En ligne]. 2015. Disponible sur : <<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:ts:80004:-2:ed-1:v1:fr>> [Consulté le : 28/07/2018]
- [26] Courtois, B., Bémer, D., & Binet, S. (2021). Chapitre 1. Généralités sur les particules ultra-fines. In *Les nanoparticules* (pp. 45-104). EDP Sciences.
- [27] <https://www.novethic.fr/lexique/detail/nanoparticules.html>
- [28].FIRDHOUSE, M. Jannathul et LALITHA, P. Biosynthèse des nanoparticules d'argent et ses applications. *Journal of Nanotechnologie*, 2015, vol. 2015.
- [29] Galdeano, S. (2001). Influence des conditions de broyage sur la distribution de nanoparticules magnétiques (Fe, Co) dans une matrice de cuivre (Doctoral dissertation, Paris 7).
- [30] Madhumitha, G., & Roopan, S. M. (2013). Devastated crops: multifunctional efficacy for the production of nanoparticles. *Journal of Nanomaterials*, 2013.
- [31] Simchi, A., Ahmadi, R., Reihani, S. S., & Mahdavi, A. (2007). Kinetics and mechanisms of nanoparticle formation and growth in vapor phase condensation process. *Materials & design*, 28(3), 850-856.
- [32] Wang, D., An, J., Luo, Q., Li, X., & Yan, L. (2012). Synthesis, Characterization and Application of Silver-Based Antimicrobial Nanocomposites. In *Nano-Antimicrobials* (pp. 47-84). Springer, Berlin, Heidelberg.

- [33] Li, D., Hong, B., Fang, W., Guo, Y., & Lin, R. (2010). Preparation of well-dispersed silver nanoparticles for oil-based nanofluids. *Industrial & engineering chemistry research*, 49(4), 1697-1702.
- [34] Gibbons, V. L., & Getman, F. H. (1914). CORRECTION. The Potential of Silver in Non Aqueous Solutions of Silver Nitrat. *Journal of the American Chemical Society*, 36(10), 2091-2091.
- [35] Cheng, W., Dong, S., & Wang, E. (2002). Studies of electrochemical quantized capacitance charging of surface ensembles of silver nanoparticles. *Electrochemistry communications*, 4(5), 412-416.
- [36] Zhang, W., Qiao, X., & Chen, J. (2007). Synthesis of silver nanoparticles—effects of concerned parameters in water/oil microemulsion. *Materials Science and Engineering: B*, 142(1), 1-15.
- [37] Narayanan, K. B., & Sakthivel, N. (2010). Biological synthesis of metal nanoparticles by microbes. *Advances in colloid and interface science*, 156(1-2), 1-13.
- [38] Kulkarni, S. S. *INTERNATIONAL RESEARCH JOURNAL OF PHARMACY*.
- [39] Bhattacharjee, C. R., Purkayastha, D. D., Bhattacharjee, S., & Nath, A. (2011). Homogeneous chemical precipitation route to ZnO nanosphericals. *Assam University Journal of Science and Technology*, 7(2), 122-127.
- [40] Kulkarni, S. K., & Kulkarni, S. K. (2015). *Nanotechnology: principles and practices*. Springer.
- [41] Shankar, S. S., Rai, A., Ankamwar, B., Singh, A., Ahmad, A., & Sastry, M. (2004). Biological synthesis of triangular gold nanoprisms. *Nature materials*, 3(7), 482-488.
- [42] Willner, I., Baron, R., & Willner, B. (2006). Growing metal nanoparticles by enzymes. *Advanced Materials*, 18(9), 1109-1120.
- [43] Kulkarni, S. K. (2007). *Nanotechnology: Principles and Practices*, Capital Pub. Co., India.
- [44] Willner, I., Basnar, B., & Willner, B. (2007). Nanoparticle–enzyme hybrid systems for nanobiotechnology. *The FEBS journal*, 274(2), 302-309.
- [45] Pirtarighat, S., Ghannadnia, M., & Baghshahi, S. (2019). Green synthesis of silver nanoparticles using the plant extract of *Salvia spinosa* grown in vitro and their antibacterial activity assessment. *Journal of Nanostructure in Chemistry*, 9(1), 1-9.
- [46] Beldjilali, M., Mekhissi, K., Khane, Y., Chaibi, W., Belarbi, L., & Bousalem, S. (2020). Antibacterial and Antifungal Efficacy of Silver Nanoparticles Biosynthesized Using Leaf Extract of *Thymus algeriensis*. *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, 30(6), 2126-2133.
- [47] Lansdown, A. B. (2002). Silver I: its antibacterial properties and mechanism of action. *Journal of wound care*, 11(4), 125-130.
- [48] Kierans, M., et al., Silver tolerance and accumulation in yeasts. *Biology of metals*, 1991. 4(2): p. 100-106.
- [49] Ahmad, A., Mukherjee, P., Senapati, S., Mandal, D., Khan, M. I., Kumar, R., & Sastry, M. (2003). Extracellular biosynthesis of silver nanoparticles using the fungus *Fusarium oxysporum*. *Colloids and surfaces B: Biointerfaces*, 28(4), 313-318.

- [50] Bhainsa, K.C. and S. D'souza, Extracellular biosynthesis of silver nanoparticles using the fungus *Aspergillus fumigatus*. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 2006. 47(2): p. 160-164.
- [51] Basavaraja, S., et al., Extracellular biosynthesis of silver nanoparticles using the fungus *Fusarium semitectum*. *Materials Research Bulletin*, 2008. 43(5): p. 1164-1170.
- [52] Kalishwaralal, K., et al., Extracellular biosynthesis of silver nanoparticles by the culture supernatant of *Bacillus licheniformis*. *Materials letters*, 2008. 62(29): p. 4411-4413.
- [53] Patra, J. K., & Baik, K. H. (2014). Green nanobiotechnology: factors affecting synthesis and characterization techniques. *Journal of Nanomaterials*, 2014.
- [54] Srikar, S. K., Giri, D. D., Pal, D. B., Mishra, P. K., & Upadhyay, S. N. (2016). Green synthesis of silver nanoparticles: a review. *Green and Sustainable Chemistry*, 6(1), 34-56.
- [55] Shah, M., Fawcett, D., Sharma, S., Tripathy, S. K., & Poinern, G. E. J. (2015). Green synthesis of metallic nanoparticles via biological entities. *Materials*, 8(11), 7278-7308.
- [56] Gade, A., Gaikwad, S., Duran, N., & Rai, M. (2014). Green synthesis of silver nanoparticles by *Phoma glomerata*. *Micron*, 59, 52-59.
- [57] Kesharwani, J., Yoon, K. Y., Hwang, J., & Rai, M. (2009). Phytofabrication of silver nanoparticles by leaf extract of *Datura metel*: hypothetical mechanism involved in synthesis. *Journal of Bionanoscience*, 3(1), 39-44.
- [58] Kasthuri, J., Kathiravan, K., & Rajendiran, N. (2009). Phyllanthin-assisted biosynthesis of silver and gold nanoparticles: a novel biological approach. *Journal of Nanoparticle Research*, 11(5), 1075-1085.
- [59] Ahmad, N., Sharma, S., Singh, V. N., Shamsi, S. F., Fatma, A., & Mehta, B. R. (2011). Biosynthesis of silver nanoparticles from *Desmodium triflorum*: a novel approach towards weed utilization. *Biotechnology research international*, 2011.
- [60] Singh, V., Shrivastava, A., & Wahi, N. (2015). Biosynthesis of silver nanoparticles by plants crude extracts and their characterization using UV, XRD, TEM and EDX. *African Journal of Biotechnology*, 14(33), 2554-2567.
- [61] Jha, A. K., Prasad, K., Prasad, K., & Kulkarni, A. R. (2009). Plant system: nature's nanofactory. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 73(2), 219-223.
- [62] Chung, I. M., Park, I., Seung-Hyun, K., Thiruvengadam, M., & Rajakumar, G. (2016). Plant-mediated synthesis of silver nanoparticles: their characteristic properties and therapeutic applications. *Nanoscale research letters*, 11(1), 1-14.
- [63] Li, S., Shen, Y., Xie, A., Yu, X., Qiu, L., Zhang, L., & Zhang, Q. (2007). Green synthesis of silver nanoparticles using *Capsicum annuum* L. extract. *Green Chemistry*, 9(8), 852-858.
- [64] Huang, J. W., & Cunningham, S. D. (1996). Lead phytoextraction: species variation in lead uptake and translocation. *New phytologist*, 134(1), 75-84.

- [65] Selmane, S. (2012). La synthèse des nanoparticules de silicium dans un milieu liquide par l'ablation laser (Doctoral dissertation).
- [66] Safaepour, M., Shahverdi, A. R., Shahverdi, H. R., Khorramizadeh, M. R., & Gohari, A. R. (2009). Green synthesis of small silver nanoparticles using geraniol and its cytotoxicity against fibrosarcoma-wehi 164. *Avicenna journal of medical biotechnology*, 1(2), 111.
- [67] Link, S., & El-Sayed, M. A. (2003). Optical properties and ultrafast dynamics of metallic nanocrystals. *Annual review of physical chemistry*, 54(1), 331-366.
- [68] Hebbalalu, D., Lalley, J., Nadagouda, M. N., & Varma, R. S. (2013). Greener techniques for the synthesis of silver nanoparticles using plant extracts, enzymes, bacteria, biodegradable polymers, and microwaves. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 1(7), 703-712
- [69] Tarannum, N., & Gautam, Y. K. (2019). Facile green synthesis and applications of silver nanoparticles: a state-of-the-art review. *RSC advances*, 9(60), 34926-34948.
- [70] Tarannum, N., & Gautam, Y. K. (2019). Facile green synthesis and applications of silver nanoparticles: a state-of-the-art review. *RSC advances*, 9(60), 34926-34948.
- [71] Hayouni, E. A., Abedrabba, M., Bouix, M., & Hamdi, M. (2007). The effects of solvents and extraction method on the phenolic contents and biological activities in vitro of Tunisian *Quercus coccofera* L. and *Juniperus phoenicea* L. fruit extracts. *Food chemistry*, 105(3), 1126-1134.
- [72] Owen, P. L., & Johns, T. (1999). Xanthine oxidase inhibitory activity of northeastern North American plant remedies used for gout. *Journal of ethnopharmacology*, 64(2), 149-160.
- [73] Li, M., Cha, D. J., Lai, Y., Villaruz, A. E., Sturdevant, D. E., & Otto, M. (2007). The antimicrobial peptide-sensing system of *Staphylococcus aureus*. *Molecular microbiology*, 66(5), 1136-1147.
- [74] Bajorun, T., Gressier, B., Trotin, F., Brunet, C., Dine, T., Luyckx, M., ... & Pinkas, M. (1996). Oxygen species scavenging activity of phenolic extracts from hawthorn fresh plant organs and pharmaceutical preparations. *Arzneimittel-forschung*, 46(11), 1086-1089.
- [75] AMINA, S. T., Merghem, R., & Dehimat, L. (2009). Étude phytochimique et évaluation de l'activité antibactérienne d'une Labiée: *Thymus hirtus*. *Sciences & Technologie. C, Biotechnologies*, 25-29.
- [76] Bssaibis, F., Gmira, N., & Meziane, M. (2009). Activité antibactérienne de *Dittrichia viscosa* (L.) W. Greuter. *Rev Microbiol Ind San et Environn*, 3(1), 44-45.
- [77] Meddour, A., Yahia, M., Benkiki, N., & Ayachi, A. (2013). Etude de l'activité antioxydante et antibactérienne des extraits d'un ensemble des parties de la fleur du *Capparis spinosa* L. *Lebanese Science Journal*, 14(1), 49-60.
- [78] Harrar, A. (2012). Activités antioxydante et antimicrobienne d'extraits de *Rhamnus alaternus* L, mémoire de magistère.
- [79] Choi, Y. M., Noh, D. O., Cho, S. Y., Suh, H. J., Kim, K. M., & Kim, J. M. (2006). Antioxidant and antimicrobial activities of propolis from several regions of Korea. *LWT-Food Science and Technology*, 39(7), 756-761.
- [80] DJELLOUL DAOUADJI, S. (2010). Détection de Biofilm à Staphylocoques sur Cathéters Veineux (Doctoral dissertation).

## Reference

---

- [81] DJELLOUL DAOUADJI, S. (2010). Détection de Biofilm a Staphylocoques sur Cathéters Veineux (Doctoral dissertation).
- [82] DELALDJA, S., & Ibtissam, H. (2017). CONTRIBUTION A LA CONNAISSANCE DU METABOLISME SECONDAIRE ET L'ACTIVITE BIOLOGIQUE DE LA PLANTE Pistacia lentiscus L (Doctoral dissertation, Université de m'sila).
- [83] Rahal K. (2011). Standardisation de l'antibiogramme en médecine humaine à l'échelle National Selon les recommandations de l'OMS ; Alger, Algérie.
- [84] Mourad, B., Mihoub, Z. M., & Sétif, U. F. A. (2011). Etude de l'activité antioxydante et antimicrobienne d'extraits d'Artemisia campestris L. Mémoire pour l'obtention du diplôme de Magister, Université Ferhat Abbes-Setif.
- [85] Benchaachoua, A., Bessam, H. M., & Saidi, I. (2018). Effects of different extraction methods and solvents on the phenolic composition and antioxidant activity of Silybum marianum leaves extracts. *Int. J. Med. Sci. Clin. Invent*, 5(3), 3641-3647.
- [86] Farhat, M. B., Landoulsi, A., Chaouch-Hamada, R., Sotomayor, J. A., & Jordán, M. J. (2013). Phytochemical composition and in vitro antioxidant activity of by-products of *Salvia verbenaca* L. growing wild in different habitats. *Industrial Crops and Products*, 49, 373-379.
- [87] Bonnaille, C., Salacs, M., Vassiliova, E., & Saykova, I. (2012). Etude de l'extraction de composés phénoliques à partir de pellicules d'arachide (*Arachis hypogaea* L.).
- [88] Song, J. Y., & Kim, B. S. (2009). Rapid biological synthesis of silver nanoparticles using plant leaf extracts. *Bioprocess and biosystems engineering*, 32(1), 79-84.
- [89] Moideen, S., & Prabha, A. (2014). Green synthesis of silver nanoparticles using *Luffa Acutangula* Roxb. Var. Amara. Lin, and its antibacterial activity. *Int. J. Pharm. Bio. Sci*, 5(4), 1051-1061.
- [90] Moideen, S., & Prabha, A. (2014). Green synthesis of silver nanoparticles using *Luffa Acutangula* Roxb. Var. Amara. Lin, and its antibacterial activity. *Int. J. Pharm. Bio. Sci*, 5(4), 1051-1061.
- [91] Franci, G., Falanga, A., Galdiero, S., Palomba, L., Rai, M., Morelli, G., & Galdiero, M. (2015). Silver nanoparticles as potential antibacterial agents. *Molecules*, 20(5), 8856-8874.
- [92] Oves, M., Aslam, M., Rauf, M. A., Qayyum, S., Qari, H. A., Khan, M. S., ... & Ismail, I. M. (2018). Antimicrobial and anticancer activities of silver nanoparticles synthesized from the root hair extract of *Phoenix dactylifera*. *Materials Science and Engineering: C*, 89, 429-443.
- [93] Ajitha, B., Reddy, Y. A. K., & Reddy, P. S. (2014). Biogenic nano-scale silver particles by *Tephrosia purpurea* leaf extract and their inborn antimicrobial activity. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 121, 164-172.
- [94] Hajipour, M. J., Fromm, K. M., Ashkarran, A. A., de Aberasturi, D. J., de Larramendi, I. R., Rojo, T., ... & Mahmoudi, M. (2012). Antibacterial properties of nanoparticles. *Trends in biotechnology*, 30(10), 499-511.
- [95] Ajitha, B., Reddy, Y. A. K., & Reddy, P. S. (2014). Biogenic nano-scale silver particles by *Tephrosia purpurea* leaf extract and their inborn antimicrobial activity. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spe ctroscopy*, 121, 164-172.



# Annexes

## Annexe N°I : Résultats des courbes d'étalonnage

### 1. Courbe d'étalonnage des polyphénols.

-Courbe d'étalonnage de l'acide gallique, dans une gamme de concentrations allant de 0 à 100 µg/ml.

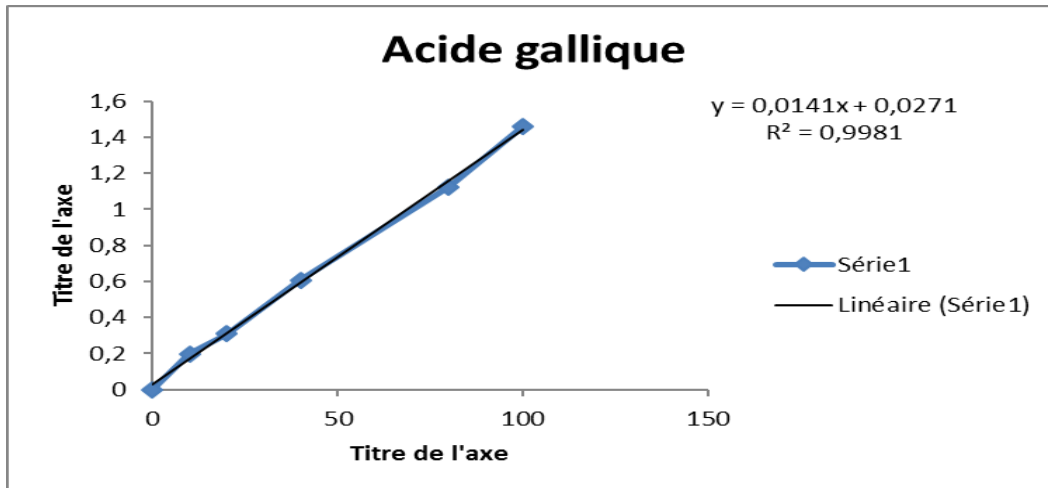


Figure n° 1 : Courbe d'étalonnage pour le dosage des polyphénols totaux

### 2. Courbe d'étalonnage des flavonoïdes :

-Courbe d'étalonnage de quercétine, dans une gamme de concentrations allant de 0 à 100 µg/ml.

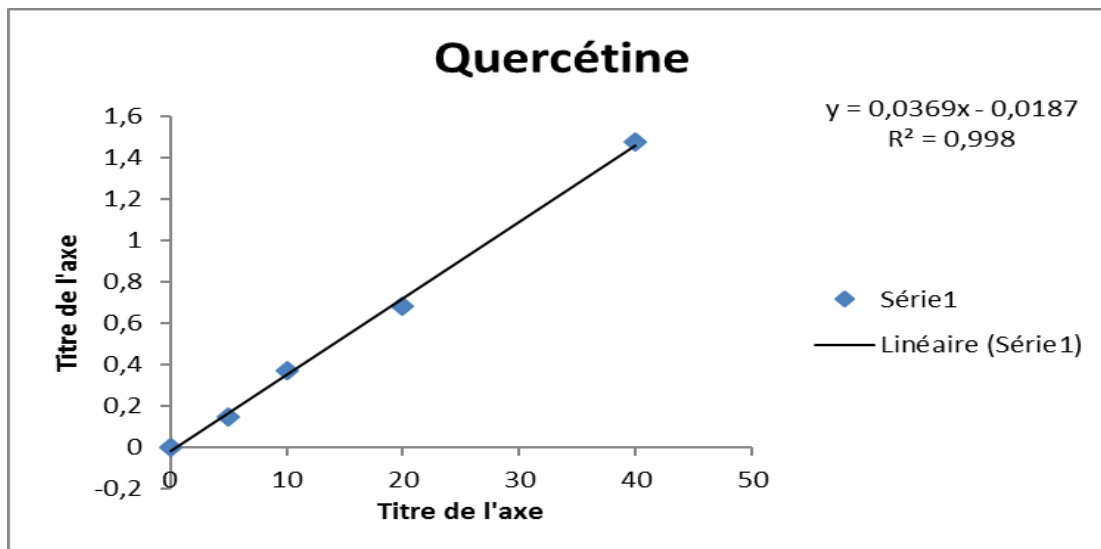
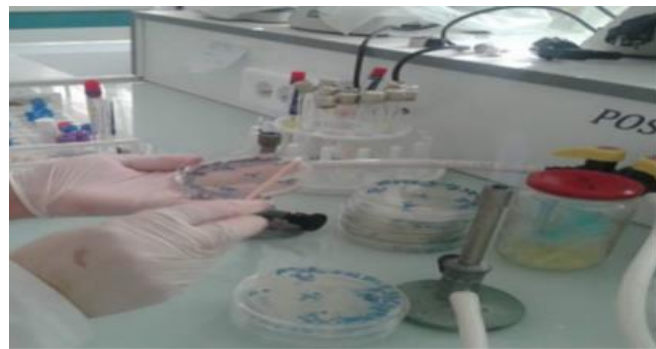


Figure n° 2 : courbe d'étalonnages pour le dosage des flavonoïdes.

## Annexes N°II : Préparation des boîtes de Pétri



## الملخص:

تعتبر عملية التخليق الحيوي لإنتاج الجسيمات النانوية عملية مستدامة وصديقة للبيئة وخالية من السموم ومتوافقة حيويًا. يمكن تصنيع ذلك باستخدام المستخلصات النباتية كعوامل اختزال واستقرار وهذا مقبول في المجال.

تم استخدام المستخلص المائي *Salvia verbinaca L* لتشكيل جزيئات الفضة النانوية. هذه الجسيمات مكرسة لدراسات طيفية مختلفة مثل FTIR و UV-vis و SEM و DRX، ويتم تقييم تأثيرها المضاد للميكروبات في المختبر بواسطة طريقة انتشار البئر الصلب.

لقد ثبت أن للجسيمات النانوية الفضية المُصنَّعة تأثيرًا فعالًا جدًا في قتل الجراثيم ضد جميع أنواع البكتيريا الثلاثة (الإشريكية القولونية، العسوية الرقيقة، المكورات العنقودية الذهبية).

يظهر مجموع النتائج التي تم الحصول عليها خلال هذه الدراسة بوضوح أن جسيمات الفضة النانوية لها إمكانات كبيرة للأنشطة البيولوجية التي تم فحصها. نتيجة لذلك، كانت المكونات الحيوية الموجودة في المستخلص النباتي فعالة في تخليق الجسيمات النانوية Ag ذات الكفاءة البيولوجية التي توفر إمكانية دمجها في تركيبة المنتجات الغذائية والصيدلانية.

**الكلمات الرئيسية:** الفضة، سالفيا فيربينাকা، الجسيمات النانوية، التخليق الحيوي، النشاط المضاد للبكتيريا.

## Résumé :

Le processus de biosynthèse pour la production des nanoparticules est considéré comme un processus durable, respectueux de l'environnement, sans toxines et biocompatible. Ceci peut être synthétisé en utilisant des extraits de plantes comme agents réducteurs et stabilisants et ceci est acceptable sur le terrain.

L'extrait aqueux de *Salvia Verbinaca* a été utilisé pour former des nanoparticules d'argent. Ces particules sont consacrées à diverses études spectroscopiques telles que FTIR, UV-vis, SEM et DRX, et évalué in vitro leur effet antimicrobien par la méthode de diffusion de puits en milieu solide.

Les nanoparticules d'argent synthétisées ont été montrés un effet bactéricide très efficace contre les trois types des bactéries (*Escherichia coli*, *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus*).

La somme des résultats obtenus au cours de cette étude montre clairement que Les nanoparticules d'argent possèdent un potentiel important pour les activités biologiques investiguées. De ce fait, les bio-ingrédients présents dans l'extrait de plante étaient efficaces pour la synthèse des nanoparticules d'Ag avec une efficacité biologique qui offre la possibilité de l'incorporer dans la composition des produits alimentaires et pharmaceutiques.

**Mot clés :** Argent, *Salvia verbinaca*, nanoparticule, biosynthèse, activité antibactérienne.

## Abstract :

The biosynthesis process for the production of nanoparticles is considered to be a sustainable, environmentally friendly, toxin-free and biocompatible process. This can be synthesized using plant extracts as reducing and stabilizing agents and this is acceptable in the field.

The aqueous extract of *Salvia Verbinaca* was used to form silver nanoparticles. These particles are devoted to various spectroscopic studies such as FTIR, UV-vis, SEM and DRX, and evaluated in vitro their antimicrobial effect by the solid medium well diffusion method.

The synthesized silver nanoparticles have been shown to have a very effective bactericidal effect against all three types of bacteria (*Escherichia coli*, *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus*). The sum of the results obtained during this study clearly shows that silver nanoparticles have significant potential for the biological activities investigated. As a result, the bio-ingredients present in the plant extract were effective for the synthesis of Ag nanoparticles with a biological efficiency which offers the possibility of incorporating it into the composition of food and pharmaceutical products.

**Keywords :** Silver, *Salvia verbinaca*, nanoparticle, biosynthesis, antibacterial activity