REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de Technologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Génie des Procédés

Spécialité : Génie des Procédés Pharmaceutiques

Exploration des propriétés bioactives des nanoparticules synthétisées à base d'extraits de plantes.

Présenté par :

M^lle SAIDANI Roumaissa

M^lle ADJLI Ouahiba

Proposé et Dirigé par :

Dr. Youcefettoumi Khadidja	MCA	Présidente	U. Médéa
Dr. Siouda Wafa	MCA	Examinatrice	U. Médéa
Dr. Gheffar Chahrazed	MCB	Encadrante	U. Médéa
Dr. Kirouani Abderrezzak	MCA	Co-encadrant	U. Médéa

Année universitaire 2024/2025

Remerciements

Tout d'abord, nos plus sincères remerciements vont à Allah, le Tout-Puissant, qui nous a guidés et soutenus tout au long de notre parcours académique, nous permettant d'atteindre cette étape précieuse de notre vie.

Un profond merci à nos parents, source de notre succès et de notre fierté. Leur amour, leur patience et leur soutien inconditionnel ont été la lumière qui nous a guidés à travers les défis et les réussites.

Nous tenons à exprimer notre gratitude envers notre directrice de mémoire, (**Dr. Gheffar Chahrazed**), ainsi que (**Dr. Kirouani Abderrezzak**), pour leur encadrement précieux, leur soutien constant et leurs conseils avisés. Leur engagement et leur bienveillance ont grandement contribué à la réussite de ce travail.

À tous ceux qui, d'une manière ou d'une autre, nous ont apporté leur aide et leur encouragement, nous vous remercions du fond du cœur.

Nos remerciements les plus vifs s'adressent également à **(Dr. Youcefettoumi Khadidja)** qui a accepté la présidence du jury de ce mémoire.

Nous exprimons également notre remerciement à **(Dr. Siouda Wafa)** qui a accepté de participer à ce jury et de juger ce travail.

Enfin, Nos sincères remerciements vont à **(M^{elle} Ikram Bengherbia)** Doctorante à l'université de Dr Yahia Fares Médéa pour leur assistance technique.

Dédicace

بِسْمِ اللهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
يَرْفَعِ اللَّهُ الَّذِينَ آمَنُوا مِنكُمْ وَالَّذِينَ أُوتُوا الْعِلْمَ دَرَجَاتٍ) صدق الله العظيم**)**
(11 سورة المجادلة الآية**)**

Louange à Allah, par Sa grâce les objectifs se réalisent après avoir cherché Son aide, la route s'éclaire par Sa guidance et le rêve devient réalité par Sa faveur. Le voyage n'a pas été court et le chemin n'était pas bordé de facilités, mais je l'ai fait. Louange à Allah qui nous a facilité les débuts et nous a permis d'atteindre les fins par Sa bonté.

Avec tout mon amour, je dédie le fruit de ma réussite et la récolte de ce que j'ai semé pendant de longues années au service de la science à :

À celui dont le nom ne se sépare jamais du mien, celui qui m'a appris que la vie est un combat et que son arme est le savoir et la connaissance.
À celui qui a implanté en moi la morale, mon premier soutien et mon appui, celui qui a toujours œuvré pour mon confort et ma réussite.
Au plus grand homme du monde, à ma fierté et mon honneur :
(Mon cher père, ADJLI Dahmane, que Dieu le préserve)

À la compagne de ma vie, la plus belle bénédiction divine et l'amour de mon âme. À celle qui a placé le paradis sous ses pieds et a facilité mes épreuves par ses prières.
À cette femme exceptionnelle qui a toujours souhaité voir ce jour se réaliser pour moi :
(Ma chère mère, que Dieu la protège)

À mon pilier solide et ma sérénité quotidienne.
À ceux qui ont renforcé mon dos, ceux qui restent inébranlables lorsque le monde vacille :
(Mes frères et sœurs bien-aimés, que Dieu vous protège et vous accorde le succès)

À mes amies, celles qui ont rendu le voyage plus agréable et moins difficile. Merci pour chaque instant, chaque soutien, chaque parole encourageante et chaque beau souvenir partagé.
Mes sœurs de cœur que ma mère n'a pas enfantées, que Dieu vous garde et vous comble de réussite.
(Maissa, Ihcene, Roumaissa)

Ouahiba

Dédicace

Avant tous je remercie Allah qui m'a donné la volonté, le courage et la patience durant mes 5 ans d'études.
Aux plus chers et aux plus précieux du monde : la lumière de ma vie, ***Ma chère mère (Djamila)*** *et l'homme de ma vie,* ***mon cher père (Bouelem)***
Tous les sacrifices que j'ai faits pour que je puisse terminer mes études. Je me suis inspiré du sens du devoir, de la responsabilité, de la dignité, de l'honneur et de l'humilité. Je n'aurais pas pu faire ce que vous avez fait pour moi, mais j'espère seulement que dans ce travail humble, vous trouverez une véritable raison de satisfaction.
Je t'aime très fort

À mes très chères sœurs
À mon cher grand frère l et à son ***épouse***
À mon très cher petit frère ***Farouk***
À mes chers neveux et nièces
Vous êtes mon soutien morale et source de joie et de bonheur je dédie ce travail dont le grand plaisir leurs revient en premier lieu pour leurs conseils, aides, et encouragements je vous aime.
À mes chères ***cousines*** *et chers* ***cousins.***
À ma grande mère : je vous souhaite une langue vie pleine de santé.

À toute la famille ***SAIDANI*** *et* ***Nouari*** *et mes proches.*

À toutes mes chères amies : ***Ikram, Roumaissa, Ihcene.***
À ma très chère Binôme ***Adjli Ouahiba****.*
À tous mes chers ***professeurs*** *et chers* ***enseignants*** *qui m'ont enseigné durant 17 ans.*

Roumaissa

Exploration des propriétés bioactives des nanoparticules synthétisées à base d'extraits de plantes.

Résumé

Les plantes médicinales constituent une ressource précieuse en composés bioactifs naturels, mais leur efficacité thérapeutique peut être limitée par une biodisponibilité et une stabilité faible. Dans ce contexte, notre étude vise à valoriser quatre espèces végétales locales — *Sorghum bicolor*, *Salvia officinalis*, *Urtica dioica* et *Artemisia herba-alba* — à travers l'analyse de leurs extraits acétoniques et éthanoliques, ainsi que par la biosynthèse verte de nanoparticules d'argent (AgNPs) à partir de leurs extraits aqueux. Dans un premier temps, nous avons procédé à l'extraction par macération, puis évalué le rendement, effectué un screening phytochimique, dosé les polyphénols et flavonoïdes totaux, et testé les activités antioxydante (DPPH) et antibactérienne (par diffusion sur gélose). Les extraits ont présenté des rendements variables (3 % à 12 %), une richesse en métabolites secondaires, et des teneurs maximales atteignant 140 mg EAG/g pour les polyphénols et 105 mg EQ/g pour les flavonoïdes. Les extraits les plus actifs ont montré une activité antioxydante inhibitrice supérieure à 84 %, et des zones d'inhibition antimicrobienne maximale atteignant les 18 mm contre *Staphylococcus epidermidis*. Dans un second temps, les extraits aqueux ont servi à la synthèse verte d'AgNPs, dont les activités antioxydante et antibactérienne ont été évaluées. Ces nanoparticules ont montré une efficacité accrue, avec un pouvoir antioxydant supérieur et une activité antibactérienne modérée. Ces résultats confirment que l'association entre phytothérapie et nanotechnologie verte permet d'améliorer le potentiel thérapeutique des plantes étudiées, en ouvrant la voie à des applications pharmaceutiques durables, innovantes et adaptées aux enjeux de la médecine moderne.

Mots-clés : Plantes médicinales, Synthèse verte, Activité antioxydante, Activité antibactérienne, molécules bioactives.

Exploring the bioactive properties of nanoparticles synthesized from plant extracts.

Abstract

Medicinal plants represent a valuable source of natural bioactive compounds, but their therapeutic efficacy may be limited by low bioavailability and stability. In this context, our study aims to enhance the value of four local plant species — *Sorghum bicolor*, *Salvia officinalis*, *Urtica dioica*, and *Artemisia herba-alba* — through the analysis of their acetonic and ethanolic extracts, as well as through the green biosynthesis of silver nanoparticles (AgNPs) using their aqueous extracts. Initially, we performed extraction by maceration, followed by yield evaluation, phytochemical screening, quantification of total polyphenols and flavonoids, and assessment of antioxidant activity (via DPPH assay) and antibacterial activity (via agar diffusion method). The extracts exhibited variable yields (3% to 12%), were rich in secondary metabolites, and showed maximum concentrations of up to 140 mg GAE/g for polyphenols and 105 mg QE/g for flavonoids. The most active extracts demonstrated an antioxidant inhibition activity exceeding 84%, and maximum antimicrobial inhibition zones reaching 18 mm against *Staphylococcus epidermidis*. In the second phase, the aqueous extracts were used for the green synthesis of AgNPs, which were then evaluated for their antioxidant and antibacterial properties. These nanoparticles showed enhanced efficacy, with stronger antioxidant power and moderate antibacterial activity. These findings confirm that combining phytotherapy with green nanotechnology can improve the therapeutic potential of medicinal plants, paving the way for sustainable, innovative, and relevant applications in modern pharmaceutical science.

Keywords: Medicinal plants, Green synthesis, Antioxidant activity, Antibacterial activity, Bioactive compounds.

استكشاف الخصائص البيولوجية النشطة للجسيمات النانوية المصنعة باستخدام مستخلصات نباتية

الملخص

تُعدّ النباتات الطبية مصدرًا ثمينًا للمركبات النشطة بيولوجيًا الطبيعية، إلا أن فعاليتها العلاجية قد تكون محدودة بسبب انخفاض التوافر البيولوجي والثبات. وفي هذا السياق، تهدف دراستنا إلى تثمين أربع أنواع نباتية محلية، وهي ***Sorghum bicolor*** :الذرة الرفيعة، ***Salvia officinalis***الميرمية، ***Urtica dioica***(القراص)، و ***Artemisia herba-alba***(الشيح الأبيض)، وذلك من خلال تحليل مستخلصاتها الأسيتونية والإيثانولية، بالإضافة إلى التخليق الأخضر للجسيمات النانوية الفضية **(AgNPs)** باستخدام مستخلصاتها المائية. في المرحلة الأولى، تم إجراء الاستخلاص عن طريق النقع، تلاه تقييم للمردودية، وفحص كيميائي نباتي أولي، وقياس تركيز كل من البوليفينولات والفلافونويدات الكلية، كما تم اختبار النشاط المضاد للأكسدة باستخدام اختبار **DPPH** والنشاط المضاد للبكتيريا (بتقنية النشر على الوسط الصلب). أظهرت المستخلصات مردودًا متغيرًا تراوح بين 3% و12%، وكانت غنية بالمواد الفعالة الثانوية، حيث بلغت أعلى القيم 140 ملغ حمض الغاليك/غ من البوليفينولات و105 ملغ كيرسيتين/غ من الفلافونويدات. وأظهرت المستخلصات الأكثر نشاطًا قدرة تثبيطية ضد الجذور الحرة تجاوزت 84%، مع مناطق تثبيط بكتيري بلغ قطرها الأقصى 18 مم ضد ***Staphylococcus epidermidis*** في المرحلة الثانية، تم استخدام المستخلصات المائية لتخليق جسيمات الفضة النانوية بالتقنية الخضراء، حيث تم تقييم نشاطها المضاد للأكسدة والمضاد للبكتيريا. وقد أظهرت هذه الجسيمات النانوية فعالية متزايدة، مع قدرة مضادة للأكسدة، ونشاطًا مضادًا للبكتيريا بدرجة معتدلة. تؤكد هذه النتائج أن الجمع بين العلاج النباتي والتقنيات النانوية الخضراء يساهم في تحسين الفعالية العلاجية للنباتات المدروسة، ويفتح آفاقًا جديدة نحو تطبيقات صيدلانية مستدامة ومبتكرة تتماشى مع متطلبات الطب الحديث.

الكلمات المفتاحية :النباتات الطبية، التخليق الأخضر، النشاط المضاد للأكسدة، النشاط المضاد للبكتيريا، المركبات النشطة بيولوجيًا.

Table des matières

Introduction générale 1

References bibliographiques 3

Chapitre I : les nanoparticules 4

I.1.Introduction 5

I.2. Le nanomètre 5

I.3. Nanoparticules 6

I.4. Nanoparticules d'argent 6

I.4.1. PRÉSENTATION GÉNÉRALE 6

I.4.2. PROPRIÉTÉS DES NANOPARTICULES D'ARGENT 7

I.4.3. MÉTHODES DE SYNTHÈSE DES NANOPARTICULES D'ARGENT 8

I.4.3.1. Méthodes physiques *9*

a) évaporation/condensation 10

b) ablation laser 10

I.4.3.2. Méthodes chimiques *10*

I.4.3.3. Méthodes biologiques (synthèse verte) *11*

I.4.4. APPLICATIONS DES NANOPARTICULES D'ARGENT 13

I.4.4.1. Nanoparticules d'argent dans les traitements environnementaux *14*

I.4.4.1.1. Désinfection de l'air 14

I.4.4.1.2. Désinfection de l'eau 14

I.4.4.1.3. Désinfection des surfaces 14

I.4.4.2. Applications médicales des nanoparticules d'argent *14*

I.4.4.2.1. Implants cardiovasculaires 15

I.4.4.2.2. Pansements 15

I.4.4.2.3. Utilisation des nanomatériaux dans l'administration de médicaments 15

I.4.4.3. Applications biologiques des nanoparticules d'argent *15*

I.4.4.3.1. Activité antibactérienne 15

I.4.4.3.2. Activité antifongique 16

I.4.4.3.3. Activité antioxydante 17

I.4.5. TECHNIQUES DE CARACTÉRISATION DES NANOPARTICULES D'ARGENT 18

I.4.5.1. Spectroscopie uv-visible *18*

Table des matières

I.4.5.2. Diffraction des rayons x (xrd) *18*
I.4.5.4. Diffusion dynamique de la lumière (dls) *19*
I.4.5.5. Microscopie *19*
I.4.5.5.1. Microscopie électronique à balayage (meb) 19
I.4.5.5.2. Microscopie électronique à transmission (met) 19
Réferences bibliographiques 21
Chapitre II: présentation des plantes étudiées 27
II.1. Plantes médicinales : définition et usage 28
II.2. Généralités sur les espèces étudiées 28
II.2.1 SORGHO 28
II.2.1.1. Classification botanique *28*
II.2.1.2. Description morphologique *29*
II.2.1.3. Répartition géographique et exigences pédoclimatiques de sorgho *30*
II.2.1.4. Importance thérapeutique *30*
II.2.2. ARMOISE 31
II.2.2.1. Classification botanique *31*
II.2.2.2. Description morphologique *31*
II.2.2.3. Répartition géographique *32*
II.2.2.4. Importance thérapeutique *33*
II.2.3. SAUGE 34
II.2.3.1. Classification botanique *34*
II.2.3.2. Description morphologique *35*
II.2.3.3. Répartition géographique et exigences pédoclimatiques *35*
II.2.3.4. Importance thérapeutique *36*
II.2.4. ORTIE 37
II.2.4.1. Classification botanique *37*
II.2.4.2. Description morphologique *37*
II.2.4.3. Répartition géographique et exigences pédoclimatiques *38*
II.2.4.4. Importance thérapeutique *38*
II.3. Principaux groupes de métabolites à effet antioxydant et antimicrobien 39
II.3.1. POLYPHÉNOLES 39

Table des matières

II.3.1.1. Flavonoïdes *39*
II.3.1.2. Tannins *39*
II.3.1.2.1. Tanins hydrolysables 39
II.3.1.2.2. Tanins condensés 39
II.3.1.3. Coumarines *40*
II.3.2. Alcaloïdes *41*
References bibliographiques 42
Chapitre III:Matériels et méthodes 49
III.1. Objectifs et demarche globale 50
III.2. Matériel d'étude 51
III.2.1. MATÉRIEL NON BIOLOGIQUE 51
III.2.2. MATÉRIEL BIOLOGIQUE 52
III.2.2.1. Souches microbiennes *52*
III.2.2.2. Matériel végétal *52*
III.3. Méthodes 52
III.3.1. PRÉPARATION DES ÉCHANTILLONS 52
III. 3.1.1. Lavage *52*
III. 3.1.2. Séchage *52*
III. 3.1.3. Broyage *52*
III. 3.2. PRÉPARATION DES EXTRAITS 53
III.3.2.1. Préparation des extraits bruts (éthanolique et acétonique) 53
III. 3.2.2. Conservation des extraits 53
III.3.3. Détermination du rendement d'extraction *54*
III.3.4. Screening phytochimique *54*
III.3.4.1. Test des alcaloïdes 54
III.3.4.2. Test des flavonoïdes 54
III.3.4.3. Test des tanins 54
III. 3.4. 4. Test des quinones libres 54
III.3.4.5. Test des glycosides cardiaques 54
III.3.5. Dosage de molécules bioactives *55*
III.3.5.1. Dosage des polyphénols totaux 55

Table des matières

III.3.5.2. Dosage des flavonoïdes....55
III.3.6. SYNTHÈSE VERTE....56
III.3.6.1. Préparation des extraits aqueux de plantes....56
III.3.6.2. Biosynthèse verte du d'agnps....58
III.3.6.3. Techniques de caractérisation des nanoparticules d'argent....59
III.3.6.3.1. Spectroscopie uv-visible....59
III.3.7. ACTIVITÉ BIOLOGIQUE....59
III.3.7.1. Activité antioxydante....59
III.3.7.1.1. Evaluation de pouvoir antioxydant....59
III.3.7.1.2. Effet scavenger du radical dpph....59
III.3.7.1.3. Principe....60
III.3.7.1.4. Mode opératoire....60
III.3.7. 2. Activité antibactérienne....61
III.3.7.2.1. Principe....61
III.3.7.2.2. Mode opératoire....61
III.3.7.2.2.1. Milieux de culture utilisés....61
III. 3.7.2.2. 2. Conservation des souches....62
III. 3.7.2.2.3. Choix de l'antibiotique....62
III.3.7.2.2.4. Préparation des précultures....62
III. 3.7.2.2. 5. Préparation de la suspension bactérienne....64
III. 3.7.2.2. 6. Préparation des dilutions des extraits testés....64
III. 3.7.2.2. 7. Ensemencement....64
III. 3.7.2.2. 8. Application des disques....65
III. 3.7.2.2. 9. Incubation....66
III. 3.7.2.2. 10. Expression des résultats....66
Références bibliographiques....67
Résultats et discussions....68
IV.1. Evaluation du rendement de l'extraction....69
IV.2 analyse phytochimique et biologique des extraits acétonique et éthanolique des plantes étudies....69
IV.2.1. SCREENING PHYTOCHIMIQUE....69
IV.2.2. DOSAGE DES POLYPHÉNOLS....71

Table des matières

IV.2.3. DOSAGE DES FLAVONOÏDES....73
IV.3.1. EVALUATION VISUELLE DES NANOPARTICULES D'ARGENT....76
IV.3.1.1. Formulation 1 (extrait de sauge + $agno_3$)....76
IV.3.1.2. Formulation 2 (extrait de l'ortie + $agno_3$)....77
IV.3.1.3. Formulation 3 (extrait de sorgho mélange + $agno_3$)....77
IV.3.2. EVALUATION DES PROPRIÉTÉS OPTIQUES DES NANOPARTICULES D'ARGENT....78
IV.3.3. ANALYSE DE LA TAILLE DES PARTICULES ET DU POTENTIEL ZÊTA....81
IV.3.4. EVALUATION DE L'ACTIVITÉ ANTIOXYDANT DES NANOPARTICULES D'ARGENT....82
IV.3.4.1. Evaluation de l'activité antioxydant de sa-agnps....82
IV.3.4.2. Evaluation de l'activité antioxydant d'or-agnps....83
IV.3.4.3. Evaluation de l'activité antioxydant de so-agnps....83
IV.4. Evaluation de l'activité antibactérienne des extraits et des nanoparticules....83
References bibliographique....87
Conclusion generale....89
Annex....92

Liste des figures

Figure I.1: Différentes tailles de matière 6
Figure I.2 : Synthèse des nanomatériaux (NPs) via approches top-down et bottom-up 9
Figure I.3 : représentation schématique des différentes méthodes de synthèse des AgNPs 9
Figure I.4 :Procédure de la synthèse verte des NPs-Ag à partir de plantes 12
Figure I.5 : Vue d'ensemble des applications biomédicales des nanoparticules d'argent (AgNPs) 13
Figure II.1: Evolution du genre Sorghum 29
Figure II.3: Touffe d'armoise blanche (Artemisia herba alba Asso) 32
FigureII.4 : Aire de répartition de l'Armoise blanche en Algérie 33
Figure II.5 : La sauge (Salvia officinalis L.) A. Fleurs de la sauge ; B. Feuille de la sauge ..35
Figure II.6 : Répartition géographique du genre Salvia dans le monde.....36
FigureII.7 : Aspect générale de l'ortie 38
Figure II.8: Structure générale du noyau des flavonoïdes 39
Figure II.9 : Tanin condensé. 40
FigureII.10 : Tanin hydrolysable 40
Figure II.11: Structure chimique des alcaloïdes 41
Figure III.1: Préparation des extraits secs (Acétonique et éthanoliques) de plantes. 53
Figure III. 2 : préparation des extraits aqueux de plantes. 57
Figure III. 3 : Biosynthèse verte des Ag-NPs 58
Figure III.4: la couleur de la solution de DPPH avant et après l'ajout d'un antioxydant. 60
Figure III.5: Antibiotique Ofloxacine. 62
Figure III.6: La réactivation des souches bactériennes dans le bouillon nutritif. 63
Figure III.7: Repiquage des souches bactériennes. 63
Figure III.8: préparation des suspensions bactériennes. 64
Figure III.9: L'étape d'ensemencement. 65
Figure III.10: Application des disques. 65
Figure IV.1 : Rendement d'extraction. 69
Figure IV.2 : Le taux des polyphénols totaux des extraits (acétonique = E Acé et éthanoliques = E Eth) de diffèrent espèces. 72
Figure IV.3: Le taux des flavonoïdes des extraits (acétonique et éthanolique) des espèces étudiées. 73

Liste des figures

Figure IV.4 : Evaluation de l'activité antioxydante des extraits acétoniques et éthanoliques des différentes espèces. 76
Figure IV.5 : Image représente le virage de couleur de Formulation 1. 77
Figure IV.8 : Spectres UV-visible des nanoparticules d'argent synthétisée à base de feuilles de sauge (SA-AgNPs) (A : Le spectre d'extrait aqueux, B : Le spectre des AgNPs à 30 min). 79
Figure IV.10 : Spectres UV-visible des nanoparticules d'argent synthétisées à base de sorgho mélange (SO-AgNPs) 80
Figure IV. 11 : Pourcentages d'inhibition du DPPH• en fonction des concentrations des échantillons des nanoparticules d'argent synthétisées en utilisant l'extrait de feuilles de sauge. 82
Figure IV.12 : Effet de l'extrait éthanolique, acétonique, aqueux et la formulation (NPS) de la sauge sur Staphylococcus aureus 83
Figure IV.13 : Effet de l'extrait éthanolique, acétonique, aqueux et la formulation (NPS) de la sauge sur *Staphylococcus epidermidis* 84
Figure IV.14 : Effet régional de l'extrait éthanolique de l'Artemisia sur *Staphylococcus aureus* (D : Djelfa ; B : Bordj Bou Arreridj ; T : Tamanrasset)..... 85
Figure IV.15: Effet régional de l'extrait éthanolique de l'Artemisia sur *Staphylococcus epidermidis* (D : Djelfa ; B : Bordj Bou Arreridj ; T : Tamanrasset)..... 85
Figure IV.16 : Effet de l'extrait éthanolique, acétonique et la formulation (NPS) de l'Ortie sur *Staphylococcus epidermidis.* 86
Figure IV.17: Effet de l'extrait éthanolique, acétonique, et la formulation (NPS) de Sorgho *Staphylococcus epidermidis* 86

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Propriétés de l'argent (Renner, 2000).....7
Tableau II.1: Classification botanique d'Artemisia herba alba Asso 31
Tableau II.2 : Classification botanique de *S. officinalis* 34
Tableau II.3 : Classification botanique de Urtica dioica L 37
Tableau III.1: matériels utilisés.....51
Tableau III.2 : Les souches bactériennes utilisées. 52
Tableau III.3: Préparation de la la gamme d'étalon de la quercétine 56
Tableau IV.1: Screening chimique des extraits éthanolique et acétonique des espèces étudies. 71
Tableau IV.2 : Analyse de la taille des particules et du potentiel zêta des AgNPs à l'aide de l'appareil Horibal SZ-100.....81
Tableau IV.3: Les diamètres des zones d'inhibitions. 86

Liste des abréviations

$AgNO_3$: Nitrate d'argent

AgNPs : Nanoparticules d'argent

NPs : Nanoparticules

Mm : Millimètre

MH : Muller Hinton

°C : Degré Celsius

Ml : Millilitre

UFC : Unité formatrice de colonie

DO : Densitomètre

UV-VIS : Spectroscopie ultra-violet visible

FT-IR : Spectroscopie Infrarouge A Transformée De Fourier

Ag : Argent

Ag+ : Ion d'argent

Nm : Nanomètre ($1nm = 10^{-9}m$)

ATCC: American Type Culture Collection



Introduction Générale

Introduction générale

Depuis l'Antiquité, les plantes médicinales constituent une ressource précieuse pour soulager et traiter diverses affections humaines. Leur efficacité est principalement attribuée à la richesse en métabolites secondaires, des composés naturels bioactifs souvent concentrés dans des organes ou cellules spécifiques de la plante (Rauter et al., 1989 ; Joao et al., 1998). Ces substances confèrent aux plantes une variété de propriétés pharmacologiques, expliquant leur place centrale dans de nombreuses médecines traditionnelles à travers le monde.

Les extraits de plantes médicinales, obtenus par des procédés simples ou plus élaborés, présentent une remarquable diversité chimique. Ils contiennent notamment des flavonoïdes, polyphénols, alcaloïdes, et terpènes, qui leur confèrent des activités antioxydantes, antimicrobiennes, anti-inflammatoires, antiparasitaires, voire anticancéreuses. Comparés aux traitements de synthèse, ces extraits offrent une alternative naturelle, souvent plus économique, avec une meilleure tolérance et une compatibilité accrue avec l'organisme humain.

L'Algérie abrite une flore médicinale riche, particulièrement dans les régions semi-arides et méditerranéennes. Des espèces comme *Artemisia herba-alba*, utilisée traditionnellement contre les troubles digestifs et cutanés (De Pascual et al., 1984 ; Joao et al., 1998 ; Akrout et al., 2001), ou *Salvia officinalis*, connue pour ses effets antiseptiques et sa capacité à soulager les affections respiratoires (Iserin, 2001), sont parmi les plus courantes. L'ortie dioïque (*Urtica dioica*), très répandue dans les zones humides, est réputée pour ses propriétés antioxydantes, antibactériennes et antifongiques (Francine, 2005 ; Ait Hadj Said, 2016), tandis que le sorgho (*Sorghum bicolor*), céréale des zones chaudes, présente un potentiel thérapeutique étendu incluant des effets anti-inflammatoires, antiviraux, antifongiques et hépatoprotecteurs (Dykes, 2009 ; Ademiluyi, 2014).

Cependant, malgré leur intérêt thérapeutique, l'utilisation des extraits végétaux peut être limitée par une faible stabilité, une biodisponibilité réduite ou une efficacité variable. Les nanotechnologies offrent aujourd'hui une réponse prometteuse à ces limites. Ce champ scientifique, qui s'intéresse à la manipulation de la matière à l'échelle nanométrique (1 à 100 nm), permet de créer des matériaux dotés de propriétés physicochimiques uniques (Ramsden, 2005). Dans ce cadre, la biosynthèse verte de nanoparticules, notamment celles à base d'argent, suscite un intérêt croissant. En utilisant des extraits de plantes comme agents réducteurs et stabilisants, cette approche allie efficacité, respect de l'environnement, et potentiel thérapeutique renforcé (Zargar et al., 2011).

C’est dans cette perspective que s’inscrit notre travail, qui vise à valoriser certaines plantes médicinales locales à travers l’étude de leurs extraits et leur utilisation dans la biosynthèse de nanoparticules d’argent, dans le but d'améliorer leur efficacité biologique.

Le présent mémoire s’articule autour de plusieurs axes complémentaires, combinant revue bibliographique, caractérisation botanique des espèces sélectionnées, méthodologie expérimentale et analyse des résultats obtenus. Cette approche intégrée vise à évaluer la pertinence de l'association entre extraits de plantes et nanotechnologie dans le développement de solutions thérapeutiques innovantes.

Références bibliographiques

Ademiluyi AO, Oboh G, Agbebi OJ, Boligon AA and Athayde ML. (2014). Sorghum [Sorghum bicolor (L.) Moench] leaf sheath dye protects against cisplatin-induced hepatotoxicity and oxidative stress in rats. J Med Food, 17 (12), 1332–1338.

Ait hadj said A.., (2016). Mise en valeur du potentiel nutritionnel et thérapeutique de l'ortie dioïque (Urtica dioïca L.). Hegel, vol. N° 3, no. 3, pp. 280–292.

Akrout A., Gonzalez L.A., El Jani H.J., and Madrid P.C. (2011). Antioxidant and antitumor activities of Artemisia campestris and Thymelaeahirsuta from southern of Tunisia. J. Food. Chem. Tox. 49: 342–347.

De Pascual J.T., Gonzalez M.S., Muriel M.R and Bellid I.S. (1984). Phenolic derivatives from Artemisia campestris Subsp Glutinosa. Phytochemistry. 23 (8): 1819-1821.

Dykes L, Seitz L, Rooney WL and Rooney LW. (2009). Flavonoid composition of red sorghum genotypes. Food Chem, 116, 313–317.

Francine D., (2005). L'ortie dioique (urtica dioica l.) universite henri poincare nancy 1 ISERIN. P., (2001). Encyclopédie des plantes médicinales, Larousse, 335p.

Joa O.M., Vasconcelos., Artur M.S.S and Jose A.S.C. (1998). Chromones and flavones from Artemisia campestrisSubspMaritima. Phytochemistry. 49 (5) : 1421-1424.

Ramsden Jeremy J,(2005), what is nanotechnology? Nanotechnology Perceptions 1, 3–17.

Rauter A.P., Branco I., TostaoZ., Pais M.S., Gonzalez A.G et Bermejo J.B. (1989). Flavonoids from Artemisia campestris Subsp Maritima. Phytochemistry. 28 (8) : 2173-2175

Zargar M, Hamid AA, Bakar FA, Shamsudin MN, Shameli K, Jahanshiri F, Farahani F. (2011). Green synthesis and antibacterial effect of silver nanoparticles using Vitex negundo L. Molecules 16(8):6667-6676.



CHAPITRE I

Nanoparticules

I.1.Introduction

Les nanosciences et les nanotechnologies constituent aujourd'hui l'un des domaines de recherche les plus prometteurs en sciences des matériaux. Elles englobent le développement technologique de structures, de dispositifs et de systèmes conçus à partir d'objets de taille nanométrique. Ces avancées scientifiques ont donné naissance aux nanosciences en tant que discipline à part entière.

Ces dernières années, les matériaux à l'échelle nanométrique ont suscité un intérêt croissant en raison de leurs propriétés physiques et chimiques uniques, souvent très différentes de celles de leurs équivalents en volume massif. Ces caractéristiques particulières font des nanoparticules un domaine de recherche en constante évolution, stimulant l'élaboration de nouvelles méthodes de synthèse visant à contrôler précisément leur taille et leur forme (Rafique et al. 2017).

I.2. Le nanomètre

Le préfixe « nano », issu du grec nano signifiant « nain » ou « très petit », est utilisé pour désigner des dimensions extrêmement réduites. Il s'inscrit dans la série des unités de mesure telles que le kilomètre, le millimètre, le micromètre et le nanomètre (Jong et al. 2005)**.** Le nanomètre, symbolisé par nm, est une unité de mesure de longueur du Système International (SI), équivalente à 10^{-9} mètres (Jeevanandam et Barhoum, 2018)**.** Pour mieux saisir l'extrême petitesse d'un nanomètre, voici quelques comparaisons (Figure I.1) :

- L'épaisseur d'un cheveu humain est d'environ 80 000 nm.
- Un globule rouge mesure près de 7 000 nm de diamètre.
- La molécule d'ADN a une largeur de 2 à 2,5 nm.
- L'atome d'hydrogène a une taille d'environ 0,1 nm.
- Certains virus ont un diamètre avoisinant les 100 nm (Ersöz et al. 2018)**.**

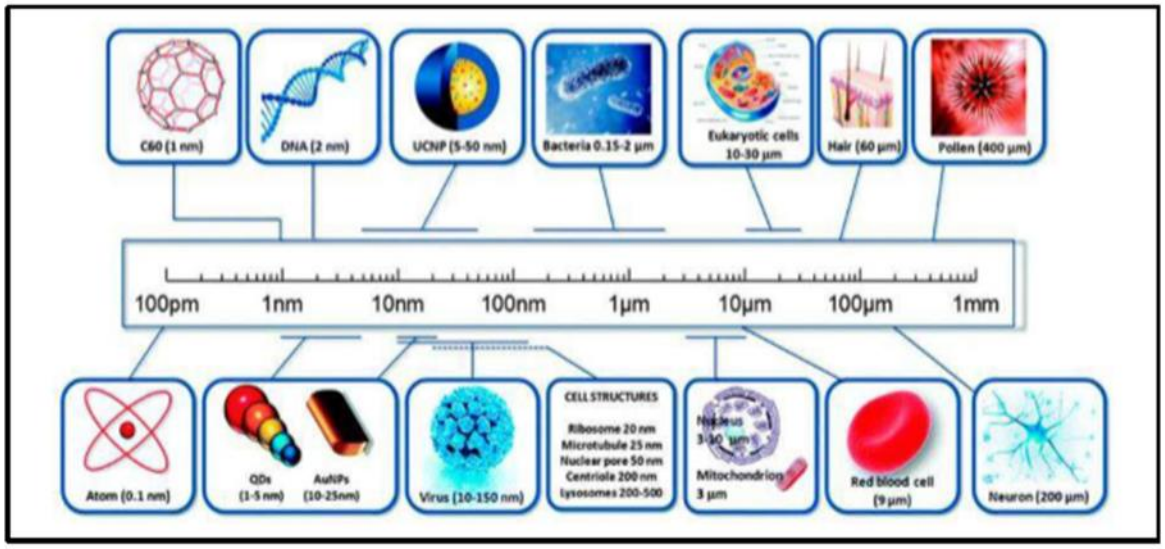


Figure I.1: Différentes tailles de matière (Bayda et al. 2020).

I.3. Nanoparticules

On parle de nanoparticules (NPs) lorsqu'une particule possède une dimension inférieure à 100 nanomètres (Christian et al. 2008). Étant donné que le rayon moyen d'un atome est d'environ 0,1 nm, une nanoparticule peut être constituée de quelques dizaines à plusieurs centaines d'atomes. Parmi les exemples les plus connus figurent les fullerènes, composés de 60 ou 70 atomes de carbone seulement. Leur très petite taille confère aux nanoparticules une surface spécifique très importante (Zeyons 2008).

Le terme « nanoparticule » regroupe plusieurs grandes catégories, notamment :

- Les nanoparticules à base de carbone, telles que les fullerènes, les feuillets de graphène, les nanofibres de carbone, le noir de carbone ou encore les nanomousses de carbone.
- Les nanoparticules métalliques, comme celles à base d'argent, d'or, de cuivre ou de fer, ainsi que les oxydes métalliques (par exemple, les oxydes de fer, de zinc ou de cuivre).
- Les nanoparticules organiques, dérivées de polymères organiques.
- Les nanoparticules d'origine biologique, issues de systèmes vivants (Ostiguy et al. 2010).

I.4. Nanoparticules d'argent

I.4.1. Présentation générale

L'argent, 47e élément du tableau périodique, est un métal noble de couleur blanc-gris, solide à température ambiante. Il possède deux isotopes naturels majoritaires : ^{107}Ag (51,8

%) et ^{109}Ag (48,2 %) (Tableau I.1) (Renner 2000). Peu sujet à l'oxydation, il a longtemps été utilisé en médecine, notamment pour traiter les brûlures (Chauvel R. 2018) et soigner les ulcères. Grâce à ses propriétés antibactériennes, l'argent servait aussi à purifier l'eau potable, en la conservant dans des récipients en argent (Mathur et al. 2018). Par ailleurs, ses excellentes conductivités thermique et électrique, ainsi que sa forte réflectivité optique, en font un matériau de choix dans de nombreuses applications industrielles**,** notamment sous forme d'alliage (Reti et Mridha, 2016)**.**

Tableau I.1 : Propriétés de l'argent (Renner, 2000).

Propriétés	
	T_{fusion}= 961.9 °C $T_{ébultion}$= 2212 °C M=107.8682 g/mol Pratiquement insoluble dans l'eau Rayon atomique=0.1445 nm Conductivité thermique= 418 W $m^{-1}k^{-1}$ Capacité thermique spécifique à 25° C= 0.23 J Kg^{-1} K^{-1} Densité à 20°C= 10.49 g/cm^3 Densité du liquide à 1250°C= 9.05 g/cm^3 Dureté Brinell= 26 Paramètre cristallin à 20°C = 0.4086 nm Configuration électronique : [Kr]$4d^{10}5s^1$

Parmi les diverses nanoparticules métalliques, les nanoparticules d'argent (AgNPs) figurent parmi les nanomatériaux les plus importants et les plus prometteurs (Nasrollahzadeh et al. 2019). Elles sont généralement constituées d'environ 80 % d'atomes d'argent et 20 % d'ions argent. Devant les nanotubes de carbone et les nanoparticules de titane, les AgNPs représentent les nanoparticules les plus commercialisées (Paris et al. 2013).

I.4.2. Propriétés des nanoparticules d'argent

Les nanoparticules d'argent (AgNPs) présentent des propriétés physico-chimiques uniques, notamment une excellente conductivité électrique et thermique, une stabilité chimique élevée, une activité catalytique remarquable, ainsi qu'un comportement optique non linéaire (Tran et al. 2013). Elles possèdent également des propriétés mécaniques et magnétiques améliorées par rapport à leurs homologues sous forme massive (De Lima et al. 2012). Parmi ces propriétés, on distingue :

Propriétés optiques

Les AgNPs ont une capacité exceptionnelle à absorber et diffuser la lumière. Contrairement aux pigments et colorants classiques, leur couleur varie en fonction de la taille et de la forme des particules (Abbasi et al. 2016).

Chimie de surface

En solution, les molécules peuvent interagir avec la surface des nanoparticules, formant une double couche électrique. Cette couche stabilise les AgNPs et empêche leur agrégation (Abbasi et al. 2016).

Propriétés biologiques

Les composés à base d'argent se sont révélés efficaces contre les bactéries aérobies et anaérobies. Leur mode d'action repose sur la précipitation des protéines cellulaires et l'inhibition du système respiratoire microbien (Abbasi et al. 2016).

I.4.3. Méthodes de synthèse des nanoparticules d'argent

La synthèse des nanoparticules d'argent peut se faire selon deux approches principales (Figure I.2) :

La méthode **« top-down »** (ou descendante), qui consiste à broyer le métal afin d'obtenir des particules nanométriques.

La méthode **« bottom-up »** (ou ascendante), qui repose sur l'assemblage progressif d'atomes, de molécules ou de petits agrégats pour former des nanostructures.

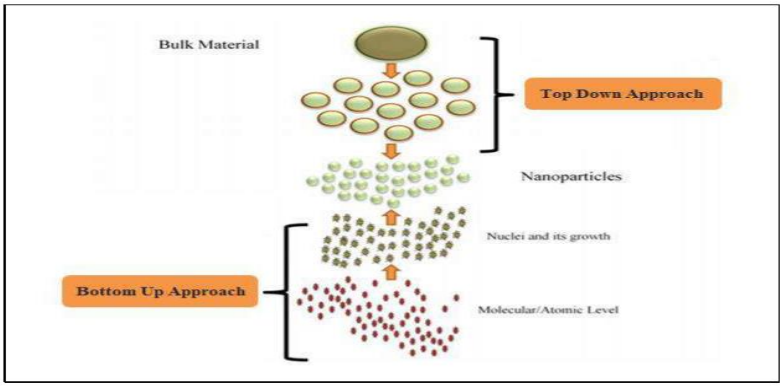


Figure I.2 : Synthèse des nanomatériaux (NPs) via approches top-down et bottom-up (Khanna et al. 2019).

De manière générale, les techniques de synthèse des nanoparticules d'argent sont regroupées en trois grandes catégories : physiques, chimiques, et biologiques ou dites «verte» (Zhang et al. 2016) (Figure I.3).

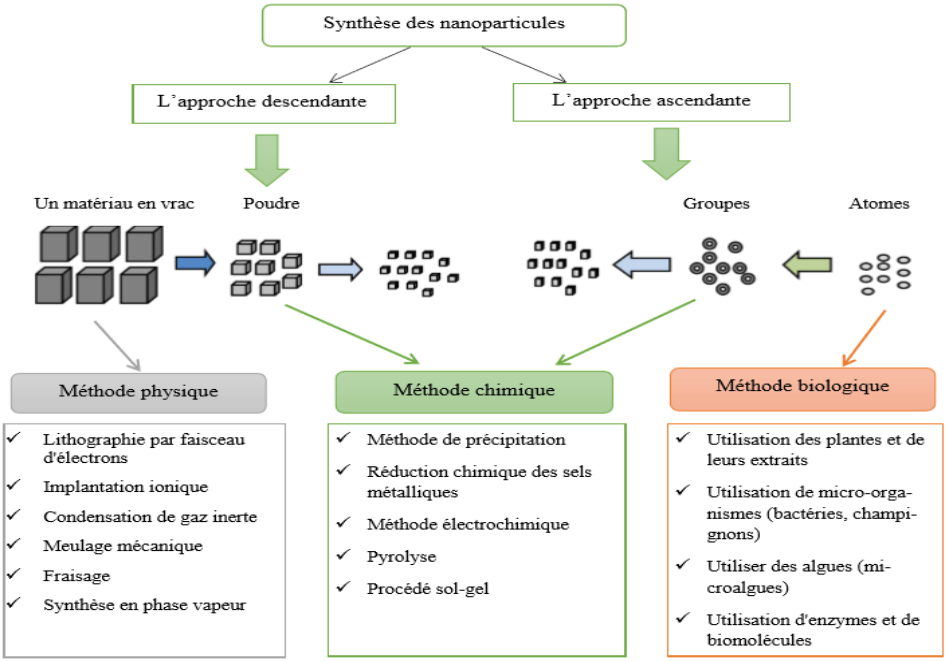


Figure I.3 : représentation schématique des différentes méthodes de synthèse des AgNPs (Patra and Baek, 2014).

I.4.3.1. Méthodes physiques

Les principales approches physiques pour la synthèse des nanoparticules d'argent sont les

suivantes :

a) Évaporation/condensation

Cette méthode consiste à chauffer le métal dans un four tubulaire à pression atmosphérique jusqu'à son évaporation, suivie d'un refroidissement rapide pour former les nanoparticules. Toutefois, cette technique présente des inconvénients notables tels qu'une consommation énergétique élevée et une montée en température lente, rendant le processus moins efficace. Une variante a été proposée en utilisant un dispositif de chauffage en céramique, où la zone chauffée est plus restreinte. Cela permet un refroidissement plus rapide de la vapeur produite, ce qui favorise une plus grande concentration de nanoparticules (Jung et al. 2006).

b) Ablation laser

L'ablation laser permet de générer des nanoparticules d'argent en solution sans recourir à des réactifs chimiques, ce qui donne un colloïde de grande pureté. Les caractéristiques des nanoparticules obtenues telles que leur concentration et leur morphologie dépendent principalement de la longueur d'onde du laser, ainsi que de la fréquence et de la durée de ses impulsions (Shahzadi et al. 2018). Ce procédé peut également être réalisé sans liquide, produisant ainsi directement des nanoparticules sèches plutôt qu'une suspension. Cependant, ces méthodes souffrent de certains désavantages, notamment une consommation énergétique importante, un temps de production relativement long et un faible rendement en produit final.

I.4.3.2. Méthodes chimiques

La réduction chimique est la méthode la plus couramment employée pour la synthèse des nanoparticules d'argent. Elle se réalise en phase liquide, que ce soit dans de l'eau ou un solvant organique, et repose sur l'utilisation de trois éléments essentiels : un sel d'argent, un agent réducteur et un agent stabilisant (Simchi et al. 2007).

- Le nitrate d'argent est le sel le plus utilisé en raison de son coût relativement bas et de sa bonne stabilité chimique par rapport à d'autres sels d'argent.

- Parmi les agents réducteurs fréquemment employés figurent le borohydrure, le citrate, l'ascorbate et le glucose

- Les agents stabilisants, tels que les surfactants ou les polymères, sont indispensables pour éviter l'agrégation des nanoparticules d'argent en solution.

Cette méthode présente l'avantage de permettre une synthèse relativement simple et efficace des nanoparticules. Toutefois, elle comporte des inconvénients notables, notamment l'utilisation de substances chimiques potentiellement dangereuses et la formation de résidus toxiques pouvant rester fixés sur les nanoparticules après la réaction (Rahuman. 2022).

I.4.3.3. Méthodes biologiques (Synthèse verte)

Les méthodes biologiques de synthèse des nanoparticules d'argent suscitent un intérêt croissant en raison de leur faible impact environnemental. Contrairement aux approches chimiques classiques, elles ne nécessitent ni solvants organiques ni réactifs chimiques, car les rôles de l'agent réducteur et du stabilisant sont assurés par des molécules issues d'organismes vivants.

Parmi les organismes employés, on retrouve des micro-organismes tels que les bactéries (Lee and Jun 2019), les levures (Rafique et al. 2017), les algues (Kathiraven et al. 2015), et les plantes (Chauvel, 2018).

Les plantes représentent une option particulièrement prometteuse pour une synthèse rapide et efficace des nanoparticules d'argent (Figure I.4). Leur richesse en métabolites secondaires bioactifs (polyphénols, flavonoïdes, terpénoïdes, acides aminés, protéines, enzymes) leur confère une double fonction : agents réducteurs et stabilisants (Chauvel. 2018). Différentes parties de la plante peuvent être utilisées pour cette synthèse : racines, tiges, feuilles et graines (Rafique et al. 2017).

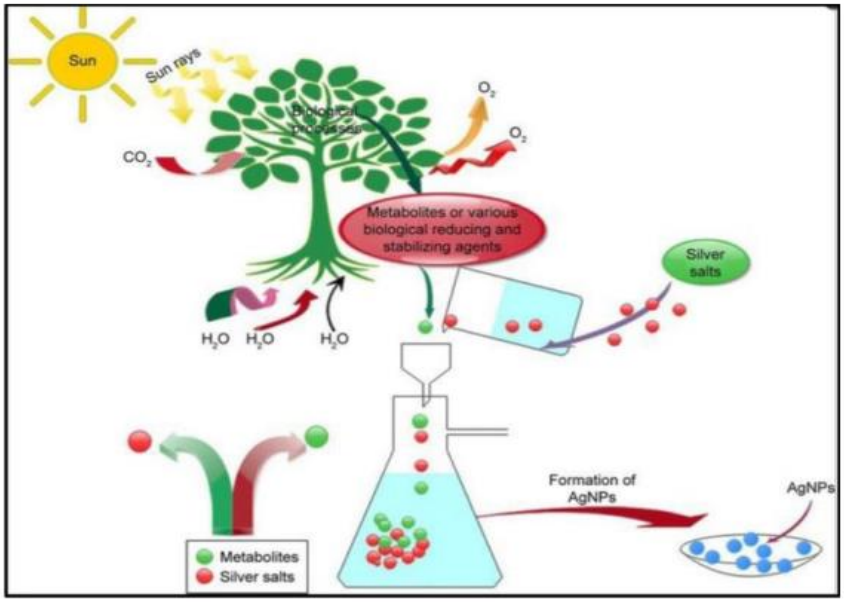


Figure I.4 : Procédure de la synthèse verte des NPs-Ag à partir de plantes (Chauvel. 2018).

La synthèse de nanoparticules d'argent a été réalisée à partir d'un extrait de feuilles d'*Eugenia jambolana* (Gomathi, 2017)**,** et un criblage phytochimique a été effectué. Des travaux antérieurs rapportent également la formation de nanoparticules d'argent (AgNPs) à partir de *Syzygium cumini* (De Carvalho Bernardo et al. 2021) et d'*Eugenia caryophyllata* (Barbinta-Patrascu et al. 2020), ainsi que leurs applications biologiques. Par ailleurs, la formation de nanoparticules d'argent à partir d'un extrait de feuilles d'*Eugenia uniflora* a été réalisée, et leur potentiel antibactérien et antidiabétique a été évalué (Dugganaboyana, 2020).

Les principaux paramètres influençant l'efficacité de cette méthode sont la concentration de l'extrait végétal, la température, la nature du sel métallique, le pH, et la durée du contact entre les réactifs (Rafique et al. 2017).

Ce procédé est considéré comme une alternative écologique, économique et à haut rendement, produisant des nanoparticules non toxiques, stables, immédiatement solubles dans l'eau, avec une bonne densité (Zhang et al., 2016 ; Soliman et al. 2018). En comparaison, les méthodes physiques et chimiques présentent plusieurs limitations : faible biocompatibilité, risques pour la santé, consommation énergétique élevée, conditions opératoires coûteuses (température, pression), et rendement souvent limité (Mohamed et al. 2019).

I.4.4. Applications des nanoparticules d'argent

La menace croissante d'une propagation mondiale de microbes résistants aux antibiotiques rend indispensable le développement de nouveaux agents bactéricides, capables non seulement de traiter efficacement les infections, mais aussi de servir de base à la découverte de composés antimicrobiens plus puissants contre les agents pathogènes multirésistants (MDR) (Kapil, 2005). Les nanoparticules d'argent (AgNPs) sont reconnues depuis des décennies pour leur efficacité biocide contre divers micro-organismes, et sont largement utilisées dans la prévention et le traitement des infections (Oei et al. 2012). En raison de leurs nombreuses propriétés, les AgNPs trouvent des applications variées dans les produits domestiques, l'industrie agroalimentaire, le secteur médical, ainsi que dans les domaines environnementaux et biologiques (Figure I.5).

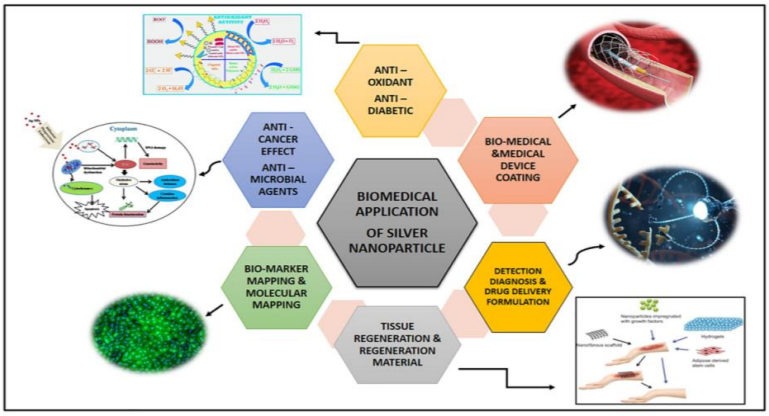


Figure I.5 : Vue d'ensemble des applications biomédicales des nanoparticules d'argent (AgNPs) (Rahuman. 2022).

I.4.4.1. Nanoparticules d'argent dans les traitements environnementaux

La production de formes stables et efficaces de nanoparticules d'argent (AgNPs) ouvre de nouvelles perspectives dans les domaines de l'hygiène environnementale et de la stérilisation, grâce à leurs propriétés antimicrobiennes et désinfectantes (Tran et al. 2013).

I.4.4.1.1. Désinfection de l'air

Selon l'Organisation mondiale de la santé (OMS), près de 50 % de la contamination biologique de l'air intérieur proviendrait des systèmes de traitement de l'air. Ces systèmes favorisent l'accumulation de microorganismes, dont des agents pathogènes bactériens et fongiques, sur les filtres de chauffage, de ventilation et de climatisation. L'intégration des AgNPs dans ces filtres a permis de réduire significativement la charge bactérienne, notamment pour les souches Gram négatif et Gram positif telles que *Micrococcus luteus*, *Micrococcus roseus*, *Bacillus subtilis* et *Pseudomonas luteola* (Tran et al. 2013).

I.4.4.1.2. Désinfection de l'eau

Les nanoparticules d'argent peuvent être intégrées dans des matériaux supports ou des membranes polymères utilisées pour le traitement de l'eau. Elles permettent d'éliminer les bactéries et les virus présents dans l'eau contaminée, tout en empêchant la formation de biofilms au sein des systèmes de filtration. Cette propriété contribue à réduire les maladies hydriques, particulièrement dans les pays en développement, où l'eau potable est souvent mal traitée (Tran et al. 2013).

I.4.4.1.3. Désinfection des surfaces

Des recherches ont montré que l'ajout d'AgNPs à la peinture d'intérieur confère aux surfaces peintes des propriétés antibactériennes efficaces contre des bactéries Gram positif comme *Staphylococcus aureus*, et Gram négatif comme *Escherichia coli* (Lee and Jun, 2019). Par ailleurs, les AgNPs sont également utilisés dans certains emballages alimentaires afin d'améliorer leur action bactéricide et de prolonger la durée de conservation des aliments (Chauvel, 2018).

I.4.4.2. Applications médicales des nanoparticules d'argent

Depuis l'Antiquité, l'argent est reconnu pour ses propriétés thérapeutiques et a été utilisé dans le traitement de nombreuses pathologies (Dos Santos et al. 2014)

I.4.4.2.1. Implants cardiovasculaires

Le tout premier dispositif cardiovasculaire intégrant de l'argent était une valve cardiaque en silicone prosthétique, destinée à réduire les risques d'endocardite. L'utilisation de l'argent dans ce contexte visait à prévenir les infections bactériennes au niveau de la valve et à limiter les réactions inflammatoires cardiaques (Rafique et al. 2017).

I.4.4.2.2. Pansements

Les pansements enrichis en argent sont couramment utilisés en milieu clinique pour le traitement de diverses blessures, telles que les brûlures, le pemphigus ou la nécrolyse épidermique toxique. Ces pansements favorisent la cicatrisation en accélérant la réépithélialisation, tout en soutenant l'angiogenèse et la régénération tissulaire (Rafique et al. 2017)**.** Ils sont également efficaces dans le traitement des ulcères chroniques des jambes, des plaies diabétiques et des lésions traumatiques (Chauvel, 2018).

I.4.4.2.3. Utilisation des nanomatériaux dans l'administration de médicaments

L'utilisation de nanoparticules comme vecteurs pour l'administration de médicaments représente une approche prometteuse, notamment pour améliorer la biodisponibilité des traitements tels que la chimiothérapie, la radiothérapie, les radionucléides et les anticorps ciblant les cellules tumorales (Mortezaee et al. 2019). Après administration, qu'elle soit locale ou systémique, les nanoparticules influencent l'absorption cellulaire, la distribution dans l'organisme, la pénétration des barrières biologiques ainsi que les effets thérapeutiques associés (Zhang et al. 2016).

I.4.4.3. Applications biologiques des nanoparticules d'argent

Les AgNPs présentent de multiples propriétés biologiques, notamment des effets antibactériens, anti biofilms, antifongiques, antiviraux, antidiabétiques, antiulcéreux, antiparasitaires, antioxydantes et anticancéreuses (Rahuman, 2022)

I.4.4.3.1. Activité antibactérienne

Les nanoparticules d'argent (AgNPs) synthétisées à partir d'extraits de rhizome d'*Acorus calamus* ont démontré une activité antibactérienne notable contre *Staphylococcus aureus*,

Salmonella enterica, *Bacillus cereus* et *Escherichia coli*. Ces nanoparticules se caractérisent également par une bonne stabilité, ce qui suggère un potentiel intéressant pour des applications antibactériennes commerciales (Sudhakar et al. 2015).

Les AgNPs obtenues à partir d'un extrait aqueux d'*Allium sativum* (*ail*) se sont révélées actives contre *Staphylococcus aureus* et *Pseudomonas aeruginosa* (Rastogi et Arunachalam 2011).

La synthèse verte d'AgNPs à partir des flavonoïdes présents dans les pétales de *Linium casa blanca* a conduit à des particules stables dotées de propriétés antibactériennes et catalytiques. Leur efficacité antibactérienne a été plus marquée contre *Escherichia coli* et *Salmonella*, et plus modérée contre *Bacillus subtilis* et *Staphylococcus aureus* (Luo et al. 2018).

Les AgNPs issues de l'extrait de graines séchées de *Myristica fragrans* (*muscade*) ont montré une activité bactéricide significative contre des souches multirésistantes de *Salmonella enterica* (résistantes à la ciprofloxacine, la tétracycline et le céfotaxime). Une concentration croissante d'AgNPs, associée à une bonne stabilité, améliore l'activité antibactérienne (Balakrishnan et al. 2017).

Les AgNPs obtenues via l'extrait de *Skimmia laureola* se sont révélées efficaces contre des pathogènes humains comme *Escherichia coli* (11,67 mm), *Pseudomonas aeruginosa* (14,33 mm) et *Staphylococcus aureus* (14,67 mm) (Ahmed et al. 2015). Les nanoparticules dérivées de feuilles d'*Aloe vera* ont montré un fort potentiel antibactérien, attribué aux flavonoïdes et aux terpènes responsables de leur stabilisation. Leur forme octaédrique confère une efficacité élevée contre *Bacillus cereus*, *Staphylococcus aureus*, *Micrococcus luteus*, *Escherichia coli* et *Klebsiella pneumoniae* (Logaranjan et al. 2016).

I.4.4.3.2. Activité antifongique

Les infections fongiques sont particulièrement fréquentes chez les personnes immunodéprimées. Leur traitement est souvent long et difficile en raison du nombre limité de médicaments antifongiques actuellement disponibles. Il existe donc un besoin urgent de développer de nouveaux traitements antifongiques qui soient à la fois biocompatibles, non toxiques et respectueux de l'environnement. Dans ce contexte, les nanoparticules d'argent (AgNPs) se révèlent prometteuses, en jouant un rôle important dans la lutte contre diverses infections d'origine fongique.

Les nanoparticules d'argent (AgNPs) synthétisées à l'aide d'*Acalypha indica* ont montré une activité antifongique prometteuse contre *Aspergillus niger* (zone d'inhibition de 12 mm) et *Candida albicans* (23 mm), à une concentration de 300 µg/ml. Leur efficacité s'est révélée supérieure à celle de l'antifongique commercial kétoconazole (Kumarasamyraja et Jeganathan 2013).

Des AgNPs ont également été obtenues à partir de *Lawsonia inermis* (*henné*). Ces nanoparticules, ont été testées contre des pathogènes humains tels que *Microsporum canis*, *Trichophyton mentagrophytes* et *Candida albicans*. Une activité synergique marquée a été observée lorsqu'elles étaient combinées avec des antibiotiques commerciaux, en plus d'une bonne stabilité (Jeevanandam et al. 2018).

L'activité antifongique des AgNPs issues de feuilles d'*Aloe vera* a également été mise en évidence contre des espèces d'*Aspergillus*. Une inhibition maximale de la croissance des hyphes fongiques a été observée avec 10 µL d'AgNPs (Medda et al. 2015).

I.4.4.3.3. Activité antioxydante

Les processus d'oxydation dans l'organisme engendrent un stress oxydatif dû à la formation d'espèces réactives de l'oxygène (ROS). Bien que le corps humain soit doté de mécanismes antioxydants naturels tels que certaines enzymes et composés chimiques. Les ROS, produits lors de la respiration cellulaire ou de la réponse immunitaire, peuvent, en excès, interagir avec les biomolécules et provoquer des effets néfastes. Ces interactions sont à l'origine de pathologies telles que les maladies cardiovasculaires, le cancer, le vieillissement prématuré, l'athérosclérose ou encore les affections inflammatoires (Chang et al. 2012).

Les nanoparticules d'argent (AgNPs) issues des feuilles de *Taraxacum officinale* ont montré une forte activité antioxydante (68,2 % à une concentration de 100 µg/ml), ce qui en fait des candidates prometteuses pour le développement ou la formulation de nouveau produits pharmaceutiques (Chang et al. 2012).

Par ailleurs, la synthèse des AgNPs à partir de l'extrait d'*Artemisia quttensis* s'est révélée rapide, économique et simple, produisant des nanoparticules stables avec un potentiel antiradicalaire notable. Ces caractéristiques les rendent particulièrement intéressantes pour des

applications dans les secteurs pharmaceutique et nutraceutique (Ghanbar et al. 2017).

I.4.5. Techniques de caractérisation des nanoparticules d'argent

Diverses méthodes analytiques sont utilisées pour déterminer les propriétés des nanoparticules, notamment leur surface, leur morphologie, leur taille, leur forme, leur tendance à l'agrégation ainsi que leur solubilité. Parmi les techniques les plus couramment employées pour caractériser les nanoparticules d'argent, on retrouve :

I.4.5.1. Spectroscopie UV-Visible

La spectroscopie UV-Visible est l'une des méthodes les plus répandues et les plus fiables pour une première caractérisation des nanoparticules synthétisées. Elle présente l'avantage d'être rapide, simple à mettre en œuvre, sensible, sélective et facile d'utilisation (Tomaszewska et al. 2013). Cette technique repose sur la mesure de l'absorption du rayonnement ultraviolet ou visible par un composé en solution, en évaluant le rapport entre l'intensité de deux faisceaux lumineux dans la région UV-Visible. Dans le cas des nanoparticules d'argent (AgNPs), les électrons peuvent circuler librement entre la bande de conduction et la bande de valence, très proches l'une de l'autre. Cette mobilité électronique entraîne une oscillation collective des électrons à la surface des nanoparticules lorsqu'ils sont exposés à la lumière, générant ainsi une bande d'absorption caractéristique appelée résonance plasmonique de surface (Karuppiah et Rajmohan 2013).

I.4.5.2. Diffraction des rayons X (XRD)

La diffraction des rayons X (DRX) est une méthode analytique largement utilisée dans de nombreuses applications, notamment pour l'étude des structures cristallines et moléculaires, l'identification qualitative de composés, l'analyse quantitative de phases chimiques, la détermination du degré de cristallinité, l'étude des substitutions isomorphes ainsi que pour l'évaluation de la taille des particules (Waseda et al. 2011).

I.4.5.3. Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FT-IR)

La spectroscopie FT-IR est une méthode précieuse, non invasive, économique et simple, particulièrement adaptée pour identifier le rôle des biomolécules dans la réduction du nitrate d'argent ($AgNO_3$) en argent métallique. Elle est couramment utilisée pour déterminer l'implication de ces biomolécules dans la synthèse des nanoparticules, tant dans le cadre de la

recherche académique qu'industrielle.

Par ailleurs, la FT-IR est également appliquée dans l'analyse des matériaux à l'échelle nanométrique. Elle permet, par exemple, de confirmer la présence de groupes fonctionnels covalents sur divers supports tels que l'argent, les nanotubes de carbone, le graphène ou encore les nanoparticules d'or. Elle est aussi employée pour examiner les interactions entre les enzymes et les substrats lors de réactions catalytiques (Niraimathi et al. 2013).

I.4.5.4. Diffusion dynamique de la lumière (DLS)

La diffusion dynamique de la lumière (DLS) est une technique reposant sur l'interaction de la lumière avec des particules en mouvement. Elle est particulièrement efficace pour mesurer la distribution granulométrique de particules de petite taille, en particulier dans la gamme de 2 à 500 nm. Cette méthode permet d'analyser la taille des nanoparticules présentes en solution ou en suspension. Elle est principalement employée pour déterminer la taille moyenne et la distribution des particules dans des milieux aqueux ou physiologiques (Lin et al. 2014 ; Murdock. 2008).

I.4.5.5. Microscopie

La microscopie constitue une méthode essentielle pour confirmer la formation et la répartition des nanoparticules d'argent (AgNPs).

I.4.5.5.1. Microscopie électronique à balayage (MEB)

La microscopie électronique à balayage est couramment utilisée pour examiner la morphologie des nanoparticules. Les modèles récents de MEB à haute résolution permettent d'observer des structures nanométriques de moins de 10 nm. Cette technique offre une visualisation détaillée des tailles, des formes, de la répartition granulométrique ainsi que de la surface des nanomatériaux, tant à l'échelle micro que nanométrique. Bien que le MEB ne permette pas d'étudier la structure interne des échantillons, il fournit néanmoins des données précieuses sur la pureté des particules et leur éventuelle agrégation (Zhang et al. 2016).

I.4.5.5.2. Microscopie électronique à transmission (MET)

La microscopie électronique à transmission est une technique incontournable dans la caractérisation des matériaux à l'échelle nanométrique. Elle permet de réaliser des mesures

précises de la taille, de la distribution et de la morphologie des nanoparticules. Dotée d'une résolution nettement supérieure à celle du MEB (entre 0,1 et 1 nm), la MET offre une analyse en profondeur de la structure interne des particules. Toutefois, son utilisation requiert une préparation minutieuse des échantillons et une certaine expertise dans sa manipulation (Zhang et al. 2016).

Réferences bibliographiques

Abbasi, Elham, Morteza Milani, Sedigheh Fekri Aval, Mohammad Kouhi, Abolfazl Akbarzadeh, Hamid Tayefi Nasrabadi, Parisa Nikasa, San Woo Joo, Younes Hanifehpour, Kazem Nejati-Koshki, and Mohammad Samiei. 2016. "Silver Nanoparticles: Synthesis Methods, Bio-Applications and Properties." *Critical Reviews in Microbiology* 42(2):173–80.

Ahmed, Muhammad Jamil, Ghulam Murtaza, Ansar Mehmood, and Tariq Mahmood Bhatti. 2015. "Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using Leaves Extract of Skimmia Laureola: Characterization and Antibacterial Activity." *Materials Letters* 153:10–13.

Balakrishnan, Senthilkumar, Ilakkia Sivaji, Selvam Kandasamy, Senbagam Duraisamy, Nachimuthu Senthil Kumar, and Guruswami Gurusubramanian. 2017. "Biosynthesis of Silver Nanoparticles Using Myristica Fragrans Seed (Nutmeg) Extract and Its Antibacterial Activity against Multidrug-Resistant (MDR) Salmonella Enterica Serovar Typhi Isolates." *Environmental Science and Pollution Research* 24(17):14758–69.

Barbinta-Patrascu, M. E., N. Badea, M. Bacalum, and ... 2020. "Novel Bio-Friendly Nanomaterials Based on Artificial Cell Membranes, Chitosan and Silver Nanoparticles Phytogenerated " *Romanian Reports in …* 601:1–14.

Bayda, Samer, Muhammad Adeel, Tiziano Tuccinardi, Marco Cordani, and Flavio Rizzolio. 2020. "Molecules-25-00112-V2." *Molecules* 25:1–15.

de Carvalho Bernardo, Wagner Luís, Marcelo Fabiano Gomes Boriollo, Caroline Coradi Tonon, Jeferson Júnior da Silva, Fernando Moraes Cruz, Adriano Luis Martins, José Francisco Höfling, and Denise Madalena Palomari Spolidorio. 2021. "Antimicrobial Effects of Silver Nanoparticles and Extracts of Syzygium Cumini Flowers and Seeds: Periodontal, Cariogenic and Opportunistic Pathogens." *Archives of Oral Biology* 125.

Chang, Chia Lin, Che San Lin, and Guia Hung Lai. 2012. "Phytochemical Characteristics, Free Radical Scavenging Activities, and Neuroprotection of Five Medicinal Plant Extracts." *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine* 2012. doi: 10.1155/2012/984295.

Chauvel R. 2018. "Application Des Nanoparticules d'argent En Thérapeutique. Thèse de Doctorat En Pharmacie. Faculté de Pharmacie Université Claud Bernard Lyon." 1,105p.

Christian, P., F. Von Der Kammer, M. Baalousha, and Th Hofmann. 2008. "Nanoparticles: Structure, Properties, Preparation and Behaviour in Environmental Media." *Ecotoxicology* 17(5):326–43.

Diani, Julie, and Ken Gall. 2006. "Finite Strain 3D Thermoviscoelastic Constitutive Model."

Society 51(7):1–10.

Dugganaboyana, G. K. 2020. "Evaluation of Antibacterial and Antidiabetic Potential of Silver Nanoparticles Using Eugenia Uniflora L. Seed Extract. Int. J. Pharm. Sci. Nanotechnol." 13.

Ersöz, M., Işıtan, A. and Balaban, M. 2018. "Nanotechnology 1: Fundamentals of Nanotechnology." *Nanotechnology 1: Fundamentals of Nanotechnology,* 49.

Ghanbar, Farinaz, Amir Mirzaie, Fatemeh Ashrafi, Hassan Noorbazargan, Mojgan Dalirsaber Jalali, Soheil Salehi, and Seyed Ataollah Sadat Shandiz. 2017. "Antioxidant, Antibacterial and Anticancer Properties of Phyto-Synthesised Artemisia Quttensis Podlech Extract Mediated AgNPs." *IET Nanobiotechnology* 11(4):485–92.

G. M. Sulaiman, W. H. Mohammed, T. R. Marzoog, A. A. A. Al-Amiery, A. A. H. Kadhum, and A. B. Mohamad, "Green synthesis, antimicrobial and cytotoxic effects of silver nanoparticles using Eucalyptus chapmaniana leaves extract," Asian Pac. J. Trop. Biomed., vol. 3, no. 1, pp. 58–63, 2013.

Gomathi, S. et al. 2017. "Phytochemical Screening of Silver Nanoparticles Extract of Eugenia Jambolana Using Fourier Infrared Spectroscopy. Int. J. Res. Pharm. Sci." 8:383–387.

Hemlata, Prem Raj Meena, Arvind Pratap Singh, and Kiran Kumar Tejavath. 2020. "Biosynthesis of Silver Nanoparticles Using Cucumis Prophetarum Aqueous Leaf Extract and Their Antibacterial and Antiproliferative Activity against Cancer Cell Lines." *ACS Omega* 5(10):5520–28.

Jeevanandam, J., Barhoum, A., Chan, Y.S., Dufresne, A. and Danquah, M. .. 2018. "Review on Nanoparticles and Nanostructured Materials: History, Sources, Toxicity and Regulations. Beilstein Journal of Nanotechnology." *IET Nanobiotechnology* 9:1050-1074.

Jeevanandam, J., Barhoum. 2018. "No Title." 9:1050–74.

Jong, W. H. De, B. Roszek, and R. E. Geertsma. 2005. "RIVM Rapport 265001002 Nanotechnology in Medical Applications - Possible Risks for Human Health." *Technology* 1–46.

Jung, Jae Hee, Hyun Cheol Oh, Hyung Soo Noh, Jun Ho Ji, and Sang Soo Kim. 2006. "Metal Nanoparticle Generation Using a Small Ceramic Heater with a Local Heating Area." *Journal of Aerosol Science* 37(12):1662–70.

Kapil, A. 2005. "The Challenge of Antibiotic Resistance: Need to Contemplate. Indian J. Med. Res."

Karuppiah, Muthu, and Rangasamy Rajmohan. 2013. "Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using Ixora Coccinea Leaves Extract." *Materials Letters* 97:141–43.

Kathiraven, T., A. Sundaramanickam, N. Shanmugam, and T. Balasubramanian. 2015. "Green

Synthesis of Silver Nanoparticles Using Marine Algae Caulerpa Racemosa and Their Antibacterial Activity against Some Human Pathogens." *Applied Nanoscience (Switzerland)* 5(4):499–504.

Khanna, Prerna, Amrit Kaur, and Dinesh Goyal. 2019. "Algae-Based Metallic Nanoparticles: Synthesis, Characterization and Applications." *Journal of Microbiological Methods* 163(June):105656.

Kumarasamyraja, D., Jeganathan, N. 2013. "Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using Aqueous Extract of Acalypha Indica and Its Antimicrobial Activity." Int. J. Ph:469–476.

Lee, Sang Hun, and Bong Hyun Jun. 2019. "Silver Nanoparticles: Synthesis and Application for Nanomedicine." *International Journal of Molecular Sciences* 20(4).

de Lima, Renata, Amedea B. Seabra, and Nelson Durán. 2012. "Silver Nanoparticles: A Brief Review of Cytotoxicity and Genotoxicity of Chemically and Biogenically Synthesized Nanoparticles." *Journal of Applied Toxicology* 32(11):867–79.

Lin, Ping Chang, Stephen Lin, Paul C. Wang, and Rajagopalan Sridhar. 2014. "Techniques for Physicochemical Characterization of Nanomaterials." *Biotechnology Advances* 32(4):711–26.

Logaranjan, Kaliyaperumal, Anasdass Jaculin Raiza, Subash C. B. Gopinath, Yeng Chen, and Kannaiyan Pandian. 2016. "Shape- and Size-Controlled Synthesis of Silver Nanoparticles Using Aloe Vera Plant Extract and Their Antimicrobial Activity." *Nanoscale Research Letters* 11(1).

Luo, Qiushui, Weiwei Su, Haimin Li, Jianhua Xiong, Wenjun Wang, Wuying Yang, and Juan Du. 2018. "Antibacterial Activity and Catalytic Activity of Biosynthesised Silver Nanoparticles by Flavonoids from Petals of Lilium Casa Blanca." *Micro and Nano Letters* 13(6):824–28.

Mathur, Prateek, Swati Jha, Suman Ramteke, and N. K. Jain. 2018. "Pharmaceutical Aspects of Silver Nanoparticles." *Artificial Cells, Nanomedicine and Biotechnology* 46(sup1):115–26.

Medda, Shreya, Amita Hajra, Uttiya Dey, Paulomi Bose, and Naba Kumar Mondal. 2015. "Biosynthesis of Silver Nanoparticles from Aloe Vera Leaf Extract and Antifungal Activity against Rhizopus Sp. and Aspergillus Sp." *Applied Nanoscience (Switzerland)* 5(7):875–80.

Mohamed, Hamza Elsayed Ahmed, Shakeeb Afridi, Ali Talha Khalil, Dania Zia, Javed Iqbal, Ikram Ullah, Zabta Khan Shinwari, and Malik Maaza. 2019. "Biosynthesis of Silver Nanoparticles from Hyphaene Thebaica Fruits and Their in Vitro Pharmacognostic Potential." *Materials Research Express* 6(10).

Mortezaee, Keywan, Masoud Najafi, Hadi Samadian, Hamed Barabadi, Asaad Azarnezhad, and Amirhossein Ahmadi. 2019. "Redox Interactions and Genotoxicity of Metal-Based

Nanoparticles: A Comprehensive Review." *Chemico-Biological Interactions* 312(September):108814.

Murdock, R.C., et al. 2008. "Characterization of Nanomaterial Dispersion in Solution Prior to in Vitro Exposure Using Dynamic Light Scattering Technique." Toxicol. S:239–253.

Nasrollahzadeh, Mahmoud, Samaneh Mahmoudi-Gom Yek, Narjes Motahharifar, and Mostafa Ghafori Gorab. 2019. "Recent Developments in the Plant-Mediated Green Synthesis of Ag-Based Nanoparticles for Environmental and Catalytic Applications." *Chemical Record* 19(12):2436–79.

Niraimathi, K. L., V. Sudha, R. Lavanya, and P. Brindha. 2013. "Biosynthesis of Silver Nanoparticles Using Alternanthera Sessilis (Linn.) Extract and Their Antimicrobial, Antioxidant Activities." *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 102:288–91.

Oei, James D., William W. Zhao, Lianrui Chu, Mauris N. Desilva, Abishek Ghimire, H. Ralph Rawls, and Kyumin Whang. 2012. "Antimicrobial Acrylic Materials with in Situ Generated Silver Nanoparticles." *Journal of Biomedical Materials Research - Part B Applied Biomaterials* 100 B(2):409–15.

Ostiguy, C., Roberge, B. and Woods, C. 2010. "Les Nanoparticules de Synthèse : Connaissances Actuelles Sur Les Risques et Les Mesures de Prévention En SST (2e Édition). Institut de Recherche Robert-Sauvé En Santé et En Sécurité Du Travail."

Paris, D. E. L. Universite, V. I. Pierre, and E. T. Marie. 2013. "Elaboration de Nanoparticules d ' Argent Par Réduction de Sels Métallo-Organiques : Contrôle de Taille , Stabilité , Organisation et Propriétés Physiques To Cite This Version : HAL Id : Tel-00827520."

Patra, Jayanta Kumar, and Kwang Hyun Baek. 2014. "Green Nanobiotechnology: Factors Affecting Synthesis and Characterization Techniques." *Journal of Nanomaterials* 2014.

Rafique, Muhammad, Iqra Sadaf, M. Shahid Rafique, and M. Bilal Tahir. 2017. "A Review on Green Synthesis of Silver Nanoparticles and Their Applications." *Artificial Cells, Nanomedicine and Biotechnology* 45(7):1272–91.

Rahuman H.B.H., et al. 2022. "Medicinal Plants Mediated the Green Synthesis of Silver Nanoparticles and Their Biomedical Applications." 16:115-144.

Rajeshkumar, S., and L. V. Bharath. 2017. "Mechanism of Plant-Mediated Synthesis of Silver Nanoparticles – A Review on Biomolecules Involved, Characterisation and Antibacterial Activity." *Chemico-Biological Interactions* 273:219–27.

Rastogi, Lori, and J. Arunachalam. 2011. "Sunlight Based Irradiation Strategy for Rapid Green Synthesis of Highly Stable Silver Nanoparticles Using Aqueous Garlic (Allium Sativum) Extract and Their Antibacterial Potential." *Materials Chemistry and Physics* 129(1–2):558–63.

Renner, H. .. et al. 2000. “Silver, Silver Compounds, and Silver Alloys. Ullmann’s Encyclopedia of Industrial Chemistry.”

Reti, A.; Mridha, S. 2016. “Silver: Alloying, Properties, and Applications. In Reference Module in Materials Science and Materials Engineering, Elsevier.”

Dos Santos, Carolina Alves, Marcelo Martins Seckler, Avinash P. Ingle, Indarchand Gupta, Stefania Galdiero, Massimiliano Galdiero, Aniket Gade, and Mahendra Rai. 2014. “Silver Nanoparticles: Therapeutical Uses, Toxicity, and Safety Issues.” *Journal of Pharmaceutical Sciences* 103(7):1931–44.

Shahzadi, S., Zafar, N., & Sharif, R. 2018. “Antibacterial Activity of Metallic Nanoparticles. In S. Kırmusaoğlu (Ed.), Bacterial Pathogenesis and Antibacterial Control (Chapter 3).”

Simchi, A., R. Ahmadi, S. M. Seye. Reihani, and A. Mahdavi. 2007. “Kinetics and Mechanisms of Nanoparticle Formation and Growth in Vapor Phase Condensation Process.” *Materials and Design* 28(3):850–56.

Soliman, Hoda, Ashraf Elsayed, and Amira Dyaa. 2018. “ Antimicrobial Activity of Silver Nanoparticles Biosynthesised by Rhodotorula Sp . Strain ATL72 .” *Egyptian Journal of Basic and Applied Sciences* 5(3):228–33.

Stinson-Bagby, Kelly L., James Owens, Alycia Rouffa, Michael J. Bortner, and E. Johan Foster. 2019. “Silver Nanoparticle Pulsed Synthesis and Attachment to Cellulose Nanocrystals.” *ACS Applied Nano Materials* 2(4):2317–24.

Sudhakar, Chinnappan, Kandasamy Selvam, Muthusamy Govarthanan, Balakrishnan Senthilkumar, Arumugam Sengottaiyan, Murugesan Stalin, and Thangasamy Selvankumar. 2015. “Acorus Calamus Rhizome Extract Mediated Biosynthesis of Silver Nanoparticles and Their Bactericidal Activity against Human Pathogens.” *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology* 13(2):93–99.

Tomaszewska, Emilia, Katarzyna Soliwoda, Kinga Kadziola, Beata Tkacz-szczesna, Grzegorz Celichowski, Michal Cichomski, Witold Szmaja, and Jaroslaw Grobelny.
2013. “Tomaszewska2013.Pdf.” *Journal OfNanomaterials Especially* 2013:1–10.

Tran Q., Nguyen V., et al. 2013. “Silver Nanoparticles: Synthesis, Properties, Toxicology, Applications and Perspectives.”

Waseda, Y., Matsubara, E., Shinoda, K. 2011. “X-ray Diffraction Crystallography:Introduction, Examples and Solved Problems. Springer Science & Business Media.”

Zeyons, Ophélie. 2008. “Etudes Des Interactions Physicochimiques et Biologiques Entre Des Nanoparticules Manufacturées et Des Bactéries de l ’ Environnement . Ophélie Zeyons To Cite

This Version : HAL Id : Tel-00331931 Ophélie ZEYONS Nanoparticules Manufacturées et Des Bactéries."

Zhang, Xi Feng, Zhi Guo Liu, Wei Shen, and Sangiliyandi Gurunathan. 2016. "Silver Nanoparticles: Synthesis, Characterization, Properties, Applications, and Therapeutic Approaches." *International Journal of Molecular Sciences* 17(9).



CHAPITRE II

Présentation des plantes étudiées

II.1. Plantes médicinales : Définition et usage

Les plantes « médicinales » sont celles qui présentent des propriétés curatives. Elles proviennent soit de la culture en champ, soit de la cueillette en milieu naturel. Les plantes sont utilisées telles quelles, fraîches ou séchées, ou servent de matières premières à la fabrication de différents extraits solides ou liquides. On évaluait récemment qu'environ 30 % des 400 000 espèces de plantes qui existent dans le monde auraient déjà été utilisées à des fins médicinales. Les plantes sont dites médicinales, lorsqu'un de leurs organes possède des activités pharmacologiques, pouvant conduire à des emplois thérapeutiques, elles peuvent être vendues en herboristerie, en pharmacie avec ou sans prescription selon la réglementation du pays. On n'utilise généralement qu'une partie de la plante : la racine, la feuille, la fleur, la graine, la plus riche en principe actif (Ariech et abba, 2009).

Les plantes médicinales jouent un rôle déterminant dans la conservation de la santé des hommes et dans la survie de l'humanité par exemple, procurait aux peuples qui le cultivaient de l'huile pour la cuisine, du combustible, un baume pour la peau ainsi que des fibres pour fabriquer des étoffes. Il était également utilisé pour soigner les bronchites, les rhumes, les furoncles ou les problèmes digestifs. Etant donné ses qualités curatives, il n'est pas étonnant que les civilisations traditionnelles lui attribuent des propriétés magiques, ainsi qu'à de nombreuses autres plantes. Durant des milliers d'années, on a cueilli des plantes pour leurs pouvoirs magiques plutôt que pour leurs vertus thérapeutiques (Debuigue, 1984).

II.2. Généralités sur les espèces étudiées

II.2.1 Sorgho

II.2.1.1. Classification botanique

Le sorgho a d'abord été désigné sous différents noms au cours du 16ème siècle : *Milli um saracenaceum, Millium indicum sive melica, Millium indicum et Millium aethiopicum* (Frederiksen et Odvody, 2000). Linné sera le premier à faire une description taxonomique du Sorgho en 1753 sous le genre Holcus et décrit sept espèces. Toutefois, la systématique actuelle s'inspire des bases données par Moench (1794), qui fut le premier à définir le genre Sorghum et l'espèce bicolor (Barro, 2010). Le genre Sorghum comprend 31 espèces (Balole et al. 2006), 158 variétés et 523 cultivars différents (Dehaynin, 2007).

La classification botanique nous informe qu'il existe cinq races de sorgho cultivé. Selon (De wet, 1978) il y a les races bicolor, guinea, caudatum, durra et kafir et dix races

intermédiaires qui viennent des croisements entre les différentes races. Selon un bon nombre d'auteurs les variétés de sorghos cultivés ont une origine commune. Phylogénétiquement, ce sont la canne à sucre et le maïs qui sont les plus proches parents du sorgho (Dehaynin, 2007).

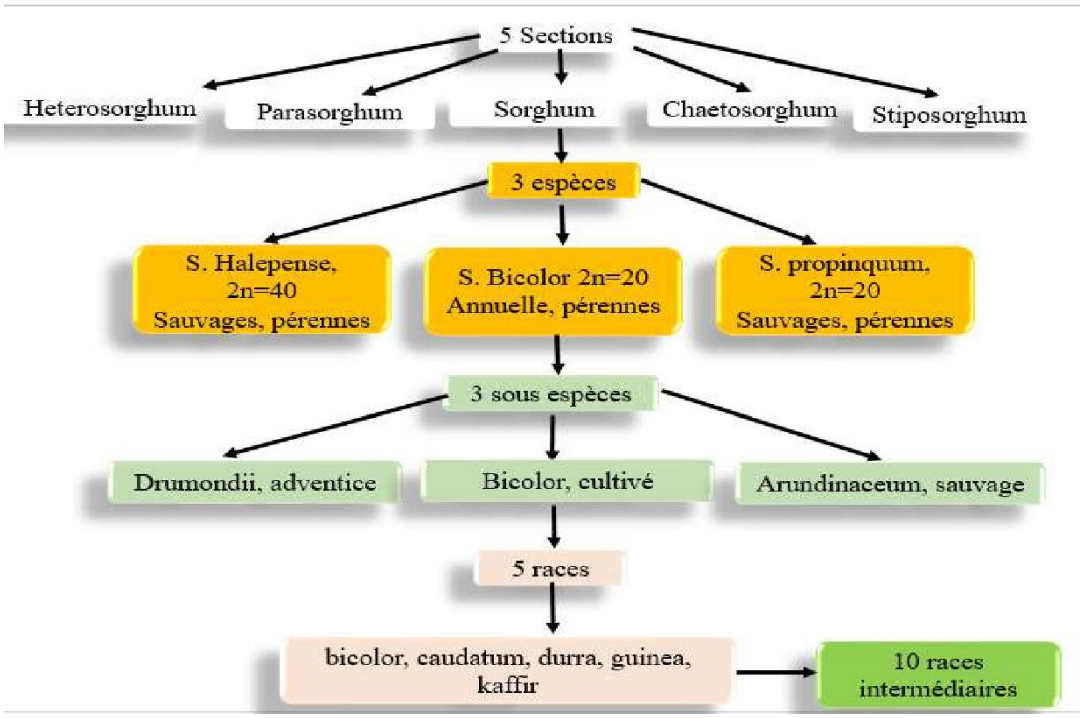


Figure II.1: Evolution du genre Sorghum (De Wet, 1978).

II.2.1.2. Description morphologique

La race bicolor est considérée comme la première race de sorgho domestiquée notamment parce qu'elle présente un certain nombre de caractères peu évolués. Ainsi, les grains des sorghos de race bicolor sont petits, elliptiques et recouverts par des glumes coriaces. Leur teneur en tannins est généralement élevée. Les panicules sont le plus souvent lâches comme chez les sorghos sauvages. Leur capacité de tallage peut être élevée. Les variétés de sorghos bicolor ont souvent une tige sucrée. De plus, ceux-ci présentent des types particuliers comme les sorghos à balai, les sorghos papetiers ou les sorghos fourragers. Ils se trouvent dans toutes les aires de culture du sorgho mais généralement sur de petites surfaces (Chantereau et al. 2013).

Le sorgho, est une herbacée annuelle de la famille des Poaceae, sous famille des Panicoïdeae, classe des Liliopsida, Sous classe des commolinidea, à l'ordre des Poales, du genre Sorghum et l'espèce Sorghum bicolor (L.) Moench ,1794 (De Wet ,1978 ; Futuraplanete,

2018). C'est une plante annuelle de 1 à 5m de Hauteur, diploïde avec 2n=10, photosynthèse est de type C4, le nombre d'espèces varie de 20-30et preste 171variétés. Une tige (chaume) cylindrique pleine et habituellement érigée, avec un nombre de talles par plante élevé pour les variétés fourragères (jusqu'à une dizaine) et nul chez les hybrides sélectionnés, cultivés pour le grain. Les feuilles sont alternes, simples longues de 50cm à 3m, large de 5 à 10cm et avec une gaine de 15–35 cm de long. Les racines sont fasciculées avec une racine principale pouvant aller jusqu'à 1,5m de profondeur.

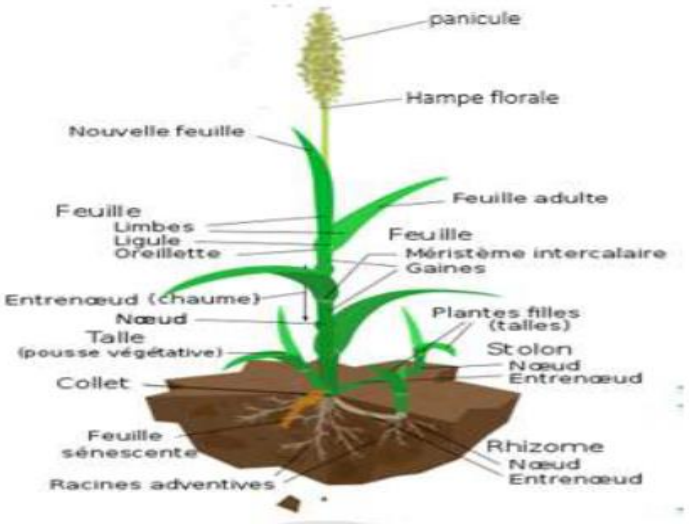


Figure II.2 : Plante de Sorgho.

II.2.1.3. Répartition géographique et exigences pédoclimatiques de sorgho

Le sorgho rouge est originaire d'Afrique de l'Est (Éthiopie, Soudan) et s'est ensuite répandu à travers les zones tropicales et subtropicales du monde. Il est aujourd'hui cultivé dans plus de 100 pays grâce à sa grande capacité d'adaptation aux climats variés. Les principaux producteurs sont les États-Unis, l'Inde, la Chine, le Nigéria et le Soudan. En Afrique, le Nigéria est le premier producteur. L'Afrique subsaharienne joue un rôle clé, avec une augmentation notable des rendements. Le sorgho rouge est aussi largement cultivé en Amérique latine, notamment au Brésil (Chantereau et al. 2013).

II.2.1.4. Importance thérapeutique

Les rôles thérapeutiques rapportés sur le sorgho sont les résultats des propriétés anti-inflammatoires, anti-carcinogènes, antibiotiques, antifongiques, antivirales, hépato protectrices, anti-ulcer, antinéoplasiques, déficientes en cholestérol et de digestion (Ademiluyi, 2014 ; Dykes L, 2009). De telles fonctions pharmaceutiques sont alliées au contenu phytochimique de la plante telles que les phytostérols, les policosanols, les saponines, les

caroténoïdes et les composés phénoliques, y compris les flavonoïdes, les tanins et les anthocyanes (Salazar-López, 2018). Différents flavonoïdes importants et acides phénoliques ont été identifiés dans l'extrait de feuilles de sorgho, notamment de l'acide gallique, de la catéchine, de l'acide chlorogénique, de l'acide caféique, de l'acide ellagique, de la rutine, de l'isoliercitrine, de la quercitrine, de la quercétine et du kaempférol (Borokini, 2017).

II.2.2. Armoise

II.2.2.1. Classification botanique

L'armoise blanche (*Artemisia herba alba*) compte parmi les espèces majoritaires en Algérie, appartenant à la famille des Astéracées. Les espèces rencontrées en plus Algérie sont (Le Houerou, 1969) :

Artémisia campestris L, *Artémisia judaica*, *Artémisia arboréscens* L, *Artémisia absinthum* L, *Artémisia atlantica* Coss et Dur, *Artémisia alba* Turra. ssp *kabylica*, *Artémisia verlotorum* Lamott, *Artémisia vulgaris* L et *Artémisia monosperma* L.

Selon Caratini (1971) et Judd et al. (2002), les deux espèces sont classées systématiquement au :

Tableau II.1: Classification botanique d'Artemisia herba alba Asso (Quezel et Santa, 1963).

Règne	*Plantae*
Sous règne	Tracheobionta
Embranchement	*Spermaphytes (Phanérogames)*
Sous-embranchement	*Angiospermes*
Classe	*Dicotyledones (Magnoliopsida)*
Sous-classe	*Asteridae (Gampétales)*
Ordre	*Asterales*
Famille	*Astéraceae ou composée*
Genre	*Artemesia*
Espèce	*Artemesia herba alba Asso*

II.2.2.2. Description morphologique

L'armoise blanche est une espèce vivace qui forme des touffes ligneuses d'une hauteur de 30 à 35 cm (Aidoud, 1984). Les feuilles sont courtes, sessiles, pubescentes et argentées,

décomposées en languettes fines, blanches et laineuses. Elles sont très petites, ce qui réduit considérablement la surface transpirante et permet ainsi à la plante de résister à la sécheresse (Quezel et Santa, 1963). Les tiges sont ramifiées, rigides et dressées (Quezel et Santa, 1963), les fleurs sont groupées en grappes à capitules très petites (ne dépassent pas 7mm de longueur) allongés et étroits ; celles du rang extérieur ont la corolle à 3 dents et sont pistillées ; les autres ont la corolle à 5 dents et sont stamino-pistillées soit stériles (Gaston, 1990).



Figure II.3: Touffe d'armoise blanche (Artemisia herba alba Asso) (Ayada, 2025)

II.2.2.3. Répartition géographique

L'Artemisia campestris est distribuée dans l'hémisphère nord, en particulier sur la côte méditerranéenne de l'Europe, sud-ouest de l'Asie et de l'Afrique, en Afrique du Sud et dans l'Ouest de l'Amérique du Sud, elle est prédominante dans les régions arides des pays d'Afrique du Nord comme le Maroc, l'Algérie, la Tunisie (Noumi et al. 2010)

L'*Artémisia herba alba* est l'espèce la plus répandue sur tous les étages arides et semi arides (Ozenda, 1983). Elle pousse dans les zones délimitées par les isohyètes de 100 à 400 mm /an qui couvre de grandes étendues, évaluées à 4 millions d'hectares (Boukli-hacene, 2002).

Dans le monde l'*Artemisia herba alba* est répandue depuis les îles canaries et sud de l'Espagne jusqu'aux steppes d'Asie centrale (Iran, Turkménistan, Ozbékistan) et à travers l'Afrique du nord et le proche orient, C'est une espèce saharo arabique et méditerranéenne (Ozenda, 1977).

En Algérie l'armoise blanche pousse dans la steppe, zone délimitée par les isohyètes de 100 à 400 mm /an ; et qui couvre de grandes étendues, évaluées à 4 millions d'hectares (Boukli-hacene, 2002). Elle est assez rare dans le tell algérien et dans le Sahara septentrional, rencontrée dans les sahels et les plaines du littoral et dans le massif du Sahara central, très répandu à Oran,

Chlef, Sig et dans le Hoggar. On la retrouve aussi à Tamanrasset et sur les hamadas et les regs (Ozenda P. 1983). Au sud, elle occupe une superficie de 250 000 hectares (Boukli-hacene, 2002).



FigureII.4 : Aire de répartition de l'Armoise blanche en Algérie (Judd et al. 2002**)**

II.2.2.4. Importance thérapeutique

L'Artemisia herba alba est une plante médicinale utilisée pour faciliter la digestion, calmer les douleurs abdominales et certains malaises du foie et antidiabétique, de plus les racines sont indiquées contre certains troubles nerveux (Baba Aissa, 2000).

Alshamaony et al. (1994), signale que cette plante est reconnue chez les populations nomades pastorales pour ses vertus purgatives. Dans certains pays d'Afrique du nord l'*Artemisia herba alba* est considérée comme un traitement efficace contre le tractus digestif et comme un antidiabétique.

L'Artemisia herba alba par son pouvoir antibactérien, antiseptique et antifongique lui offre une large application dans de nombreux domaines: thérapeutique, cosmétique et agro-alimentaire (benjilali, 1986). Son extrait aqueux est utilisé traditionnellement en Jordanie comme un antidote contre les venins de plusieurs types de serpents et de scorpions, et en Afrique du nord pour soigner la bronchite, l'abcès, les diarrhées (Gharabi et sand, 2008)

L'armoise blanche sert comme épice, elle permet de parfumer les viandes grasses, agrémente aussi les sauces, les plats à base de poissons (Eberhard et al., 2005).

L'extrait méthanolique de la partie aérienne de l'armoise rouge possède une forte activité répulsive contre une espèce de moustique Culex, l'extrait a montré un degré de répulsion élevé contre plusieurs vecteurs de maladies comme la malaria (Pavela, 2009).

Plusieurs études scientifiques ont également prouvé l'efficacité de l'armoise blanche en tant qu'agent antidiabétique, antiparasitaire, antibactérien, antiviral, antioxydant, anti malarien,

antipyrétique, antispasmodique et antihémorragique. (Hamza et collaborateurs, 2011) signalent que l'extrait hydroalcoolique d'Artemisia herba alba possédait aussi des effets anti hypercholestérolémique et antihypertriglycéridémique. La plante pourrait constituer un bon adjuvant pour combattre l'obésité et le stress oxydatif (Abass, 2012). Dans plusieurs pays, l'infusion de l'armoise blanche est consommée comme diurétique, emménagogue, soulageant les maux d'estomac, antiseptique intestinal, tonique, dépuratif, traitant la bronchite, les névralgies et antispasmodiques (El Rhaffari, 2008 ; Mighri et al. 2010 ; Seddiek et al. 2011).

II.2.3. Sauge

II.2.3.1. Classification botanique

La famille des lamiacées ou labiées aussi nommées labiacées, une famille très importante dans la flore algérienne (Botineau, 2010). Elle comprend environ 240 genres et plus de 7200 espèces qui représentent une proportion considérable de la somme des plantes médicinales avec une distribution mondiale. Les plantes médicinales appartenant à la famille des Lamiacées ont une grande importance à cause de leurs différents domaines d'application telle que la médecine, la cosmétique, et la culinaire (Bräuchlera et al. 2010 ; Khodja et al. 2014).

Les lamiacées sont des arbustes, sous arbrisseaux ou plante herbacées, annuelles ou surtout vivaces, à feuilles opposées sans stipule, à tige quadrangulaire et à fleurs irrégulières et gamopétales disposées en grappes (parfois d'apparence verticillée, en épis ou en capitule) (Khodja et al. 2014).

Tableau II.2 : Classification botanique de *S. officinalis*

Règne	*Plantae*
Sous règne	*Tracheobionta*
Division	*Magnoliophyta*
Classe	*Magnoliopsida*
Sous classe	*Asteridae*
Ordre	*Lamiales*
Famille	*Lamiaceae*
Genre	*Salvia*
Espèce	*Salvia Officinalis L*

Source : Cronquist (1968) ; Ristic et al. (1999)

II.2.3.2. Description morphologique

D'après Taleb (2015), la sauge est une plante vivace à tige ligneuse à la base, un sous arbrisseau buissonnant formant une touffe pouvant atteindre 80 cm de haut.

La racine de la sauge est brunâtre et fibreuse. La tige mesure de 20 à 30 centimètres et est très rameuse. Les feuilles sont opposées, pétiolées à la base, de 3 à 10 cm de long sur 3 cm de large.

Selon Hans (2007), Les feuilles sont de couleur vert grisâtre d'aspect velouté, les bords du limbe sont légèrement crénelés. Les fleurs, de couleur bleu violacé clair en épis terminaux lâches, sont disposées par 3 à 6 en petites grappes verticillées. La corolle tubuleuse munie à sa base d'un anneau de poils bilabiée, la lèvre supérieure est presque droite. Les fruits sont des tétrakènes sphériques, de couleur brun foncé à noir (Hans, 2007).



Figure II.5 : La sauge (Salvia officinalis L.) A. Fleurs de la sauge (Gérard, 2013) ; B. Feuille de la sauge (Gudrun et Peter, 2014).

II.2.3.3. Répartition géographique et exigences pédoclimatiques

Les espèces Salvia représentent un groupe d'espèces cosmopolites, qui montrent une gamme remarquable de variation (Pistelli, 2006). Les régions méditerranéennes orientales sont l'origine de cette plante vivace, elle préfère les terrains chauds et calcaires. Ce genre est distribué dans trois régions principales dans le monde : 530 espèces à l'Amérique centrale et latine, 250 espèces en Asie centrale et en régions méditerranéennes, 30 en Afrique du Sud et

90 espèces en Asie de l'Est (Walker et al. 2004). La sauge croit de manière spontanée et en culture de long de tout le bassin méditerranéen, depuis l'Espagne jusqu'à la Turquie, et dans le nord de l'Afrique **(Figure II.6).** Cette plante est assez cultivée en Algérie (Baba, 2000 ; Alloun, 2013).

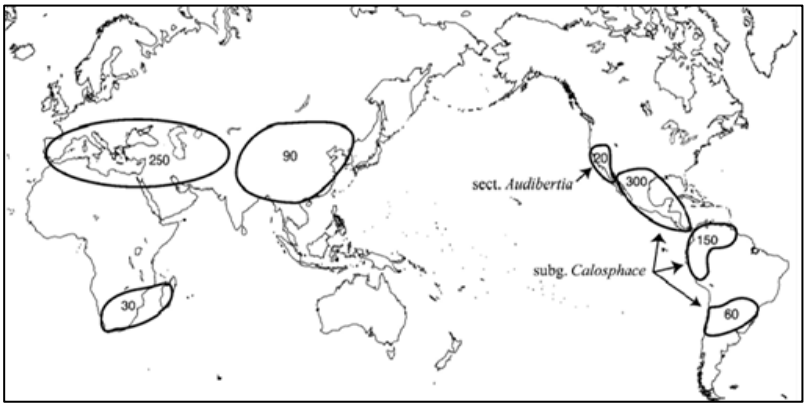


Figure II.6 : Répartition géographique du genre Salvia dans le monde (Walker et al. 2004).

II.2.3.4. Importance thérapeutique

La sauge est l'herbe de la vie, elle contient un fort taux en œstrogènes, des diterpènes et triterpènes, des flavonoïdes, des tanins, des principes amers ainsi qu'une huile essentielle à thuyone. Cette plante sacrée de toutes vertus est connue depuis la nuit des temps grâce à leur efficacité. Elle contient de l'acide ursolique, dont l'action astringente, la sauge a des propriétés antioxydantes et a un pouvoir antiseptique d'où son efficacité dans le développement des agents infectieux, cette admirable plante a utilisée en gargarisme est un remède contre les maux de gorge (Iserin, 2001). Elle a une activité antispasmodique qui utilise lors des troubles digestifs : digestion difficile, renvois d'air, ballonnements (gaz intestinaux). Elle a une action relaxante sur les muscles de l'estomac et des intestins. Cholérétique, en agissant sur la sécrétion de la bile, elle facilite la digestion des aliments gras (Bogrow, 2009).

Elle est utilisée dans la fatigue nerveuse, l'anxiété accompagnée de perte de mémoire, dans les états dépressifs. Elle a une activité tranquillisante qui peut calmer les crises de la maladie d'Alzheimer en luttant contre la baisse de taux d'acétylcholine. Elle indique lors d'une infection virale avec fatigue, dans les suites de chocs émotionnels ; c'est un excellent fortifiant après une fausse couche. Elle est conseillée dans les troubles menstruels, dans la ménopause (comme les bouffées de chaleur et les vertiges). Elle soulage des sueurs nerveuses, lorsqu'il y a transpiration excessive. Elle favorise la longévité (Funiel, 2002). Remède contre l'asthme, la sauge était traditionnellement utilisée pour soigner l'asthme sous forme de préparation de

feuilles séchées à fumer (Boulard, 2001).

La sauge officinale a une action antimicrobienne, soigne les lésions bénignes de la peau (coupures, acné) et favorise aussi l'hygiène buccale en limitant le développement des bactéries responsables de la formation de la plaque dentaire (Verbois, 2003).

II.2.4. ORTIE

II.2.4.1. Classification botanique

La position de l'espèce se réfère aux systèmes de classifications de (Cronquist et Takhtajan) synthétisée dans le tableau II.3 (Ghedira et al. 2009).

Tableau II.3 : Classification botanique de Urtica dioica L. (Ghedira et al. 2009).

Règne	*Plantae (plantes)*
Sous –règne	*Tracheobionta (plantes vasculaires)*
Embranchement	*Magnoliophyta (phanérogames)*
Sous-embranchement	*Magnoliophytina (angiospermes)*
Classe	*Magnoliopsida (dicotylédones)*
Sous-classe	*Rosidae*
Ordre	*Urticales*
Famille	*Urticaceae*
Genre	*Urtica L.*
Espèce	*Urtica dioica L.*

II.2.4.2. Description morphologique

L'ortie dioïque est une plante herbacée vivace, vigoureuse et à longue durée de vie. Sa taille peut atteindre plus d'un mètre. Les feuilles d'Urtica dioïca sont de couleur vert foncé (richesse en chlorophylle), alternes ou opposées deux à deux, ovales à lancéolées, cordiformes et se terminant en pointe, simples, charnues, à bords irrégulièrement dentelés. Elles sont en général plus longues que larges. Elles sont recouvertes de poils urticants mais seulement sur la face supérieure. Les cellules épidermiques de la feuille renferment des corpuscules calcifiés appelés cystolithes (Mor, 2014), qui correspondent à des amas de cristaux de carbonate de calcium qui sont portés par un pédicelle relié à l'épiderme de certaines feuilles ou situés également à la base de poils tecteurs (fig.8a**)** (Botineau, 2010). La tige d'Urtica dioïca est dressée, robuste,

non ramifiée, et à section quadrangulaire. Elle peut atteindre 1.5 m de hauteur et couvertes de poils urticants. L'effet irritant de l'ortie provient l'acide formique (Wichtl et Anton 2003 ; Mor 2014).



FigureII.7 : Aspect générale de l'ortie (Maigrir Malin)

II.2.4.3. Répartition géographique et exigences pédoclimatiques

Urtica dioica L est abondante en Europe du Nord, Afrique du nord et une grande partie de Asie. Elle est également abondante en Amérique du Nord, Canada, États-Unis, et au Mexique. En Europe, les orties ont une forte association avec l'habitation humaine et les bâtiments (Viotti et al. 2022). Les orties sont très abondantes en Algérie ; la grande ortie est commune dans tout le Nord et surtout dans la Tel algérienne d'Est en Ouest (Beloued, 2005).

II.2.4.4. Importance thérapeutique

De nombreuses utilisations traditionnelles de l'ortie ont été confirmées scientifiquement. Elle est considérée comme antidiabétique (Bnouham et al. 2003), anti-inflammatoire (Kavalali, 2003), antimicrobienne (Ramtin et al. 2012 ; Al-Khafaji, 2015), antivirale (Balzarini et al. 1992), antiulcéreuse (Gülcin et al. 2004), analgésique (Tita, 1993), diurétique (Tahri et al. 2000), anticancéreuse (Nisha et al. 2011), et bénéfique pour le système cardiovasculaire (Testai et al. 2002). Elle est efficace dans l'arthrite, les rhumatismes (Chrubasik et al. 1997) et la rhinite allergique (Mittman, 1990), elle est également utilisée en cas des douleurs articulaires par usage externe des feuilles (Randall et al. 2000), mais aussi en cas d'eczéma (Chrubasik et al. 2007).

II.3. Principaux groupes de métabolites à effet antioxydant et antimicrobien

II.3.1. Polyphénoles

II.3.1.1. Flavonoïdes

Les flavonoïdes sont des composés poly phénoliques, de faible poids moléculaire presque toujours hydrosolubles et très répandus dans le règne végétal. Leur structure de base comporte deux cycles aromatiques à 6 carbones joints par un hétérocycle à oxygène.

Ces phytomicronutriments protègent la plante contre les différents agents pathogènes (virus, bactéries, moisissures, rayonnement UV...). Ils sont responsables de la pigmentation des plantes, et se localisent dans les parties externes des fleurs, des fruits, et parfois des feuilles (Bouhdjera, 2005). Même si le terme flavonoïde signifie jaune en latin, ils possèdent de nombreuses vertus thérapeutiques (Attou, 2011).

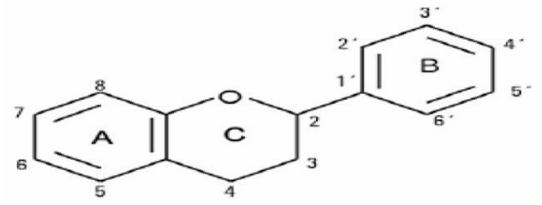


Figure II.8: Structure générale du noyau des flavonoïdes (Bruneton, J. et al 1999).

II.3.1.2. Tannins

Les tanins sont des composés phénoliques complexes, hydrosolubles ayant un poids moléculaire compris entre 500 et 3 000 Da. Ils peuvent former des complexes avec les protéines grâce à la présence de plusieurs groupements hydroxyles phénoliques. Ils sont présents dans plusieurs plantes avec des proportions différentes, selon leur nature chimique. Ces composés sont divisés en deux classes : les tanins hydrolysables et les tanins condensés (Khenaka, 2011).

II.3.1.2.1. Tanins hydrolysables

Les tanins hydrolysables anciennement appelés tanins pyrogalliques, sont des polyesters de glucides et d'acide-phénol. Selon la nature de ces tanins, on distingue les tanins galliques dans le cas d'acide gallique et les tanins ellagiques dans le cas d'acide ellagique. L'acide ellagique résulte de la condensation de deux acides galliques.

II.3.1.2.2. Tanins condensés

Les tanins condensés ou proanthocyanidols diffèrent fondamentalement, des tanins galliques et ellagiques. Leur structure est voisine de celle des flavonoïdes, ils ne possèdent pas

de sucre dans la molécule. Ils sont formés de deux ou plusieurs molécules de flavan-3ols, leur union se fait par des liaisons carbone-carbone, le plus souvent en position 4-8 ou 4-6, ce qui rend ces molécules difficilement hydrolysables.

Les tanins favorisent la régénération des tissus en cas de blessures superficielles et de brûlures. Ils sont utilisés comme anti-diarrhéiques et hémostatiques, mais surtout comme protecteur veineux dans le traitement des varices et de lutter contre les infections. Ils sont largement employés dans l'industrie, notamment dans l'industrie du cuir, des vernis et de la peinture (Bouhdjera, 2005).

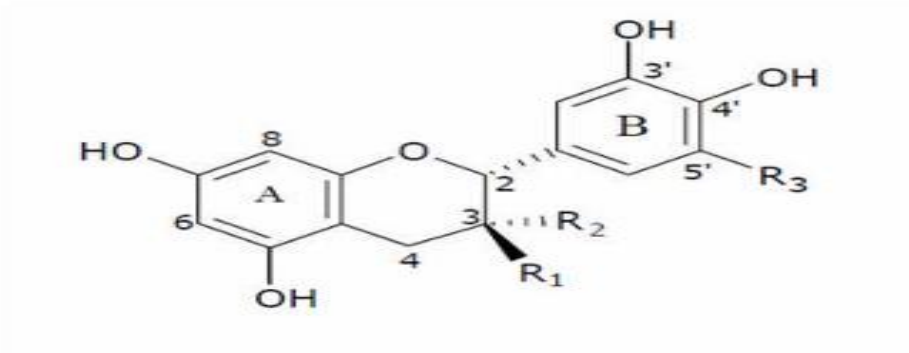
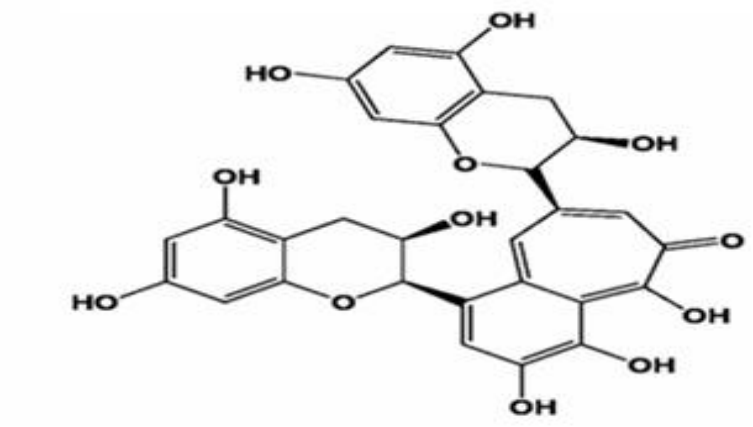


Figure II.9 : Tanin condensé.



FigureII.10 : Tanin hydrolysable (Wilfred V., 2006).

II.3.1.3. Coumarines

Les coumarines tirent leur nom de « coumarou », nom vernaculaire de la fève Tonka, coumarouna odorata (légumineuses). Elles furent isolées, en 1820. Elles sont largement distribuées dans le règne végétal. Elles possèdent des propriétés très diverses. En dehors de

quelques rares cas, toutes les coumarines sont substituées en C-7 par un hydroxyle. Ils possèdent une intense fluorescence bleue en lumière ultraviolette (Belbach, 2010).

II.3.2. Alcaloïdes

Les alcaloïdes sont des substances organiques, le plus souvent d'origine végétale. La présence d'azote confère à la molécule un caractère basique. Ils sont de poids moléculaire extrêmement variables et certains peuvent atteindre un poids de 1000 g/mol. La plupart sont doués de pouvoir rotatoire (capable de dévier la lumière polarisée). Les drogues à alcaloïdes ont une importance considérable en thérapeutique. Les plus connus sont : morphine, colchicine, l'atropine, le curare et la cocaïne (Bouhdjera, 2005).

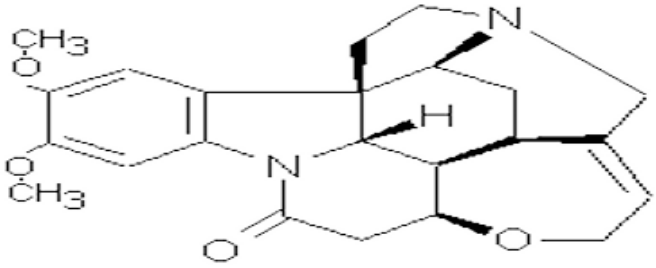


Figure II.11: Structure chimique des alcaloïdes [Morphine].

Références bibliographiques

Abass O.A. (2012). Therapeutic effect of Artemisia herba-alba aqueous extract added to classical therapy of acquired hyperlipidemia. Iraqi Journal of community Medicine 4: 320-323.

Ademiluyi AO, Oboh G, Agbebi OJ, Boligon AA and Athayde ML. (2014). Sorghum [Sorghum bicolor (L.) Moench] leaf sheath dye protects against cisplatin-induced hepatotoxicity and oxidative stress in rats. J Med Food, 17 (12), 1332–1338.

Aidoud A ., 1984- Contribution à l'étude des écosystèmes steppiques du Sud Oranais. Thèse 3eme cycle, USTHB, Alger, 255p

Alami S.,(2018). Sorgho, le géant des plantes utiles : Exploration du potentiel bioéconomique du sorgho, un gisement d'innovations porteur de valeur économique et environnementale. Rapport, 54 pages.

Al-Khafaji, N. (2015). Evaluation of antibacterial activities of Urtica dioica against some pathogenic bacterial strains. International journal of current advanced research, 4, 216- 220.

Alloun, K. (2013). Composition chimique et activités antioxydante et antimicrobienne des huiles essentielles de l'aneth (Anethum graveolens L.), de la sauge (Salvia officinalis L.) et de la rue des montagnes (Ruta montana L.) [en ligne]. Thèse de magister en agronomie : alimentation et nutrition. El Harrach, Alger : école national supérieure agronomique El Harrach, 119P. Disponible sur : http://dspace.ensa.dz:8080/jspui/bitstream/123456789/385/1/alloun_k.pdf

Alshamaony, L., Alkhazraji, S., and Twaij, H. (1994). Hypoglycaemic effect ofArtemisia herba alba. II. Effect of a valuable extract on some blood parameters in diabetic animals. J. Ethnopharmacology, 43(3), 167-171.

Altindal, D., Altindal, N. (2016). Sage (Salvia officinalis) Oils. Essential Oils in Food Preservation, Flavor and Safety, 715-721. Disponible sur : http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-416641-7.00081-X

Anwar F., Latif S., Ashraf M., Gilani A.H. (2007). Moringa oleifera: A Food Plant with multiple Medicinal Uses. Phytother. Res. 21, 17325

Ariech h. et Abba M.,(2009)- Inventaire des plantes médicinales de la région de Biskra. Mémoire en vue de l'obtention diplôme de D.E.S en Biologie. Biologie Végétale.

Arvalis., 2015. Choisir Sorgho. Rapport sur le Sorgho variétés et interventions. 88pages.

ATTOU. A.,(2011) Contribution à l'étude phytochimique et activités biologiques des extraits de la plante ruta chalepensis (Fidjel) de la région d'Ain Témouchent, mémoire de magister, à

l'Universite Abou Bekr Belkaid Tlemcen, , 119p.

Baba Aissa F., 2000: Encyclopédie des plantes utiles. Flore d'Algérie et du Maghreb. Substances végétales d'Afrique, d'Orient et d'Occident. Edition librairie moderne. Rouiba p 4-77, 101-87.

Bahorun, 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.

Balole, T. V.; Legwaila, G. M. (2006). Sorghum bicolor (L.) Moench record from Protabase. In: Brink, M. & Belay, G. (Editors). PROTA (Plant Resources of Tropical Africa, Wageningen, Netherlands.

Balzarini, J., Neyts, J., Schols, D., Hosoya, M. Ghedira K, Goetz P, (2009). Urtica dioica L., Urtica urens et ou hybrides (Urticaceae). Phytothérapie ,7:279- 85.

Balzarini, J., Neyts, J., Schols, D., Hosoya, M., Van Damme, E., Peumans, W. & De Clercq, E. (1992). The mannose-specifie plant lectins from Cymbidium hybrid and Epipactis helleborine and the (N-acetylglucosamine) n-specific plant lectin from Urtica dioica are potent and selective inhibitors of human immunodeficiency virus and cytomegalovirus replication in vitro. Antiviral res, 18: 191-207.

Barro K. C.P., (2010). Diversité agro-morphologique et génétique de variétés locales de sorgho (Sorghum bicolor (L.) Moench) au Burkina Faso. Eléments pour la valorisation des ressources génétiques locales. Thèse de doctorat, Université de Ouagadougou, 114 p.

Belbach, (2010). BELBACHE. H., Investigation phytochimique de l'extrait chlorofome de centaurea parviflora desf, Mémoire de Magister, à l'Université Mentouri Constantine, 2010,136p

Beloued, Abdelkader. (2005). Plantes médicinales d'Algérie. Ed. Entreprise nationale du livre, Alger P152

Benjilali B., 1986.Sur trois plantes aromatiques et médicinales du Maroc : armoises, thym et origans. Chimie de leurs huiles essentielles, chimiotaxinoie et propriétés antimicrobiennes, thèse de doctorat ès-sciences agronomiques, Institut agronomique et vétérinaire Hassan II, Maroc.

Bnouham M., Merhfour F.Z., Ziyyat A., Mekhfi H., Aziz M., & Legssyer A. (2003). « Antihyperglycemic Activity of the Aqueous Extract of Urtica Dioica ». Fitoterapia 74 (7- 8): 677 81.

Borokini FB. (2017). Identification and quantification of polyphenols in Sorghum bicolor (L)

Moench leaves extract using reverse-phase HPLC-DAD. Clin Exp Pharmacol, 7, 2.

Botineau, M. (2010). Botanique systématique et appliquée des plantes à fleurs. Paris : Ed TEC&DOC, Lavoisier, P : 1021-1043. ISBN : 978-2-7430-1112-3.

Botineau, M.(2010). Botanique systématique et appliquée des plantes à fleurs. TEC and DOC Lavoisier, Paris.

BOUGROW. S., (2009) Reconnaitre les champignons les plante et baies sauvages, E/P/A, 410 p.

BOUHDJERA. K. (2005), Contribution a l'étude chimique et biologique de deux plantes medicinales Sahariennes Oudneya africana R.Br. et Aristida pungens L, Thèse de Doctorat en Chimie Organique Appliquée, a l'Université Abou Bekr Belkaid, , 149p.

Boukli-hacene., 2002- Gestion des nappes Alfatiéres.Ed.Office des publications universitaires. 60p

BOULLARD. B.,(2001) Plantes médicinales du monde croyances et réalités, Boeck secandair, 636p,

Bräuchlera. C., Meimbergc, H. and Heubl, G. (2010). Molecular phylogeny of Menthinae (Lamiaceae, Nepetoideae, Mentheae)-Taxonomy, biogeography and conflicts. Molecular Phylogenetics and Evolution [en ligne], 55, 501–523.

Bruneton, J. (1999). Pharmacognosie, Phytochimie – Plantes médicinales –. 3ème Ed Techniques et documentations. Paris. pp: 227-310-312-313-314.494

Caratini R., 1971-Bordas encyclopédie, la vie des plantes, préface de F. Guinochet, 1970; 200

Chantereau P., Cruz J-F., Ratnadass A., (2013)(. Le sorgho. *Afrika focus* 27(1) : 112-114.

Chrubasik S, Enderlein W, Bauer R, & al. (1997). Evidence for antirheumatic effectiveness of Herba Urticae dioicae in acute arthritis: A pilot study. Phytomedicine .4 : 105–108.

Cronquist, A. (1968). The Evaluation and Classification of Flowering Plants. London : Ed Nelson, 396P. ISBN : 9780395053461.

De Wet J. M. J.,(1978). Systematics and Evolution of Sorghum Sect. Sorghum (Gramineae). *American Journal of Botany* 65 (4) : 477-484.

Debuigue G.,(1984)- Larousse des plantes qui guérissent . Librairie Larousse. P.5-6.

Dehaynin N., (2007). Utilisation du sorgho en alimentation animale. Thèse, école nationale vétérinaire de Lyon, 109 pages.

Dhakad A.K., Ikram S., Sharma S., Khan V.V., Pandey A., Singh. (2019). Biological, nutritional, and therapeutic significance of Moringa oleifera Lam.Phytother. Res. 33 (11):

2870-290.

Dykes L, Seitz L, Rooney WL and Rooney LW. (2009). Flavonoid composition of red sorghum genotypes. Food Chem, 116, 313–317.

Eberhard T., Anton R., Lobstein A., 2005- Plantes aromatiques Epices, aromates, condiments et huiles essentielles. Ed. tec & doc. pp.121-125.

EL Rhaffari L. (2008). Catalogue des plantes potentielles pour la conception de tisanes, l'organisation non gouvernementale italienne (MOVIMONDO), p 11.

Foidl N., Makkar H.P.S., et Becker K. (2001). Potentiel de Moringa Oleifera en agricultureet dans l'industrie. Potentiel de développement des produits du Moringa. 29 octobre 3 2novembre 2001. Dar Salaam, Tanzania.

Frederiksen R. A., Odvody. G. N., (2000). Crop diseases: Compendium of Sorghum Diseases.*American Phytopathological Press* 105 (2): 255-256.

Futuraplanete.,(2018). Le Sorgho Sous tout ses Formes www.futurasciences.com/planete/dossiers/botanique-cereale-millet-sorgho-mil,11pages.

Gaston B., 1990- La grande Flore de Gaston Bonnier.France,Suisse,Belgique et pays voisins.Ed.Belin Paris,volume 3. pp 539.

Gayet M.,(2016). Botanique, cuisine, recette par ingrédient et recette thématique. In : Le grand traité des céréales. Le sureau , paris , 344pages

Gérard, D. (2013). L'encyclopédie des plantes bio-indicatrices : alimentaires et médicinales, guide de diagnostic des sols. 2ème Ed. Paris : éditions promonature, p264. ISBN : 979-10-91115 00-1.

Gharabi Z et sand RL., 2008.- Artemisia herba alba Asso. A Guide to Medicinal Plants in North Africa : 49 - 49.

Gudrun., Germann, P. (2014). Plantes d'aromathérapie : l'univers des arômes guérisseurs. Paris : Edition Delachaux et Niestlé, p 165. ISBN 978-2-603-01965-8.

Gulçin I., Kufrevioglu O.I., Oktay M., Buyukokuroglu M.E. (2004). Antioxidant, antimicrobial, antiulcer and analgesic activities of nettle (Urtica dioica L.). J. Ethnopharmacol., 90, 205–215.

Hamza N., Berke B., Cheze C., Le Garrec R., Lassalle R., Agli A., Robinson P., Gin H. and Moore N. (2011). Treatment of high fat diet induced type 2 diabetes in C57BL/6J mice by two medicinal plants used in traditional treatment of diabetes in the east of Algeria. Journal of Ethnopharmacology 133 : 931-933

Hans, W.K. (2007). 1000 plantes aromatiques et médicinales. Toulouse : Terre édition pour la version francaise, p278. ISBN : 978-2-35530-003-5.

ISERIN. P., Encyclopédie des plantes médicinales, Larousse, 335p, 2001.

Judd WS., Campbell C.S., Kellogg E.A., Stevens P., 2002 -Botanique systématique une perspective phylogénétique.Ed. De boeck université 398-400pp

Kavalali G.M. (2003). Urtica. Therapeutic and Nutritional Aspects of Stinging Nettles.London, New York: Taylor & Francis; p. 47-55 38.

KHENAKA. K.,(2011) Effet de diverses plantes médicinales et de leurs huiles essentielles sur la méthanogénèse ruminale chez l'ovin, Mémoire de Magister, à l'Université Mentouri Constantine, ,81p.

Khodja, K. N., Makhlouf, B. L. and Madani, K. (2014). Phytochemical screening of antioxidant and antibacterial activities of methanolic extracts of some Lamiaceae. Industrial Crops and Products, 61 : 41–48.

Le Houerou HN ., 1969- La végétation de la tunisie steppique. Ann.Inst.Nati. Rech.Agronom. (INRA).Tunisie. 42(5). 624p

Maigrir Malin L'ortie, un allié santé, un allié minceur | Maigrir Malin.(consulté le 03/03/2025)

Mighri H., Hajlaoui H., Akrout A., Najjaa H., Neffati M. (2010). Antimicrobial and antioxidant activities of Artemisia herba-alba essential oil cultivated in Tunisian arid zone. Comptes Rendus Chimie 13: 380–386.

Mittman, P. 1990. Randomized, double-blind study of freeze-dried Urtica dioica in the treatment of allergie rhinitis. Planta Med, 56:44-47.

Mor, A., Koh, E., Weiner, L., Rosenwasser, S., Sibony-Benyamini, H., & Fluhr, R. 2014. Singlet oxygen signatures are detected independent of light or chloroplasts in response to multiple stresses. Plant Physiology, 165(1), 249-261.

Morton, J.F . (1991) The Horseradish Tree, Moringapterygosperma (Moringaceae) - A Boonto Arid Lands. EconomicBotany 45 : 318-333, .

N. Feinbrun-Dothan (1978). Flora Palaestina, part 3, 351-353, The Israel Academy of sciences and humanities, Jerusalem.

Nisha, P., Singhal, R. S., & Pandit, A. B. (2011). Kinetic modelling of colour degradation in tomato puree (Lycopersicon esculentum L.). Food and Bioprocess Technology, 4(5), 781-787.

Noumi Z, Ouled Dhaou S, Derbel S, Chaieb M, 2010: The status of Asteraceae in the arid and saharian flora of North African region: case of Tunisia Pak. J. Bot, 42, 1417-1422.

Ozenda P., 1983- Flore de Sahara. Ed. Centre national de recherche scientifique.2éme édtion.Paris. 662p

Pavela R., 2009- Larvicidal effects of some Euro-Asiatic plants against Culex quinque fasciatusSaylarvae (Diptera: Culicidae). J. Parasitol

Pistelli, L. (2006). Photochemicals from lamiaceae: from nutraceutics to Hallucinogens, International symposium The Labiatae: Advances in Production, Biotechnology and Utilisation, Sanremo, Italy: 22-25 February 2006. ISBN: 9789066056695.

Quezel P., et Santa S., 1963- Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionale. Tome. II Ed. CNRS. Paris.

Rajangam J., Azahkia, Manavalan, R., Thangaraj, T., Vijayakumar, A., Muthukrishan, N. (2002) Production et utilisation du Moringa en Inde du sud : la situation actuelle,.

Ramtin, M., Massiha, A., Khoshkholgh-Pahlaviani, M. R. M., Issazadeh, K., Assmar, M., et Zarrabi, S. (2012). In Vitro Antimicrobial activity of Iris pseudacorus and Urtica dioica. Zahedan Journal of Research in Medical Sciences, 16(3) : 35-39.

Randall, C.F., Randall, H., Dobbs, F., Hutton, C. & Sanders H. (2000). Randomized controlled trial of nettle sting for treatment of base-of-thumb pain. J Royal Soc Medicine, 93:305-309.

Ristic, D., Brikic, N.T. and Zalfija. (1999). Salvia officinalis l, Bric D (ed) institue for medicinal plants JosifPanacic. Belgrade and Art GrafikBelgrad, p 151-167.

Roloff A, Weisgerber H, Lang U, Stimm B, (2009) Moringaoleifera Lam., 1785 : Enzyklopädie der Holzgewächse – 40. Erg.Lfg. 6/05. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim

Salazar-López NJ, González-Aguilar G, Rouzaud-Sández O and Robles-Sánchez M. (2018). Technologies applied to sorghum (Sorghum bicolor L. Moench): changes in phenolic compounds and antioxidant capacity. Food Sci Technol, 38(3), 369-382.

Seddiek S.A., Ali M.M., Khater H.F. and El -Shorbagy M.M. (2011). Anthelmintic activity of the white wormwood, Artemisia herba -alba against Heterakis gallinarum infectingturkey poults. Journal of Medicinal Plants Research 5 (16) : 3946-3957.

Tahri A., Yamani S., Legssyer A., Aziz M., Mekhfi H., Bnouham M., Ziyyat A. (2000). Acute diuretic, natriuretic and hypotensive effects of a continuous perfusion of aqueous extract of Urtica dioica in the rat. J. Ethnopharmacol. 73: 95–100.

Taleb, T. K. (2015). Extraction et caractérisation des huiles essentielles de dix plantes aromatiques provenant de la région de Kabylie (Nord Algérien). Evaluation de leurs effets sur le bruche du niébé Callosobruchus maculatus (Coleoptera : Bruchidae). Thèse de doctorat en

biologie.

Testai L., Chericoni S., Calderoneet V. (2002). Cardiovascular effects of Urtica dioica L. (Urticaceae) root extracts: in vitro and in vivo pharmacological studies. J Ethnopharmacol, 81:105-9.

Tita, I., Mogusam, G.D., Tita., (2009). Ethnobotanicalinventory of medicinal plants from the south-west of Romania. Farmacia, 57 (2): 1416156.

VERBOIS. S., (2003) ,Plantes et herbes aromatique saveurs et vertus, Fernande Lanore , 234p.

Viotti, C., Albrecht, K., Amaducci, S., Bardos, P., Bertheau, C., Blaudez, D., ... & Chalot, M. (2022). Nettle, a long-known fiber plant with new perspectives. Materials, 15(12), 4288.

Walker, J. B., Kenneth, J., Treutlein, J., and Wink, M. (2004). Salvia (lamiaceae) is not monophyletic: Implications for the systmatics, radiation, and ecological pecializations of Salvia and tribe Mentheae. American Journal of Botany, 91 (7), 1115–1125. DOI: 10.3732/ajb.91.7.1115.

Wichtl M., Anton R. (2003). Plantes thérapeutiques: tradition, pratique officinale, science et thérapeutique.ime édition française par R. Anton Paris: éd. Tee & Doc; Cachan: éd. Médicales Internationales, 692p.

Wichtl M., et R. Anton. (2003). Plantes thérapeutiques: Tradition, pratique officinale, science et thérapeutique. TEC & DOC Lavoisier.

Wilfred V., Ralph N. (2006). Phenolic compound biochemistry Ed Springer .USA. 24p

www.futurasciences.com/planete/dossiers/botanique-cereale-millet-sorgho-mil,11pages.

Yusuf, M.A., Nahar, S., Faisal, F.M., Iqbal, J., Rahman, M.M. (2016). Antiobesity activity of Moringa oleifera leaves against high fat diet-induced obesity in rats.Int J Basic ClinPharmacol, 10: 1263-8, 2016

Zolikpo .S. Ayao. (2011). Caractérisation Agro morphologique des cultivars traditionnels de Sorgho *(Sorghum Bicolor)* au Bénin. Mémoire, Université d'Abomey Calvani Bénin,82 p.



CHAPITRE III

Matériels et méthodes

III.1. Objectifs et démarche globale

L'objectif général de cette étude est de valoriser certaines plantes médicinales à travers l'extraction de leurs composés bioactifs, la synthèse verte de nanoparticules d'argent (AgNPs) à partir de ces extraits, et l'évaluation de leur efficacité biologique. Pour répondre à cette finalité, trois objectifs spécifiques ont été définis :

1. Procéder à l'extraction et à l'analyse physicochimique des espèces végétales sélectionnées, en vue d'identifier les substances bioactives qu'elles contiennent.
2. Synthétiser et caractériser des nanoparticules d'argent (AgNPs) en utilisant les extraits végétaux comme agents réducteurs et stabilisants, et en appliquant des techniques analytiques adaptées pour déterminer leurs propriétés.
3. Évaluer les activités biologiques (antioxydante et antibactérienne) des extraits bruts et des nanoparticules obtenues, afin de comparer leur potentiel respectif.

Pour atteindre ces objectifs, une démarche expérimentale structurée a été mise en place. Elle a débuté par la préparation des extraits végétaux (aqueux et alcooliques), réalisée au laboratoire d'analyse physicochimique de la Faculté de Technologie. Ces extraits ont ensuite été soumis à des analyses préliminaires afin de déterminer la nature et la richesse en composés d'intérêt.

Dans une seconde étape, les extraits ont été utilisés pour la biosynthèse verte des nanoparticules d'argent (AgNPs). La formation des nanoparticules a été confirmée et suivie à l'aide de la spectroscopie UV-Visible. La caractérisation structurale et physicochimique des nanoparticules a été complétée par des mesures de taille de particules (DLS) et de potentiel zêta, permettant d'évaluer la stabilité colloïdale des suspensions.

Enfin, une évaluation biologique a été menée afin d'étudier l'impact de la nanosynthèse sur l'efficacité des extraits. Deux activités ont été ciblées :

– l'activité antioxydante, permettant de mesurer le pouvoir piégeur des radicaux libres,
– l'activité antibactérienne, visant à tester l'effet inhibiteur contre certaines souches bactériennes.

La présente section détaille les matériaux, réactifs et équipements utilisés, ainsi que les procédures expérimentales suivies pour chacune des étapes, de manière à garantir la fiabilité et la reproductibilité des résultats obtenus.

III.2. Matériel d'étude

Le matériel d'étude est composé de matériel non biologique et de matériel biologique.

III.2.1. Matériel non biologique

Le matériel non biologique utilisé au laboratoire comprend les produits chimiques, les équipements, le petit matériel et la verrerie.

Tableau III.1: matériels utilisés.

Produits Chimiques	**Petit matériel et verreries**	**Equipements**
Éthanol 96%	Bécher	Bain marie
Acétone 94%	Erlenmeyer	Centrifugeuse
DPPH	Entonnoir	Spectrophotomètre
Acide Ascorbique	Eprouvette graduée	L'étuve
NaCl	Burette	Plaque-chauffant
Méthanol 99%	Cristallisoir	Agitateur magnétique
DMSO	Tubes à essais	Balance de précision
FeCl3	Barreau magnétique	Un broyeur électrique
H_2SO_4	Papier filtre	Rota vapeur
Réactif de Dragendorff	Thermomètre	
HCL	Mortier et pilon	
Magnésium métallique	Spatule	
Chloroforme	Pissette	
NaOH	Pipette	
$CuSO_4$	Flacon en verre	
Gélose nutritive	Micropipette	
Milieu PDA	Fiole	
Eau distillée (1mM)	Pro pipette	
AgNO3	Boites pétri	
Antibiotique gentamycine		
Eau physiologique à 0.9% Nacl		
Bouillon nutritive sans agar		
Milieu Mueller Hinton agar		

III.2.2. Matériel biologique

III.2.2.1. Souches microbiennes

Les souches microbiennes ayant fait l'objet de cette étude sont composées de trois (3) souches bactériennes ATCC (American Type Culture Collection), provenant de l'unité de SAIDAL de Médéa (Tableau III.2).

Tableau III.2 : Les souches bactériennes utilisées.

Souches microbiennes	Type de Microorganisme	Type de Gram	Origine
Salmonella Typhimurium	Bactérie	Gram-	ATCC 14028
Staphylococcus epidermidis	Bactérie	Gram+	ATCC 12228
Staphylococcus aureus	Bactérie	Gram+	ATCC 6538

III.2.2.2. Matériel végétal

Les espèces végétales faisant l'objet de cette étude ont été collectées directement dans leurs habitats naturels. La Sauge officinale (*Salvia officinalis*) a été récoltée de d'Ain Dhab (Médéa), durant la période de Mars à Avril 2025. Le Sorgho bicolore (*Sorghum bicolor*) a été prélevé dans la région de Sétif. L'Ortie (*Urtica*) a été collectée de Dhraa Smar (Médéa) en Mars 2025. Enfin, l'Armoise (*Artemisia*) a été récoltée sur plusieurs sites, notamment dans les régions de Bordj Bou Arreridj, Tamanrasset et Djelfa.

III.3. Méthodes

III.3.1. Préparation des échantillons

Le matériel végétal fraîchement collecté a été traité de la manière suivante :

III. 3.1.1. Lavage

Les plantes étudiées ont été lavée par l'eau de robinet pour éliminer les grosses particules (la poussière) présente dans ces plantes récoltées, puis rincée à l'aide de l'eau distillée pour éviter la présence des impuretés.

III. 3.1.2. Séchage

Le séchage de la matière végétale a été réalisé dans un endroit sec à l'air libre et à l'abri de la lumière (jusqu'à l'obtention d'une plante vraiment sèche).

III. 3.1.3. Broyage

Les feuilles ont été réduites en poudre à l'aide d'un broyeur électrique afin d'augmenter la surface du contact avec le solvant utilisé.

III. 3.2. Préparation des extraits

III.3.2.1. Préparation des extraits bruts (éthanolique et acétonique)

40 g de poudre de la partie aérienne de la plante est placé dans une fiole contenant 400 ml du solvant adéquat (éthanol ou acétone) pendant 48 h sous agitation à l'aide d'un agitateur magnétique à température ambiante. Après filtration (filtration sous vide) à l'aide d'un papier filtre Wattman N°01, les solutions récupérées sont évaporées à sec sous pression réduite dans un évaporateur rotatif à 65°C et à 40°C pour l'extrait éthanolique et acétonique respectivement. Les extraits ont été récupérés dans des boites de pétri couverts de papier aluminium est perforé pour assurer l'évaporation finale du solvant et éviter l'exposition à la lumière.

III. 3.2.2. Conservation des extraits

Les extraits secs ont été conservés sous froid pour éviter toute dégradation.

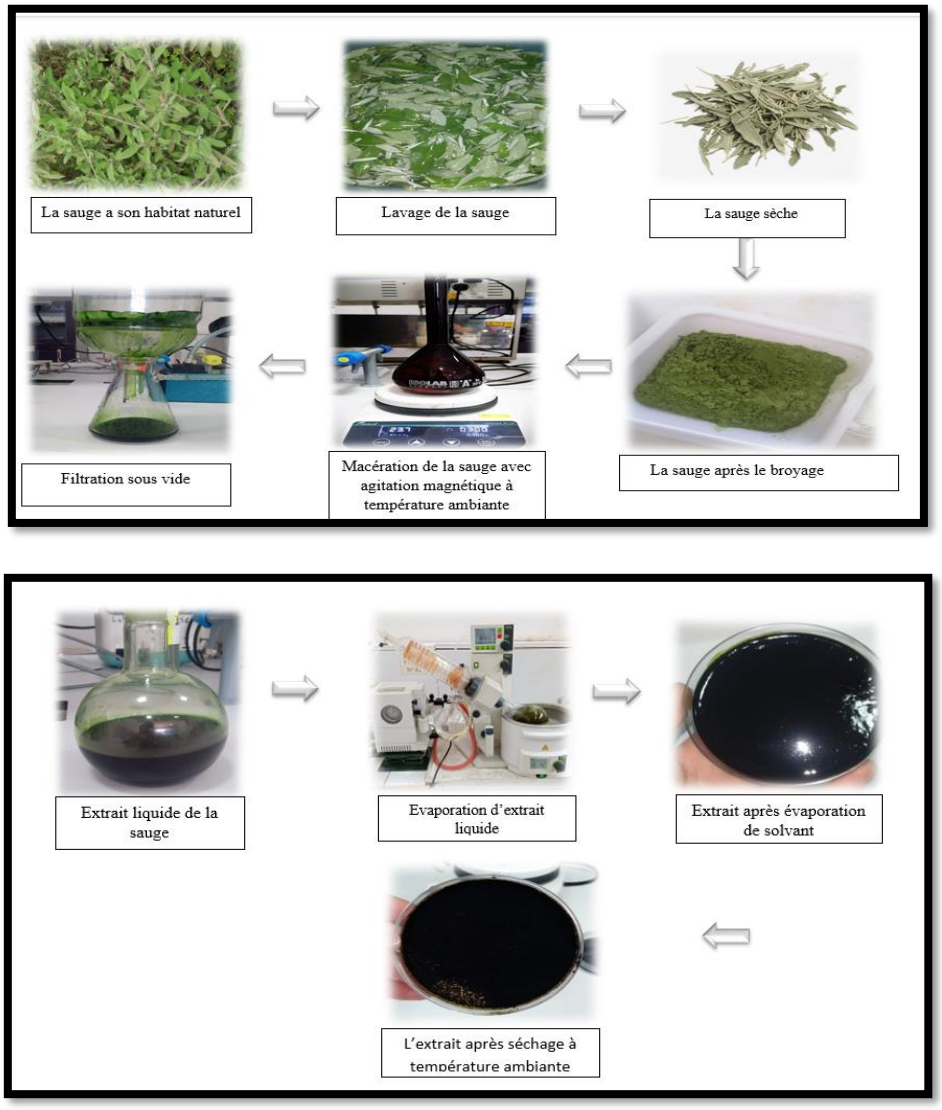


Figure III.1: Préparation des extraits secs (Acétonique et éthanoliques) de plantes.

III.3.3. Détermination du rendement d'extraction

Le rendement est défini comme étant le rapport entre la masse d'extrait obtenue et la masse de la matière végétale sèche initialement utilisée (Belabbas, 2020).

RE (%) = (ME / MS) × 100

RE : Rendement en extrait (%).

ME : Masse d'extrait récupérée exprimé en g.

MS : Masse de la matière végétale sèche utilisée pour l'extraction exprimée en g.

III.3.4. Screening phytochimique

Les différents extraits ont fait l'objet de tests qualitatifs visant à identifier les principales familles de métabolites secondaires. Ces tests reposent sur des réactions de coloration ou de précipitation révélant des composés tels que les flavonoïdes, tanins, saponines, anthocyanes, alcaloïdes, polyterpènes, stérols, sucres réducteurs et protéines, selon les protocoles décrits par (Bekro (2007), Lock et al. (2006) et Razafindrambao (1973).

III.3.4.1. Test des alcaloïdes

Les alcaloïdes ont été détectés avec le réactif de Dragendorff : 0.1g de résidu est repris dans 6ml d'éthanol à 60%. L'ajout de deux gouttes de réactif de Dragendorff sur la solution alcoolique provoquait un précipité rouge-orangé ou brun-rougeâtre et indiquait un test positif.

III.3.4.2. Test des Flavonoïdes

Le test consiste à ajouter à 2ml de l'extrait à quelques gouttes d'HCl concentré et environ 0.5g de magnésium métallique. L'apparition d'une coloration rose-orange indique une réaction positive.

III.3.4.3. Test des Tanins

La présence des tannins est mise en évidence en ajoutant à 1 ml de chaque extrait, 1 ml d'eau et 1 à 2 gouttes de solution de $FeCl_3$ diluée à 1%. L'apparition d'une coloration vert foncé ou bleue verte indique la présence des tanins. L'apparition d'une coloration vert foncé indique la présence des tanins catéchiques. L'apparition d'une coloration bleue-verte indique la présence des tanins galliques.

III. 3.4. 4. Test des quinones libres

A 2ml d'extrait, sont ajoutées quelques gouttes de NaOH 1%. L'apparition d'une coloration rouge ou violette indique un test positif.

III.3.4.5. Test des Glycosides cardiaques

2 ml de chloroforme est ajouté à 1 ml de l'extrait, l'apparition d'une coloration brun-rougeâtre après l'ajout de H_2SO_4 indique la présence des glycosides cardiaques.

III.3.5. Dosage de molécules bioactives

III.3.5.1. Dosage des polyphénols totaux

La détermination de la teneur en polyphénols totaux de nos extraits est une analyse d'extrême importance pour définir leur contribution dans l'activité antioxydante compte tenu de leurs majeurs rôles notamment pour la santé humaine.

Le dosage des polyphénols totaux a été effectué par spectrophotométrie selon la méthode au réactif de Folin-Ciocalteu. Ce dosage est basé sur la quantification de la concentration totale de groupements hydroxyles présents dans l'extrait. Le réactif de Folin-Ciocalteu consiste en une solution jaune d'acide contenant un complexe polymérique d'ions (hétéropolyacides). En milieu alcalin, le réactif de Folin-Ciocalteu, oxyde les phénols en ions phénolates et réduit partiellement ses hétéropolyacides, d'où la formation d'un complexe bleu (Akanitapichat et al 2010). Ainsi, une lecture de la densité optique à 760 nm permet de déterminer la concentration des polyphénols.

Mode opératoire

Un volume de 500 µL des solutions d'extraits à différentes concentrations sont ajoutées à 2.5 ml de réactif de Folin-Ciocalteu fraichement préparé (10 fois dilué). Le mélange est agité vigoureusement. Après 15 mn, 2 ml de carbonate de sodium à 7.5% sont additionnés. Le mélange est incubé pendant 2 h à température ambiante, puis la lecture est effectuée contre un blanc à l'aide d'un spectrophotomètre à 760 nm. Une courbe d'étalonnage a été établie dans les mêmes conditions opératoires en utilisant l'acide gallique avec des concentrations allant de 0,01 à 0,1 mg/ml.

Les résultats sont exprimés en mg d'équivalent acide gallique par g de matière sèche (mg EAG/g) en utilisant l'équation de régression. Cette dernière est obtenue à partir de la courbe d'étalonnage de l'acide gallique. Pour préparer la solution mère, dissoudre 0,01 g d'acide gallique en poudre dans 100 ml d'eau distillée. Le dosage a été effectué à partir d'une gamme d'étalonnage préparée avec des solutions mères d'acide gallique de différentes concentrations (0,01-0,1 mg/ml). On prend 100 µL de chaque solution d'acide gallique de concentrations différentes et on les introduit à l'aide d'une micropipette dans des tubes à essai.

III.3.5.2. Dosage des Flavonoïdes

La détermination des flavonoïdes a été effectuée par la méthode du trichlorure d'aluminium ($AlCl_3$) (Bahorun *et al*, 1996), elle est utilisée pour quantifier les flavonoïdes dans les différents extraits. L'$AlCl_3$ forme un complexe jaune avec les flavonoïdes, absorbe dans le visible à 430 nm.

Préparation de la gamme d'étalon de la quercétine

Mettre 0,006 g du quercétine en poudre dans 50 ml de l'eau distillée. Le dosage a été effectué selon, une gamme d'étalonnage qui a été préparée à partir d'une solution mère du quercétine de différentes concentrations (0-0,12 mg/ml) **(Tableau III.3).**

Tableau III.3: Préparation de la la gamme d'étalon de la quercétine

Concentration (mg/mL)	0	0.012	0.036	0.06	0.084	0.108	0.12
Volume Prélevé de la Solution mère du quercétine (mL)	0	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	1
Volume D'eau distillée (mL)	1	0.9	0.7	0.5	0.3	0.1	0

Dans 7 tubes à essais :

1 ml de chaque solution de la gamme étalon préparée est additionné à 1 ml d'$AlCl_3$ à 1 % (m/v). Puis, Agiter puis incuber à l'obscurité et à température ambiante pendant 10 min. L'absorbance est mesurée à 430 nm en utilisant un spectrophotomètre UV. La même méthode est utilisée avec 1 ml de chaque extrait.

III.3.6. Synthèse verte

La biosynthèse des nanoparticules d'argent (AgNPs) à partir de plantes médicinales représente une approche verte. Cette méthode utilise les composés bioactifs des extraits végétaux comme agents réducteurs et stabilisants. Les nanoparticules ainsi obtenues sont ensuite caractérisées pour évaluer leurs activités biologiques, notamment leurs effets antioxydants et antibactériens.

III.3.6.1. Préparation des extraits aqueux de plantes

Les feuilles des plantes ont d'abord été soigneusement lavées à l'eau du robinet, puis rincées à l'eau distillée. Elles ont ensuite été séchées à température ambiante, à l'abri de la lumière, pendant plusieurs jours. Une fois complètement sèches, elles ont été broyées jusqu'à l'obtention d'une poudre fine.

Pour la préparation des extraits :

- **Sauge et ortie** : 8 g de poudre ont été pesés et ajoutés à 100 mL d'eau distillée.

- **Sorgho (mélange)** : un total de 20 g composé de 10 g de déchets, 5 g de grains et 5 g de feuilles a été ajouté à 100 mL d'eau distillée.

L'extraction aqueuse a été réalisée en chauffant les mélanges sous agitation à l'aide d'un agitateur magnétique, pendant 15 minutes, tout en les maintenant à l'abri de la lumière. Après extraction, les mélanges ont été filtrés à l'aide d'un papier filtre Whatman n°1 (Figure III.2). Les extraits obtenus ont été conservés au réfrigérateur à 4 °C jusqu'à leur utilisation.

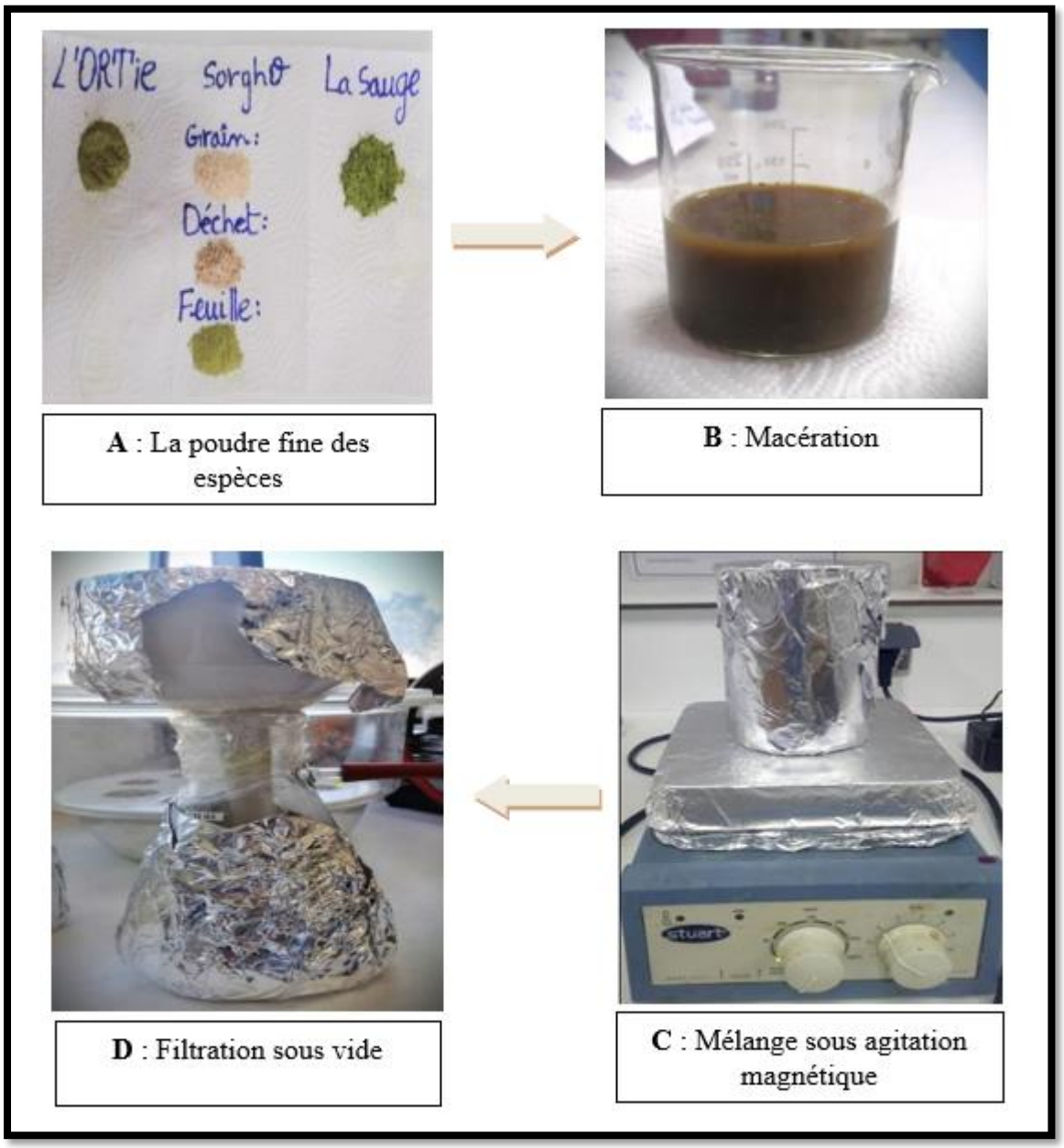


Figure III. 2 : préparation des extraits aqueux de plantes.
(A :la poudre, B : macération, C : agitation, D : filtration).

III.3.6.2. Biosynthèse verte du d'AgNPs

Nous avons opté pour la synthèse des nanoparticules d'argent par une approche biologique (G. M. Sulaiman et al .2013). Brièvement, une solution de nitrate d'argent ($AgNO_3$) à 1 mM a été préparée. Un volume déterminé de l'extrait de chaque espèce a été ajouté séparément à une solution de nitrate d'argent ($AgNO_3$), afin d'induire la réduction des ions Ag^+. Par la suite, les mélanges ont été maintenus sous agitation modérée pendant 150 min. Les nanoparticules obtenues sont analysées à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Visible. Des échantillons sont prélevés à intervalles de 30 minutes afin de suivre l'évolution des pics d'absorption caractéristiques.

Les suspensions obtenues ont ensuite été centrifugées et les surnageants éliminés. Des cycles de lavage à l'eau distillée ont été effectués dans les mêmes conditions afin de purifier les nanoparticules. Enfin, les nanoparticules purifiées ont été séchées, puis conservées à 4 °C (Figure III.3).

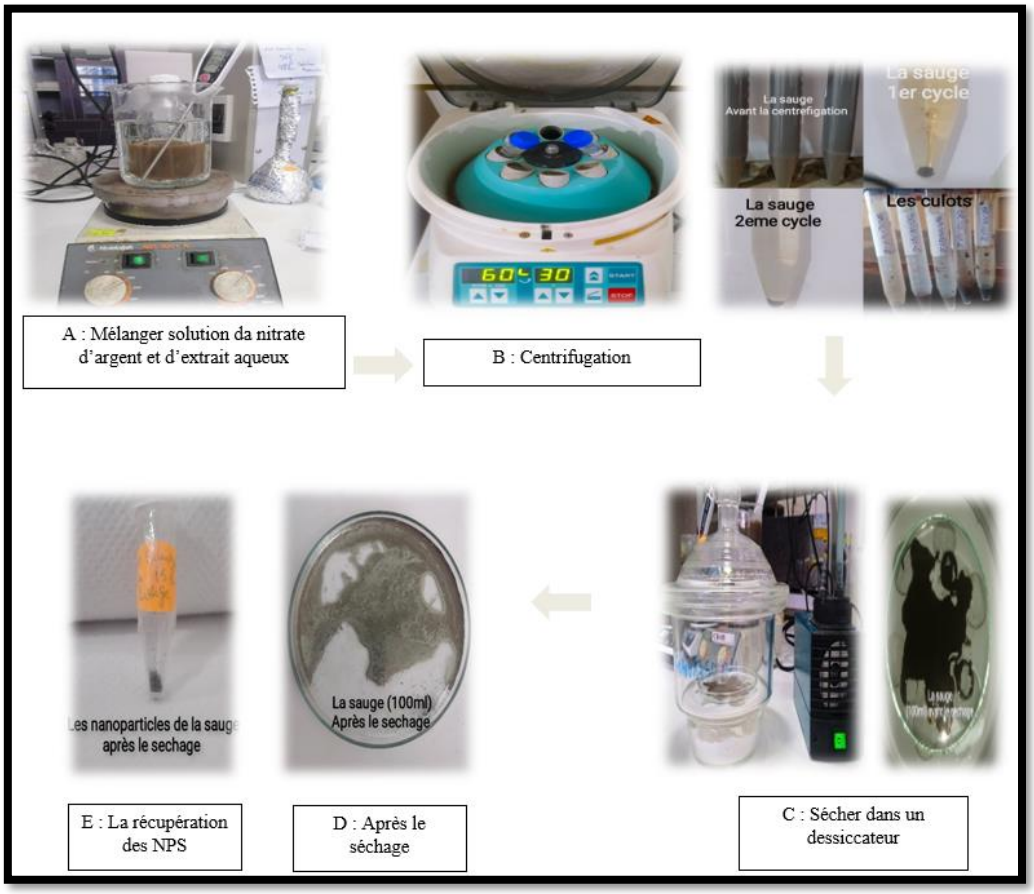


Figure III. 3 : Biosynthèse verte des Ag-NPs

III.3.6.3. Techniques de caractérisation des nanoparticules d'argent

III.3.6.3.1. Spectroscopie UV-visible

Principe : La spectroscopie UV-Visible est une technique très utilisée pour les substances organiques et minérales, elle repose sur la transition d'électrons de valence qui passent de l'état fondamental à l'état excité grâce à une onde électromagnétique. Cette transition s'accompagne des propriétés rotationnelles et vibrationnelles des molécules qui requiert une énergie assez forte qui correspond à la longueur d'onde de l'UV-visible (Stinson-Bagby et al. 2019).

Mode d'opératoire : 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 thermo statée à 25°C. L'analyse est effectuée entre 200 et 800 nm.

III.3.6.3.2. Diffusion dynamique de la lumière et potentiel zêta

La diffusion dynamique de la lumière (DLS), est une technique non destructive permettant de mesurer la taille et la distribution de la taille de particules en solution. Une expérience de DLS consiste à mesurer la vitesse à laquelle les particules diffusent en solution, du fait du mouvement Brownien.

L'appareil Horiba Scientific SZ-100 a été utilisé pour analyser la taille des particules et la distribution des nanoparticules en les dispersant dans l'eau ultra pure à température 25°C. Les mesures du potentiel zêta ont été réalisées par le même appareil. Le programme utilisé pour le traitement des données est le logiciel Horiba SZ-100 software (version 2. 20).

III.3.7. Activité biologique

III.3.7.1. Activité antioxydante

III.3.7.1.1. Evaluation de pouvoir antioxydant

De nombreuses méthodes sont utilisées pour l'évaluation de l'activité antioxydant des extrais des plantes. La plupart de ces méthodes sont basées sur la coloration ou décoloration d'un réactif dans le milieu réactionnel. Dans notre étude, nous avons utilisés l'effet scavenger sur le radical 2,2diphényl1-1-picrylhydrazyl (DPPH).

III.3.7.1.2. Effet scavenger du radical DPPH

Parmi les tests qui mesurent la capacité de balayage radicalaire, le test (2,2diphényl-1- picrylhydrazyle) le DPPH (Brand-Williams et al. 1995) est l'un des plus anciens et le plus utilisés. Il est rapide, sensible et économique (Musa et al. 2016). Le test DPPH est utilisé pour la détermination de l'activité antioxydant d'extraits alimentaires et composés simples (Fadda et al. 2014).

III.3.7.1.3. Principe

Cette méthode repose sur la réduction d'un radical libre, le *2,2'-Diphényl-1-picrylhydrazyl (DPPH),* en présence d'un antioxydant donneur. L'antioxydant est converti en forme d'hydrazine en acceptant un atome d'hydrogène. La réduction du *DPPH* par l'antioxydant peut être surveillée par spectrophotométrie, en mesurant la diminution de l'absorbance à 517 nm due à la présence *de l'antioxydant* (Burits et Bucar, 2000). Initialement violet, le *DPPH* perd sa couleur lorsque son électron célibataire est apparié (Figure 12). Cette disparition de couleur reflète la capacité des composés phénoliques à piéger ces radicaux libres, indépendamment de toute activité enzymatique.

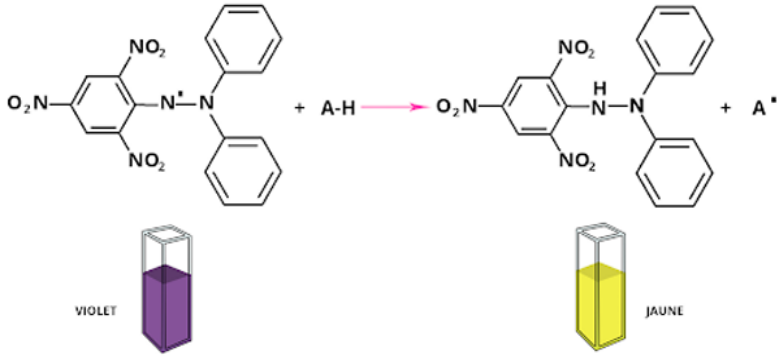


Figure III.4: la couleur de la solution de DPPH avant et après l'ajout d'un antioxydant.

III.3.7.1.4. Mode opératoire

La méthode décrite par Sanchez-Moreno et al. (1998) est employée pour évaluer la capacité des extraits à neutraliser le radical libre DPPH, suivie par le calcul de l'IC50.

- **La solution de DPPH**

La solution est préparée par l'ajout de 2.5 mg de radical DPPH dans 80 ml de méthanol à 90%. Le volume est ajusté à 100 ml. La solution est préparée à l'avance, au moins 1 à 2 h car la solubilisation est difficile, et elle ne se conserve pas plus de 4 à 5 jours à - 5°C et à l'obscurité.

- **Les extraits à tester**

Les extraits sont préparés dans du méthanol à une concentration de 0,5 mg/ml. Ensuite, une série de dilutions est effectuée pour obtenir des concentrations allant de 0,03125 à 0,25 mg/ml. Cinquante microlitres de chaque solution méthanolique sont mélangés avec 1950 µl d'une solution méthanolique de *DPPH* fraîchement préparée (0,025 g/l). En parallèle, un contrôle négatif est préparé en mélangeant 50 µl de méthanol avec 1950 µl de la solution méthanolique de DPPH. Après une incubation de 30 minutes à l'obscurité et à température ambiante, la lecture de l'absorbance est réalisée à 515 nm en

comparaison avec un blanc. Le contrôle positif consiste en une solution d'un antioxydant standard : l'acide ascorbique. Son absorbance est mesurée dans les mêmes conditions que celles des échantillons.

- **Expression des résultats**

La capacité antioxydante est exprimée en pourcentage d'inhibition du radical par la formule suivante :

I (%) = ((A_c-A_t) /A_c) *100

I (%): capacité antioxydante.

A_c : absorbance du contrôle.

A_t : absorbance du test effectué.

- **Calcul de l'IC50**

L'IC50 (concentration inhibitrice médiane) correspond à la concentration d'extrait ou d'huile essentielle nécessaire pour réduire l'activité du DPPH de 50%. Elle est déterminée graphiquement en effectuant une régression linéaire du graphe qui relie le pourcentage d'inhibition aux différentes concentrations des échantillons testés (Molyneux, 2004). Une faible valeur d'IC50 indique une capacité élevée à neutraliser le radical libre DPPH.

III.3.7. 2. Activité antibactérienne

L'étude de l'activité antibactérienne des extraits acétonique et éthanolique des extraits étudiés contre les quatre souches bactériennes a été évaluée qualitativement par la méthode de diffusion sur disque (aromatogramme) afin de tester la sensibilité de ces souches bactériennes.

III.3.7.2.1. Principe

Le principe de cette méthode repose sur la diffusion du composé à effet antibactérien en milieu solide dans une boite de pétri, après un certain temps de contact entre le produit et le microorganisme. L'activité antibactérienne sur la cible est appréciée par la mesure de diamètre d'inhibition et en fonction du diamètre d'inhibition (Cavallo, 2007).

III.3.7.2.2. Mode opératoire

III.3.7.2.2.1. Milieux de culture utilisés

- Le bouillon nutritif est utilisé pour la vérification de la vitalité des bactéries
- La gélose nutritive est utilisée pour l'isolement et la conservation des souches.
- Milieu Hektoen (Gélose Hektoen) est un milieu sélectif et différentiel principalement utilisé pour l'isolement et la détection des bactéries entéropathogènes, en particulier les *Salmonella typhimirium*.

- Le milieu de Chapman, également connu sous le nom de Mannitol Salt Agar (MSA)**,** est un milieu sélectif et différentiel utilisé pour l'isolement et l'identification des Staphylococcus, en particulier *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis.*
- La gélose Mueller Hinton est utilisée pour tester la sensibilité des bactéries aux différents extraits.

III. 3.7.2.2. 2. Conservation des souches

Elles sont conservées à 4°C dans des boites de pétri contenant de la gélose nutritive.

III. 3.7.2.2.3. Choix de l'antibiotique

L'antibiotique utilisé dans notre étude est l'Ofloxacine à une charge de 5 µg par disque. Notre choix s'est porté sur cet antibiotique vu qu'il possède un large spectre d'action, à la fois actif sur les Gram + et sur les Gram- et les bactéries intracellulaires permettant de déterminer la sensibilité de toute la gamme de bactéries étudiées vis-à-vis de cet antibiotique. Ce dernier est sélectionné selon la recommandation du comité de l'antibiogramme de la société française de microbiologie (CASFM, 2012).



Figure III.5: Antibiotique Ofloxacine**.**

III.3.7.2.2.4. Préparation des précultures

- **Réactivation des souches**

Les souches bactériennes préalablement conservées à 4°C dans des boites de pétri stériles contenant de la gélose nutritive ont été réactivées dans le bouillon nutritif puis incubées à 37°C pendant 18 heures jusqu'à 24 heures afin de vérifier leur viabilité.

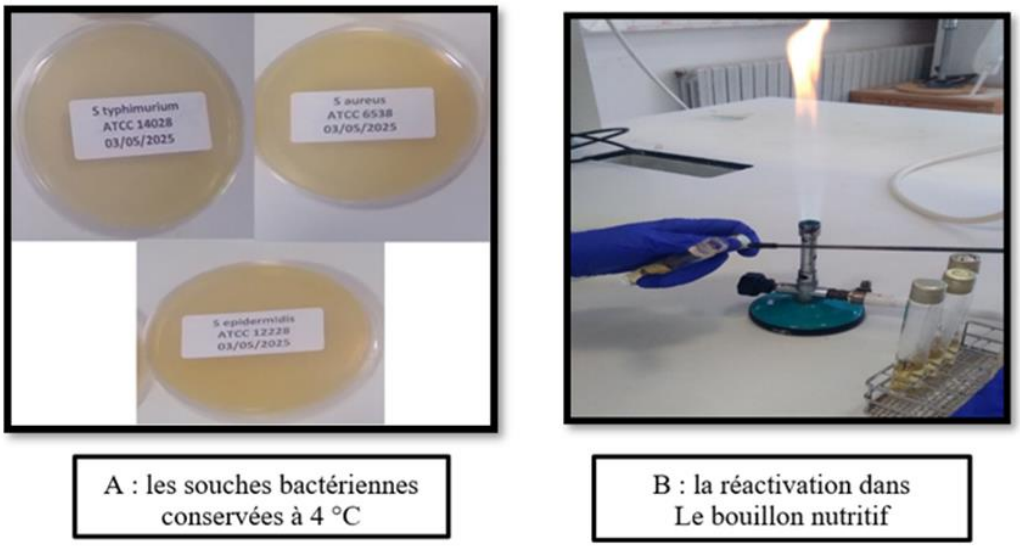


Figure III.6: La réactivation des souches bactériennes dans le bouillon nutritif.

(A : Les souches conservées à 4 °C, B : la réactivation des souches).

- **Repiquage des souches**

Après 24h, des gouttelettes de la suspension ont été ensemencée par stries séries (avec l'anse de platine) sur gélose nutritive et des milieux sélectifs puis incubées pendant 18h-24h à 37°C.

On fait l'ensemencement de *salmonella Typhimurium* dans le Gélose nutritive et l'Hektoen, et pour *staphylococcus aureus* et *staphylococcus epidermidis* sont ensemencées dans le gélose nutritive et Chapman.

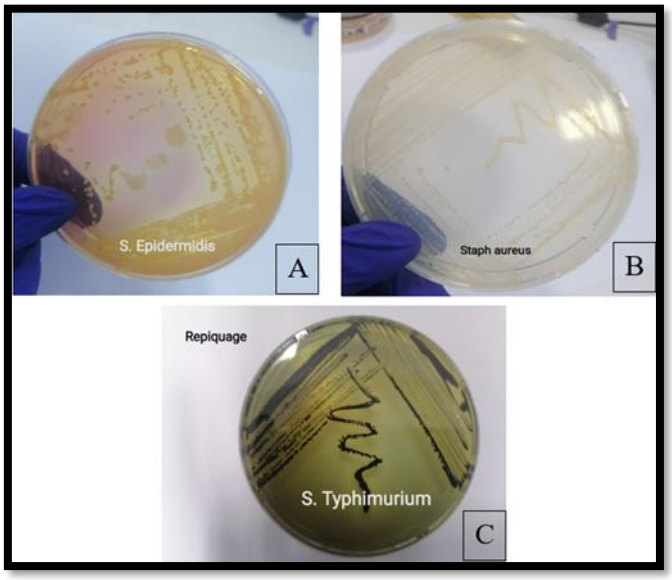


Figure III.7: Repiquage des souches bactériennes.

(A :S. Epidermidis, B :S. Aureus, C :S. Typhimurium).

III. 3.7.2.2. 5. Préparation de la suspension bactérienne

Après incubation, des colonies similaires bien isolées sont mises en suspension dans l'eau physiologique stérile à 0.9% Nacl. Après homogénéisation de la suspension bactérienne à l'aide d'un vortex, la standardisation de la densité optique à 0.5 selon l'échelle de McFarlane est réalisée par Spectrophotomètre réglé sur une longueur d'onde de 625 nm. La densité optique obtenue doit être comprise entre 0.08 et 0.1, ce qui correspond à une concentration de 10^7 à 10^8 UFC/ml selon Mac Farland (Sarac et Ugur, 2007, Athamena et al., 2010 ; Karata et Ertekin, 2010). L'inoculum peut être ajusté en ajoutant, soit de la culture s'il est trop faible ou bien de l'eau physiologique stérile s'il est trop fort.

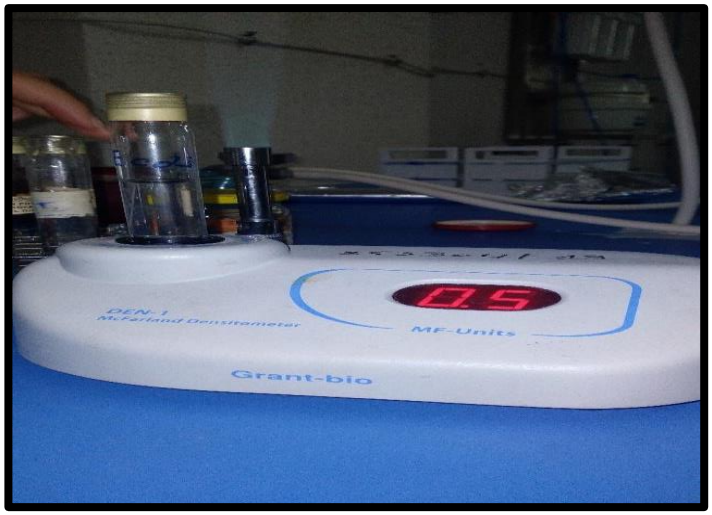


Figure III.8: préparation des suspensions bactériennes**.**

III. 3.7.2.2. 6. Préparation des dilutions des extraits testés

Une solution initiale (200 mg/ml) des extraits acétonique et éthanolique a été préparée avec un solvant organique DMSO.

Une solution initiale (1 mg/ml) des nanoparticules a été préparée avec un solvant organique DMSO.

En effet, ces extraits ne sont pas solubles à l'eau, ce qu'il était nécessaire de les solubiliser dans le DMSO. On a opté pour le DMSO pour son innocuité vis-à-vis des microorganismes.

III. 3.7.2.2. 7. Ensemencement

Dans des boites de Pétri, le milieu de culture gélosé Mueller-Hinton en surfusion est coulé aseptiquement à raison de 15 ml par boite. Après refroidissement et solidification sur la paillasse, un écouvillon stérile imbibé avec la suspension bactérienne de concentration d'environ 10^8 UFC/ml fraichement préparée est étalé à la surface de la gélose à trois reprises, en tournant la boite à environ 60° après chaque application sans oublier de faire pivoter l'écouvillon sur lui-même et finir l'ensemencement en passant l'écouvillon sur la périphérie de

la gélose dans le but d'avoir une distribution égale de l'inoculum. Toutes les boites sont laissées sécher pendant 5 minutes.

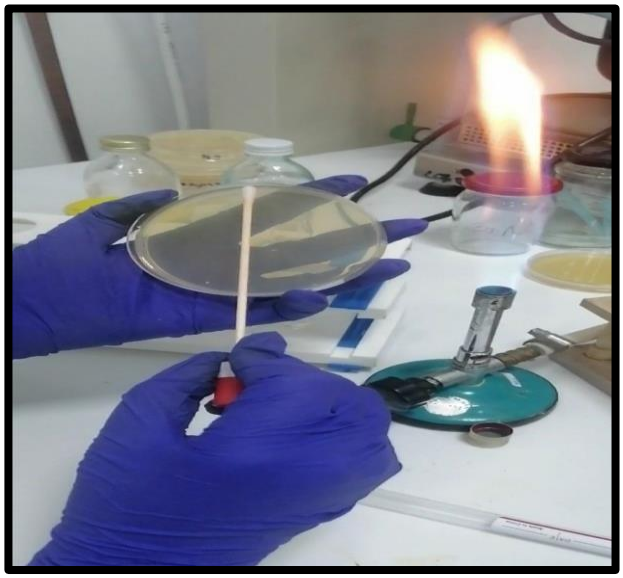


Figure III.9: L'étape d'ensemencement**.**

III. 3.7.2.2. 8. Application des disques

Des disques blancs stériles de 6 mm de diamètres sont imprégnés avec les extraits de nos plantes en mettant seulement en contact le bout du disque qui va absorber progressivement les extraits jusqu'à l'imprégnation totale du disque puis déposés à la surface de la gélose à l'aide d'une pince bactériologique stérile. Le disque d'antibiotique (Ofloxacine) est déposé à la surface de la gélose à l'aide d'une pince bactériologique stérile. L'antibiotique est utilisé comme contrôle positif. Les disques blancs stériles de 6 mm de diamètres, imprégnés du DMSO sont déposés à la surface de la gélose à l'aide d'une pince bactériologique stérile. Le DMSO est utilisé comme contrôle négatif.

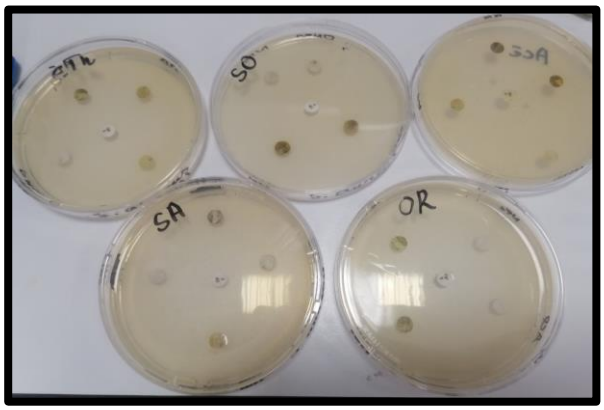


Figure III.10: Application des disques.

III. 3.7.2.2. 9. Incubation

Toutes les boites de Pétri sont scellées avec du para film stérile pour éviter l'évaporation éventuelle des extraits., puis incubées à 37°C pendant 24 h.

III. 3.7.2.2. 10. Expression des résultats

Après la période d'incubation, la valeur des diamètres d'inhibition où les microorganismes testés n'ont pas poussés (zone d'inhibition visible) est mesurée à l'aide d'une règle graduée en mm.

La sensibilité des souches testées vis-à-vis l'extrait acétonique et éthanolique et les nanoparticules est classée selon les diamètres des halos d'inhibition (Ponce et al., 2003).

- Diamètre inférieur à 8mm : non sensible (-) ou résistante.
- Diamètre compris entre 9 à 14mm : sensible (+).
- Diamètre compris entre 15 à 19mm : très sensible (++).
- Diamètre supérieur 20mm : extrêmement sensible (+++)

Références bibliographiques

Bahorun T., Gressier B., Trotin F., Brunet C., Dine T., Vasseur J., Gazin JC., Pinkas m., Luyckx M., Gazin M.,(1996) Oxygen species scavenging activity of phenolic extract from Hawthorn fresh plant organs and pharmaceutical preparations. *Arzneim-Forsch/drug Res*:1-6.

Békro Y A, Békro J A M, Boua B, TRA Bi F H. et Ehilé E. (2007). Etude ethnobotanique et screening phytochimique de Caesalpinia benthamiana (Baill.) Herend. et Zarucchi (Caesalpiniaceae). Sciences and Nature. V. 4 (2) :217-225.

Belabbas M., (2020). Composition chimique et activités biologiques des polyphénols de l'ortie (Urtica dioica L). Thèse de doctorat en Sciences Agronomiques. Univ. Mostaganem.

Diani, J., & Gall, K. (2006). Finite Strain 3D Thermoviscoelastic Constitutive Model. *Society*, *51*(7), 1–10.

Lin, P. C., Lin, S., Wang, P. C., & Sridhar, R. (2014). Techniques for physicochemical characterization of nanomaterials. *Biotechnology Advances*, *32*(4), 711–726.

Lock O, Cabello I, Doroteo V H. (2006). Analysis of flavonoids in plants. Current Medicinal Chemistry.V. 20 : 6-11.

P. Akanitapichat, K. Phraibung, K. Nuchklang, and S. Prompitakkul (2010), Antioxidant and hepatoprotective activities of five eggplant varieties; Food and Chemical Toxicology, 48:3017–3021.

Razafindrambao R S. (1973). Etude d'une Plante Médicinale Malgache Buxus madagascarica Bail et ses variétés. Ed : O.R.S.T.O.M, Paris. 96p.

Stinson-Bagby, K. L., Owens, J., Rouffa, A., Bortner, M. J., & Foster, E. J. (2019). Silver Nanoparticle Pulsed Synthesis and Attachment to Cellulose Nanocrystals. *ACS Applied Nano Materials*, *2*(4), 2317–2324. https://doi.org/10.1021/acsanm.9b00225.



CHAPITRE IV

Résultats et discussions

IV.1. Evaluation du rendement de l'extraction

Le rendement des extraits éthanoliques et acétoniques des différentes espèces sont représentés dans la figure suivante (Figure IV.1) :

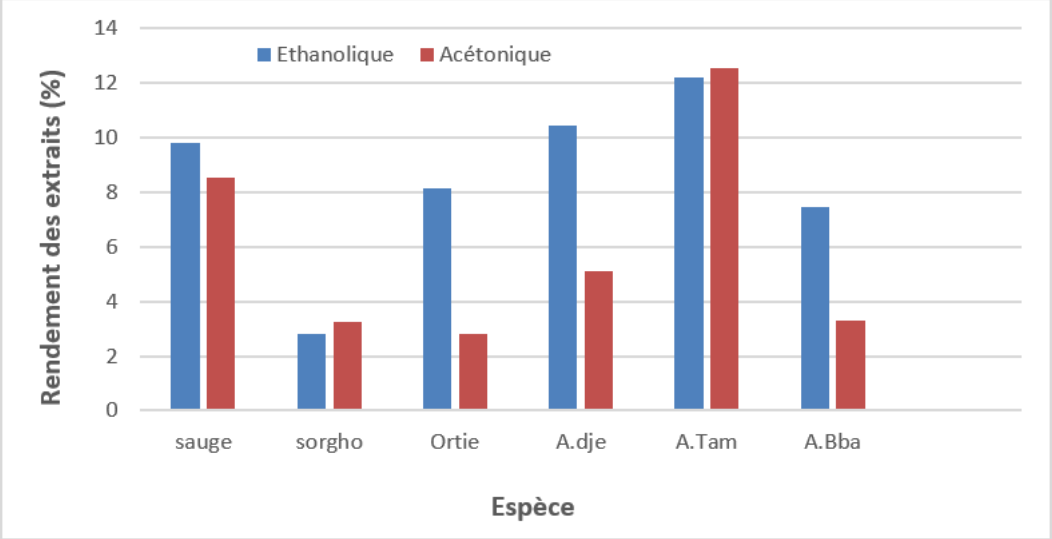


Figure IV.1 : Rendement d'extraction.

L'analyse graphique montre une différence nettement apparente entre le rendement des espèces étudiées pour les deux extraits (éthanolique et acétonique). En effet, le rendement de l'extrait éthanolique des Artemisia est généralement supérieur à celui des autres espèces notamment l'espèce originaire de Tamanrasset et Djelfa (12.2% vs 10.4%, respectivement). En revanche, l'extrait acétonique de l'Artemisia de Tamanrasset et celui de la sauge qui détiennent les meilleurs rendements (plus de 12.5 et 8.5%, respectivement).

Pour la majorité des espèces étudiées (Sauge, Ortie, Artemisia des différentes régions), l'extrait éthanolique a donné le rendement le plus élevé que l'extrait acétonique. Cela suggère que l'éthanol est plus efficace pour extraire un plus grand nombre ou une plus grande quantité de composés solubles à partir de ces plantes. L'éthanol est un solvant polaire protique, capable d'extraire une large gamme de composés polaires et semi-polaires, tels que les polyphénols, les flavonoïdes, les glucides, etc.

IV.2 Analyse phytochimique et biologique des extraits Acétonique et éthanolique des plantes étudies

IV.2.1. Screening phytochimique

Les espèces étudiées montrent une diversité qualitative importante dans leur composition en métabolites secondaires.

Le sorgho (*Sorghum bicolor*) se distingue par une richesse marquée en flavonoïdes, tannins et glycosides cardiaques, présents dans les deux types d'extraits. Cela en fait une espèce potentiellement polyvalente sur le plan pharmacologique. En revanche, la sauge (*Salvia officinalis*) est pauvre en flavonoïdes mais contient des tannins, des quinons libres (uniquement en extrait éthanolique), et des glycosides cardiaques, suggérant un profil plus ciblé.

L'ortie (*Urtica dioica*) est caractérisée par une présence modérée en flavonoïdes et tannins, mais reste négative pour les autres groupes chimiques. Ce profil la rend intéressante pour ses propriétés antioxydantes, tout en étant plus limitée dans sa diversité métabolique.

Quant aux différentes Artemisia, elles présentent un profil intermédiaire, riche en flavonoïdes, tannins et glycosides, avec des variations notables selon la provenance.

D'une manière générale, les extraits éthanoliques révèlent une plus grande richesse en composés bioactifs que les extraits acétoniques. Par exemple, les flavonoïdes ne sont détectés que dans les extraits éthanoliques pour toutes les espèces positives, tandis que les quinons libres sont également presque exclusivement extraits avec l'éthanol. Cette différence s'explique par la meilleure polarité de l'éthanol, qui permet d'extraire un spectre plus large de métabolites polaires comme les polyphénols.

Les tannins, en revanche, sont extraits efficacement par les deux solvants, ce qui confirme leur bonne solubilité dans des milieux polaires et semi-polaires. Quant aux glycosides cardiaques, leur extraction est également favorisée par l'éthanol, comme en témoigne leur absence dans les extraits acétoniques de la majorité des espèces, sauf le sorgho.

L'étude de trois échantillons de *Artemisia herba-alba* provenant de régions différentes (BBA, TAM, et Dj) met en évidence une variabilité chimique intra-spécifique significative. L'échantillon TAM présente le profil le plus riche, avec la présence simultanée de flavonoïdes, tannins, quinons libres et glycosides cardiaques, notamment dans les extraits éthanoliques. Ce profil suggère un fort potentiel thérapeutique. En plus, l'échantillon Dj, bien que similaire, se distingue par l'absence de tannins en extrait acétonique, ce qui traduit une légère différence dans la composition phénolique selon l'origine. Quant à l'échantillon BBA, il est moins diversifié, ne contenant pas de quinons libres et montrant une expression plus restreinte des glycosides. Ces différences peuvent être attribuées à des facteurs environnementaux (climat, sol, altitude) ou génétiques influençant la biosynthèse des métabolites secondaires chez une même espèce.

L'analyse comparative met en évidence des différences notables tant entre les espèces qu'au sein d'une même espèce, en fonction de l'origine géographique et du solvant utilisé. L'éthanol s'avère plus efficace que l'acétone pour extraire des composés bioactifs d'intérêt,

notamment les flavonoïdes, quinons libres et glycosides. Parmi les espèces étudiées, le sorgho et Artemisia TAM se démarquent par leur diversité chimique, tandis que la sauge et l'ortie présentent des profils plus ciblés. Enfin, la variabilité observée entre les *Artemisia* témoigne de l'importance de la provenance géographique dans la qualité chimique des extraits végétaux, un critère crucial pour la phytothérapie et la valorisation par nanotechnologie.

Tableau IV.1: Screening chimique des extraits éthanolique et acétonique des espèces étudies.

Test / **Espèce**	**Alcaloïdes**		**Flavonoïdes**		**Tannins**		**Quinons libres**		**Glycosides cardiaques**	
	Acé	**Eth**	**Acé**	**Eth**	**Acé**	**Eth**	**Acé**	**Eth**	**Acé**	**Eth**
Sauge	-	-	-	+	+	+	-	+	-	+
Ortie	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-
Sorgho	-	-	+	+	+	+	-	-	+	+
Artemisia (BBA)	-	-	-	-	+	+	-	-	-	+
Artemisia (TAM)	-	-	-	+	+	+	-	-	+	+
Artemisia(Dje)	-	-	-	-	+	+	-	-	+	+

IV.2.2. Dosage des polyphénols

L'analyse des taux de polyphénols totaux présentés dans la figure IV.2 révèle une différence très hautement significative ($P < 0,001$) entre les extraits acétoniques et éthanoliques pour l'ensemble des espèces étudiées. De façon générale, les extraits éthanoliques présentent des concentrations en polyphénols nettement plus élevées que les extraits acétoniques, quel que soit le végétal considéré. Cette tendance confirme que l'éthanol constitue un solvant d'extraction plus efficace pour les composés phénoliques que l'acétone.

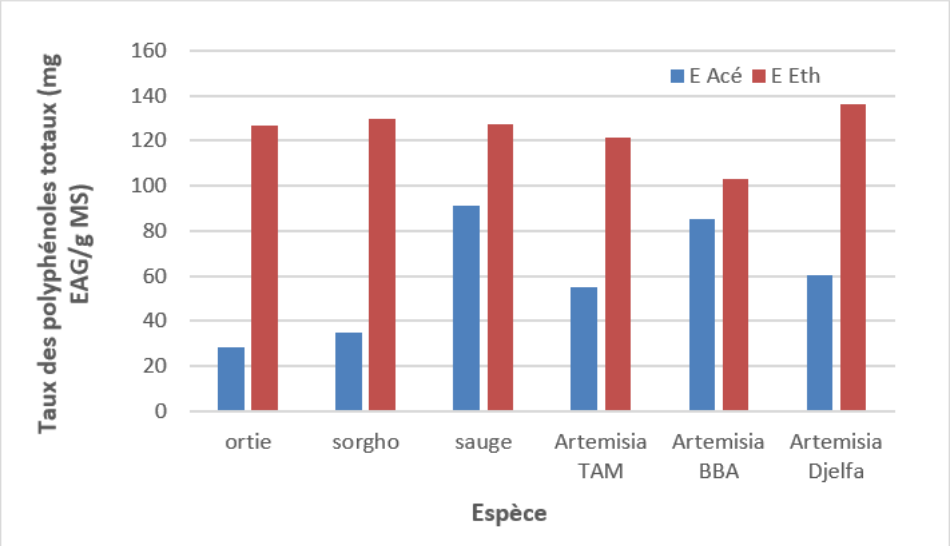


Figure IV.2 : Le taux des polyphénols totaux des extraits (acétonique = E Acé et éthanoliques = E Eth) de diffèrent espèces**.**

En comparant les différentes espèces, l'Artemisia Djelfa se distingue par la teneur la plus élevée en polyphénols dans l'extrait éthanolique (près de 140 mg EAG/g MS), suivie du sorgho, de la sauge, et de l'Artemisia TAM, dont les taux dépassent également les 125 mg EAG/g MS. En revanche, l'ortie affiche les concentrations les plus faibles, particulièrement dans l'extrait acétonique (environ 30 mg EAG/g MS). Ces résultats montrent une variabilité interspécifique importante en matière de richesse polyphénolique, reflet à la fois des propriétés génétiques propres à chaque espèce et de leur capacité à biosynthétiser ces composés secondaires.

En s'intéressant plus spécifiquement aux espèces du genre *Artemisia*, une variabilité régionale marquée est également observée. L'Artemisia Djelfa montre des teneurs supérieures à celles de l'Artemisia TAM et de l'Artemisia BBA, aussi bien dans l'extrait éthanolique qu'acétonique. Cette différence peut s'expliquer par des facteurs environnementaux distincts entre les régions, tels que l'altitude, la nature du sol, ou les conditions climatiques, qui peuvent influencer le métabolisme secondaire de la plante. L'Artemisia BBA, bien que riche en polyphénols par rapport à d'autres espèces comme l'ortie, présente des taux relativement inférieurs aux deux autres accessions d'Artemisia, suggérant soit une variabilité génétique intra-spécifique, soit une adaptation à un milieu moins contraignant.

Ces données confirment l'effet combiné du solvant d'extraction et de l'origine géographique sur la capacité d'extraction des composés phénoliques. Elles soulignent également l'intérêt d'Artemisia Djelfa, dont les extraits éthanoliques se démarquent par leur richesse en polyphénols, offrant ainsi un potentiel élevé pour les applications antioxydantes dans les domaines : pharmaceutique, cosmétique ou agroalimentaire.

IV.2.3. Dosage des flavonoïdes

L'analyse des taux de flavonoïdes présentés dans la figure IV.3 révèle une différence très hautement significative ($P < 0,001$) entre les extraits acétoniques (E Acé) et éthanoliques (E Eth) pour toutes les espèces étudiées.

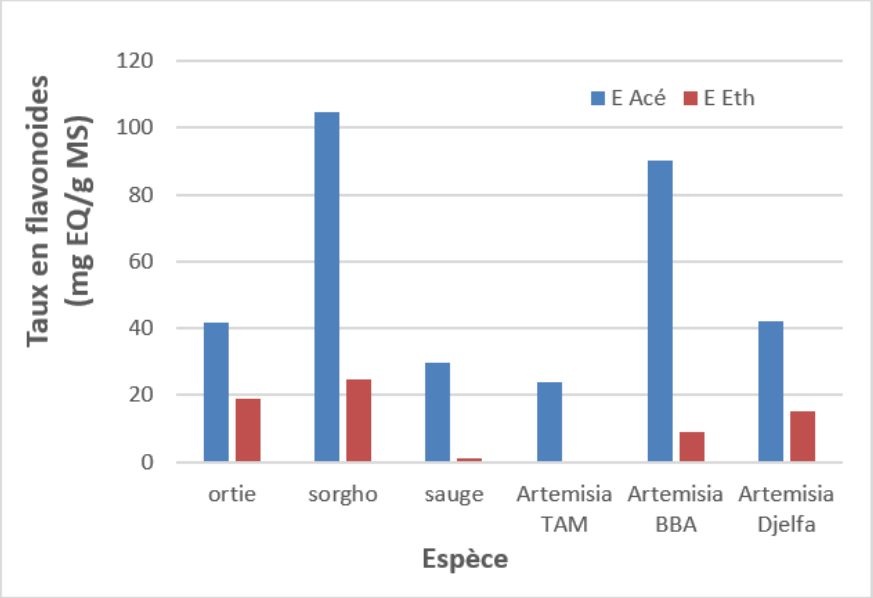


Figure IV.3: Le taux des flavonoïdes des extraits (acétonique et éthanolique) des espèces étudiées.

Contrairement aux résultats observés pour les polyphénols totaux, ici ce sont les extraits acétoniques qui présentent systématiquement des concentrations supérieures en flavonoïdes, quelle que soit l'espèce végétale concernée. Cette inversion de tendance souligne l'influence du solvant non seulement sur le rendement global en composés phénoliques, mais aussi sur le type de métabolites secondaires extraits.

Parmi les espèces analysées, le sorgho affiche la teneur la plus élevée en flavonoïdes dans l'extrait acétonique (plus de 100 mg EQ/g MS), suivi par Artemisia BBA (environ 90 mg EQ/g MS) et l'ortie (environ 42 mg EQ/g MS). Les extraits éthanoliques, en revanche, montrent des teneurs bien plus faibles, ne dépassant pas les 25 mg EQ/g MS dans la majorité des cas. Cette tendance met en évidence une meilleure affinité des flavonoïdes pour l'acétone, ce qui peut être attribué à la structure chimique de ces composés, souvent moins polaire que celle des autres types de polyphénols.

En effet, les flavonoïdes, notamment sous leurs formes aglycones (non glycosylées), possèdent une solubilité plus importante dans des solvants moins polaires ou modérément polaires comme l'acétone. Ce dernier présente une polarité inférieure à celle de l'éthanol, ce

qui pourrait expliquer sa plus grande efficacité à extraire cette classe particulière de composés. De plus, l'acétone peut parfois pénétrer plus efficacement les parois cellulaires végétales, facilitant ainsi la libération de flavonoïdes contenus dans les structures intracellulaires.

La comparaison entre les espèces montre aussi une variabilité importante selon l'origine géographique et le type de plante. Chez les espèces du genre Artemisia, l'extrait acétonique d'Artemisia BBA est particulièrement riche en flavonoïdes, bien au-dessus des valeurs observées chez Artemisia TAM et Artemisia Djelfa, ce qui indique une influence possible de l'environnement local ou du génotype sur la biosynthèse de ces métabolites. À l'inverse, les extraits éthanoliques des mêmes espèces montrent des teneurs faibles, parfois proches de zéro (comme chez Artemisia TAM), confirmant l'inadéquation relative de l'éthanol pour l'extraction des flavonoïdes dans ces conditions expérimentales.

En conclusion, ces résultats soulignent que le choix du solvant doit être orienté selon la nature des métabolites d'intérêt. Tandis que l'éthanol est plus efficace pour les polyphénols totaux, l'acétone se révèle plus performant pour l'extraction des flavonoïdes. Cette complémentarité peut être exploitée dans des approches multi-extraction visant à valoriser au maximum le potentiel bioactif des plantes étudiées.

IV.2.4. Evaluation de l'activité antioxydante des extraits

L'évaluation de l'activité antioxydante des extraits, mesurée par le test $DPPH^+$ (Figure IV.4), montre une dynamique globalement similaire entre les espèces, marquée par une augmentation de l'inhibition avec la concentration. L'analyse de la variance (ANOVA) a révélé une différence très hautement significative ($P < 0,001$) pour l'effet de l'interaction entre le type d'extrait et la concentration, ce qui signifie que la réponse antioxydante dépend à la fois du solvant utilisé et du niveau de concentration testé, et ce, pour toutes les espèces étudiées.

Dans la majorité des cas, l'extrait éthanolique s'est révélé significativement plus efficace que acétonique, notamment chez les espèces du genre *Artemisia* (TAM, BBA, Djelfa). Cette supériorité est particulièrement marquée à haute concentration (C1=4mg/ml), où les pourcentages d'inhibition pour les extraits acétoniques atteignent respectivement 71,3 % (*Artemisia TAM*), 64 % (*Artemisia BBA*), 82,6 % (*Artemisia Djelfa*), dépassant nettement ceux obtenus avec les extraits acétonique. Cette efficacité accrue peut être attribuée à une teneur plus élevée en flavonoïdes dans les extraits éthanolique, comme observé précédemment, ces composés étant particulièrement reconnus pour leur capacité à neutraliser les radicaux libres.

Contrairement la sauge présente avec l'extrait acétonique à haute concentration

(C1=4mg/ml), où le pourcentage d'inhibition atteint 93,3 %, cela montre que l'acétone est mieux que l'éthanol pour l'extraction des molécules bioactifs pour cet espèce (sauge)

Une remarque importante s'impose concernant le sorgho : bien que seule l'activité de l'extrait éthanolique ait été évaluée dans les figures, il a présenté un comportement distinct. Il a affiché une activité antioxydante modérée dès la plus faible concentration (C5=0.25mg/ml)), atteignant 32,62 %, contrairement aux autres espèces où les extraits à faible concentration montraient une inhibition très faible (< 15 % en général pour l'éthanolique, sauf la sauge). Ce résultat suggère que certains antioxydants présents dans le sorgho sont particulièrement actifs même à faible dose, ce qui peut refléter une composition chimique différente ou une plus grande affinité avec le radical $DPPH^+$.

En somme, les résultats confirment que l'activité antioxydante est fortement influencée par la nature du solvant d'extraction et la concentration appliquée. Les extraits éthanoliques, plus riches en flavonoïdes, se sont avérés plus actifs dans la majorité des cas. Cette tendance est statistiquement appuyée par l'interaction significative entre les deux facteurs étudiés (extrait * concentration). Le sorgho, bien que représenté uniquement par l'extrait éthanolique, a montré une efficacité précoce intéressante, suggérant qu'il contient des composés antioxydants puissants, actifs même à faibles doses.

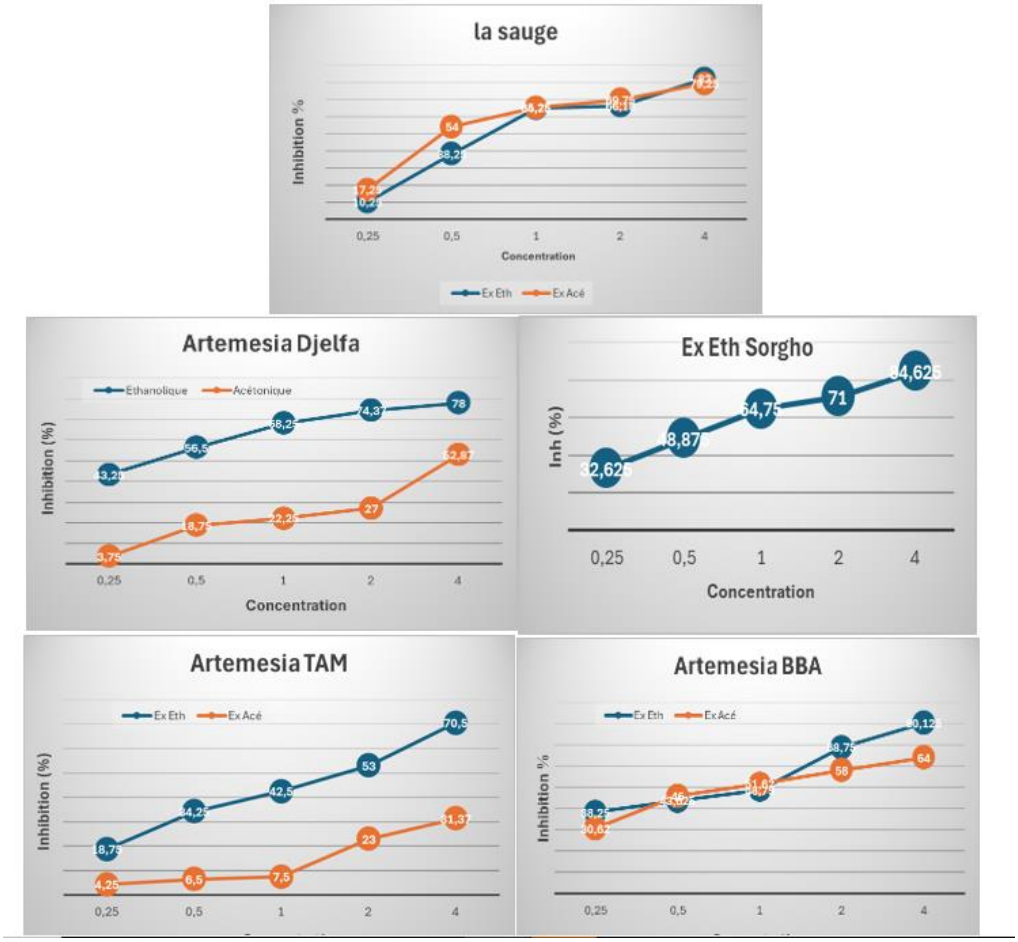


Figure IV.4 : Evaluation de l'activité antioxydante des extraits acétoniques et éthanoliques des différentes espèces.

IV.3. Evaluation de la biosynthèse des nanoparticules d'argent et leur caractérisation

IV.3.1. Evaluation visuelle des nanoparticules d'argent

IV.3.1.1. Formulation 1 (Extrait de sauge + $AgNO_3$)

La couleur de la solution a changé distinctement du jaune clair au brun foncé après 30 min d'ajout d'extrait de feuilles de sauge suggérant la formation d'AgNPs (Zare, 2020) (Figure IV.5).



Figure IV.5 : Image représente le virage de couleur de Formulation 1.

IV.3.1.2. Formulation 2 (Extrait de l'ortie + $AgNO_3$)

Le changement de couleur observé, passant d'une solution vert clair à différentes nuances de brun, puis à un brun très foncé, constitue une forte indication visuelle de la formation des nanoparticules d'argent (AgNPs) (Figure IV.6).



Figure IV.6 : Image représente le virage de couleur de Formulation 2.

IV.3.1.3. Formulation 3 (Extrait de sorgho mélange + $AgNO_3$)

La solution, constituée du mélange de l'extrait végétal et du nitrate d'argent, était initialement jaune. Après quelques minutes, elle a viré au jaune foncé, indiquant le début de la réduction des ions argent (Ag^+) et la formation des nanoparticules d'argent (AgNPs). Après 30 minutes, la solution a pris une teinte brun clair, puis s'est progressivement assombrie **(**Figure IV.7**)**.

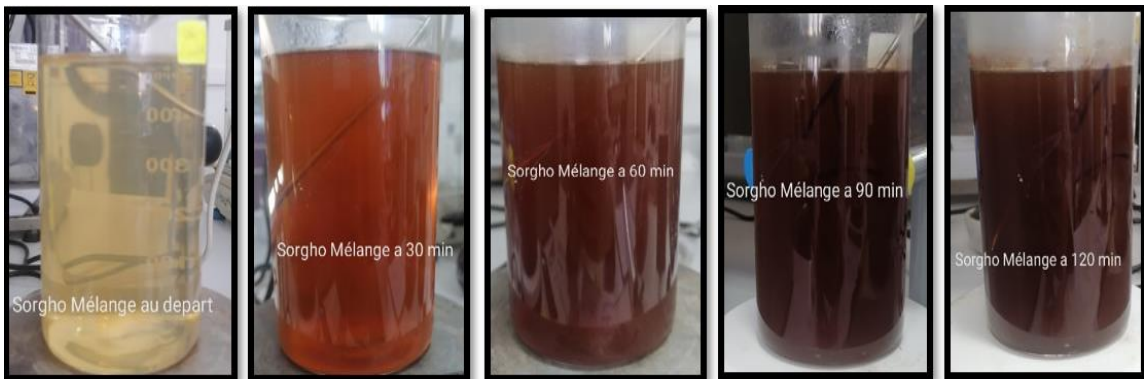


Figure IV.7 : Image représente le virage de couleur de Formulation 3.

Les nanoparticules d'argent ont été obtenues à partir des extraits aqueux de sauge, d'ortie et de de sorgho mélange dont la formation a été confirmée par l'apparition d'une coloration brun foncé, caractéristique de l'excitation des résonances de plasmon de surface propres aux nanoparticules d'argent (Song et Kim, 2009). La présence abondante de groupements fonctionnels tels que les carboxyles, carbonyles, hydroxyles et phénoliques dans l'extrait végétal joue un double rôle : elle permet d'une part la réduction des ions argent (Ag^{+}) en argent métallique (Ag^{0}), et d'autre part, elle assure la stabilisation des nanoparticules formées en les empêchant de s'agréger, grâce à l'interaction de ces groupements avec leur surface. La variation de couleur observée lors de la synthèse des nanoparticules d'argent est due aux différentes espèces végétales utilisées dans le processus.

IV.3.2. Evaluation des propriétés optiques des nanoparticules d'argent

La formation des nanoparticules d'argent a été initialement indiquée par le changement de couleur dû à la résonance plasmonique de surface (SPR), puis confirmée par des analyses spectrophotométriques.

La spectroscopie UV-Visible est l'une des techniques les plus largement utilisées pour la caractérisation des nanoparticules. La présence d'un pic d'absorbance autour de 400 – 500 nm indique clairement la formation de nanoparticules d'argent dans la solution, due à la résonance plasmonique de surface (SPR) des électrons présents sur la surface des nanoparticules. La présence du plasmon de surface permet d'utiliser la spectrophotométrie comme une méthode efficace pour suivre l'évolution de la synthèse dans le milieu à base d'extrait végétal.

Le suivi de la synthèse des NPs a été effectué par spectroscopie UV-Visible dans la gamme de longueur d'onde de 200 à 800 nm.

Les spectres enregistrés sont montrés dans les figures suivantes :

La sauge :

La figure IV.8 illustre les résultats de la spectrophotométrie UV-Visible réalisée sur l'extrait aqueux de sauge et SA-AgNPs.

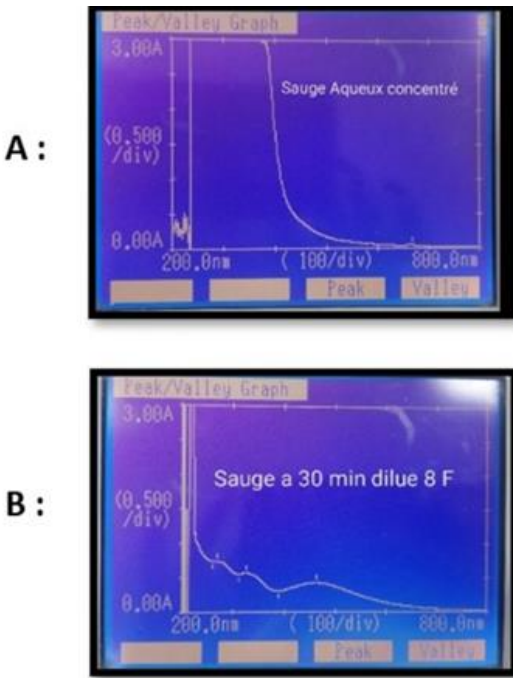


Figure IV.8 : Spectres UV-visible des nanoparticules d'argent synthétisée à base de feuilles de sauge (SA-AgNPs) (A : Le spectre d'extrait aqueux, B : Le spectre des AgNPs à 30 min).

Le spectre A correspond à l'extrait aqueux concentré de feuilles de sauge, utilisé comme témoin (ou "blanc"). Il est important de noter l'absence de pic significatif dans la région des 400–500 nm, qui correspond à la bande d'absorption typique des nanoparticules d'argent (AgNPs).

Le spectre B illustre l'évolution de la formation des AgNPs au cours du temps. À 30 minutes, on observe l'apparition d'un pic d'absorbance à 463 nm, caractéristique de la résonance plasmon de surface (SPR) des nanoparticules d'argent, confirmant leur formation dans la solution. La comparaison avec les résultats rapportés par Moussa et al. (2024) permet de confirmer que la spectroscopie UV-Visible valide la formation effective de nanoparticules d'argent dans l'échantillon.

L'ortie :

La figure IV.9 présente les spectres UV-Visible obtenus pour l'extrait aqueux d'ortie ainsi que les nanoparticules d'ortie (OR-AgNPs).

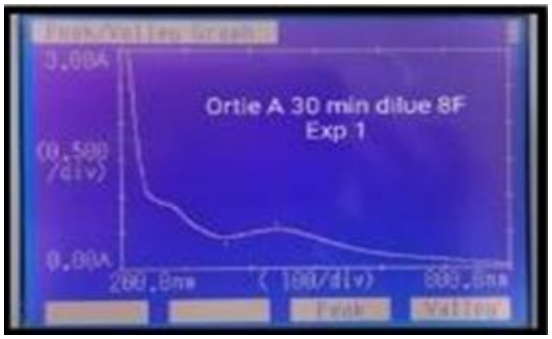


Figure IV.9 : Spectres UV-visible des nanoparticules d'argent synthétisée à base de feuilles d'ortie (OR-AgNPs) (Spectre des AgNPs à 30 min).

L'apparition d'un pic de résonance plasmonique de surface (SPR) à 440 nm, typique des nanoparticules d'argent, a été mise en évidence dans le spectre UV-Visible. Ce résultat atteste de la formation efficace des nanoparticules par voie biologique.

Sorgho mélange :

La figure IV.10 montre les résultats de l'analyse UV-Visible réalisée sur l'extrait aqueux de sorgho et les nanoparticules correspondantes (SO-AgNPs).

A :



B :



Figure IV.10 : Spectres UV-visible des nanoparticules d'argent synthétisées à base de sorgho mélange (SO-AgNPs)

(A : le spectre de sorgho aqueux , B:Le spectre des AgNPs à 60 min**)**

Un pic d'absorbance a été observé à 436 nm dans le spectre de la solution contenant les nanoparticules biosynthétisées à partir de l'extrait aqueux de sorgho mélange, confirmant la réussite de la synthèse des nanoparticules.

IV.3.3. Analyse de la taille des particules et du potentiel zêta

Pour caractériser les nanoparticules d'argent (AgNPs) synthétisées à partir de différents extraits végétaux, une analyse par diffusion dynamique de la lumière (DLS) a été effectuée à l'aide de l'appareil Horiba Scientific SZ-100, basé sur le principe du mouvement brownien. Cette méthode permet d'évaluer l'intensité de la lumière diffusée en fonction de la taille des particules en suspension dans un milieu aqueux. Par ailleurs, la mesure du potentiel zêta permet d'évaluer la charge électrique à la surface des nanoparticules, fournissant ainsi des informations sur leur stabilité colloïdale.

Les résultats révèlent que les formulations issues de différents extraits de plantes ont permis d'obtenir des nanoparticules de tailles moyennes distinctes (Tableau IV.2); 51,3 nm pour SA-AgNPs A, avec un indice de polydispersité (PDI) de 0,529 et un potentiel zêta de -23,8 mV, 104,6 nm pour OR-AgNPs, avec un PDI de 0,616 et un potentiel zêta de -32,5 mV et 202,3 nm pour SO-AgNPs, avec un PDI de 0,583 et un potentiel zêta de -30,3 mV. Ces indices de polydispersité relativement élevés traduisent une distribution de taille assez large pour chaque formulation. Les valeurs négatives des potentiels zêta indiquent que toutes les suspensions présentent une charge de surface négative, conférant une bonne stabilité colloïdale.

Ces résultats mettent en évidence l'influence de la nature de l'extrait végétal sur les caractéristiques physico-chimiques des nanoparticules obtenues, en particulier leur taille, leur homogénéité et leur stabilité en suspension. Cela ouvre des perspectives d'adaptation des formulations selon les besoins spécifiques d'application.

Tableau IV.2 : Analyse de la taille des particules et du potentiel zêta des AgNPs à l'aide de l'appareil Horibal SZ-100.

	Diamètre (nm)	**Potentiel-ζ (mV)**	**PDI**
SA-AgNPs	51,3	-23,8	0,529
OR-AgNPs	104,6	-32,5	0,616
SO-AgNPs	202,3	-30,3	0,583

IV.3.4. Evaluation de l'activité antioxydant des nanoparticules d'argent

IV.3.4.1. Evaluation de l'activité antioxydant de SA-AgNPs

L'évaluation de la capacité antioxydante des nanoparticules d'argent (AgNPs) synthétisées à partir de feuille de sauge a été réalisée à l'aide de la méthode de piégeage du radical libre DPPH•. Les résultats présentés dans la figure IV. 11 montrent une augmentation progressive de l'activité antioxydante en fonction de la concentration des AgNPs, traduisant leur efficacité croissante dans le piégeage des radicaux libres. Ces résultats mettent en évidence le potentiel antioxydant significatif des Ag-NPs, confirmant leur rôle en tant qu'agents actifs dans la neutralisation des radicaux libres.

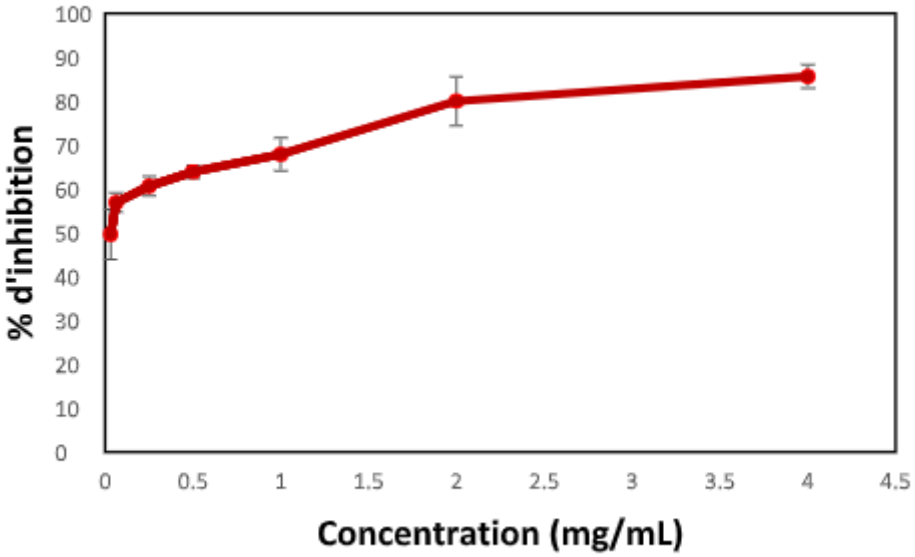


Figure IV. 11 : Pourcentages d'inhibition du DPPH• en fonction des concentrations des échantillons des nanoparticules d'argent synthétisées en utilisant l'extrait de feuilles de sauge.

La valeur d'IC_{50} obtenue est renforcé cette observation, avec un IC_{50} de 31,25 µg/mL pour les AgNPs. Il est important de noter qu'à une concentration de 4 mg/mL, a présenté un pourcentage d'inhibition élevé, atteignant 85%. L'activité antioxydante des Ag-NPs peut être expliquée par leur capacité à neutraliser les radicaux libres DPPH• principalement par transfert d'électrons, ainsi que par les propriétés antioxydantes des composés bioactifs présents à leur surface.

IV.3.4.2. Evaluation de l'activité antioxydant d'OR-AgNPs

Les nanoparticules synthétisées à partir de l'ortie (OR-AgNPs) présentent une activité antioxydante qui augmente avec la concentration. Le pourcentage d'inhibition progresse ainsi de 0,5 mg/mL à 4 mg/mL, atteignant une valeur maximale de 23,625 % à la concentration la plus élevée (4 mg/mL).

IV.3.4.3. Evaluation de l'activité antioxydant de SO-AgNPs

Les nanoparticules de sorgho (SO-AgNPs) présentent également une augmentation du pourcentage d'inhibition avec l'augmentation de la concentration, allant de 0,5 mg/mL à 4 mg/mL. La valeur maximale d'inhibition enregistrée est de 12,75 % à la concentration de 4 mg/mL.

IV.4. Evaluation de l'activité antibactérienne des extraits et des nanoparticules

Les extraits acétonique et éthanoliques ont montré une activité antibactérienne variable selon l'espèce végétale et la souche bactérienne. Globalement, l'extrait éthanolique de sauge s'est révélé le plus actif, notamment contre *Staphylococcus epidermidis* (18 mm) et *Staphylococcus aureus* (12 mm), suivi de l'extrait acétonique (15 mm et 11 mm respectivement) (FigureIV.12,IV13).

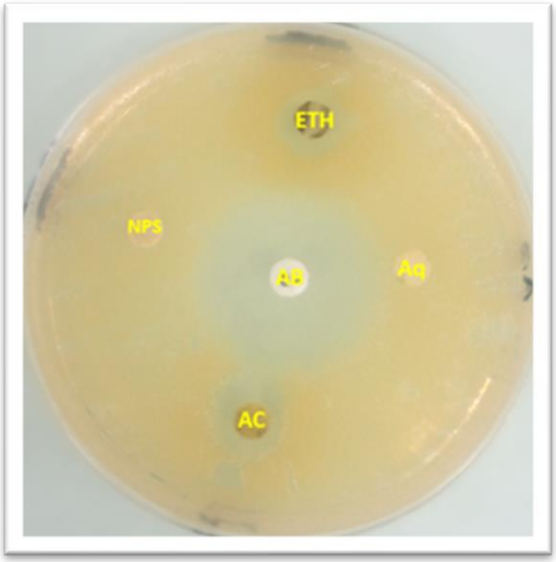


Figure IV.12 : Effet de l'extrait éthanolique, acétonique, aqueux et la formulation (NPS) de la sauge sur *Staphylococcus aureus*

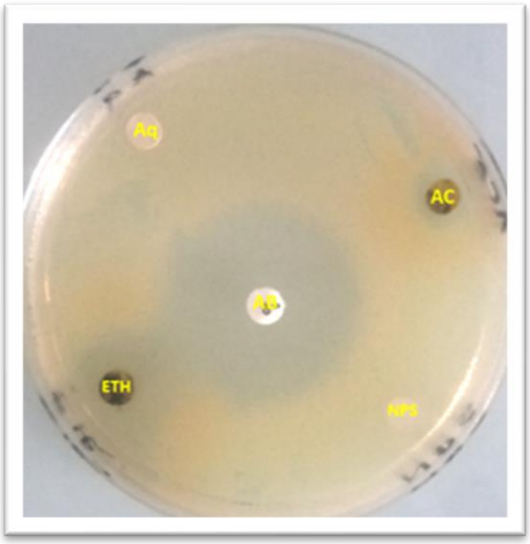


Figure IV.13 : Effet de l'extrait éthanolique, acétonique, aqueux et la formulation (NPS) de la sauge sur *Staphylococcus epidermidis*

Les autres espèces ont montré une activité modérée à faible, ne dépassant pas 8 mm. Parmi elles, l'extrait éthanolique d'Artemisia de la région de Tamanrasset a présenté une inhibition intéressante contre *S. epidermidis* (8 mm) et *S. aureus* (7.5 mm). Les extraits acétonique des autres espèces ont généralement produit des zones d'inhibition de 6 mm, correspondant au témoin négatif, suggérant une faible ou nulle activité. Ainsi, les extraits éthanoliques, en particulier ceux de sauge, se sont montrés globalement plus efficaces que les extraits acétonique (Tableau IV.3, figureIV.14 ,15).

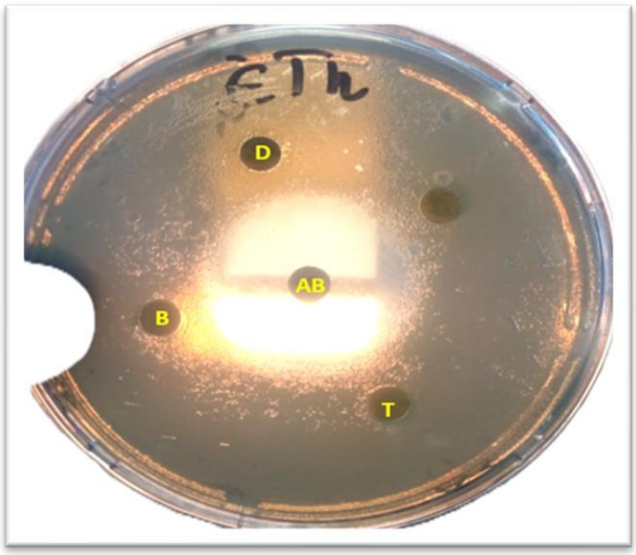


Figure IV.14 : Effet régional de l'extrait éthanolique de l'Artemisia sur *Staphylococcus aureus* (D : Djelfa ; B : Bordj Bou Arreridj ; T : Tamanrasset).

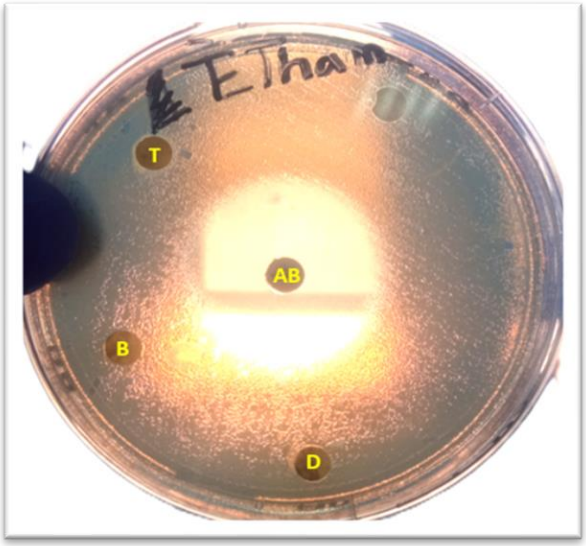


Figure IV.15: Effet régional de l'extrait éthanolique de l'Artemisia sur *Staphylococcus epidermidis* (D : Djelfa ; B : Bordj Bou Arreridj ; T : Tamanrasset).

Les nanoparticules (NPs) à base d'extraits aqueux ont présenté une activité antibactérienne faible à modérée selon les espèces. Les NPs issues de sauge et de sorgho mélange ont généré des zones d'inhibition légèrement supérieures (8 mm et 7.5 mm respectivement contre *S. aureus*) par rapport aux autres espèces dont les valeurs restaient généralement à 6–7 mm. Pour *S. epidermidis* et *Salmonella Typhimurium*, les NPs ont montré des inhibitions limitées à 6–7 mm, sans différences marquées entre les espèces. Bien que l'encapsulation aqueuse sous forme de nanoparticules n'ait pas permis d'atteindre les performances des extraits organiques, elle semble néanmoins légèrement améliorer l'activité des extraits aqueux simples, notamment chez la sauge et le sorgho (Tableau IV.3, Figure IV.16,17).

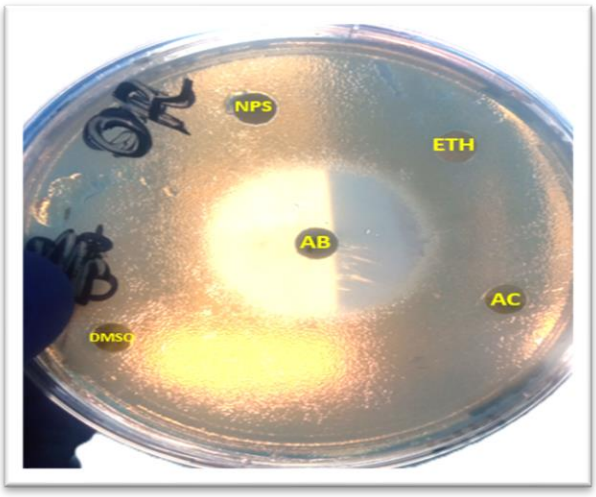


Figure IV.16 : Effet de l'extrait éthanolique, acétonique et la formulation (NPS) de l'Ortie sur *Staphylococcus epidermidis*.

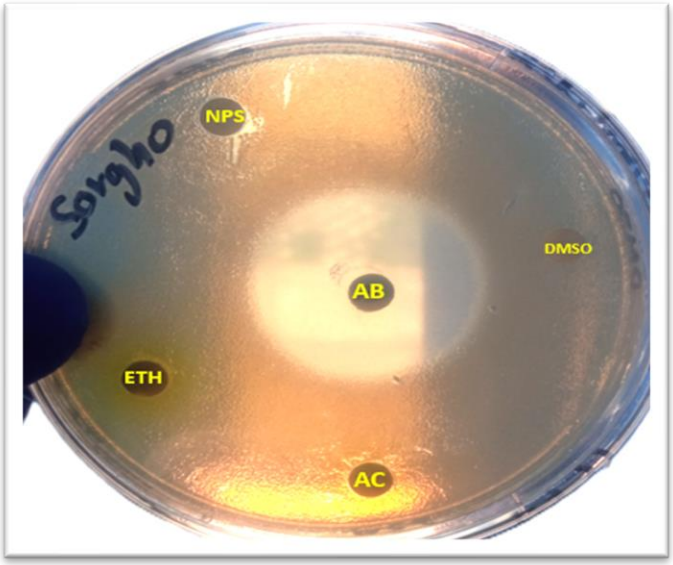


Figure IV.17: Effet de l'extrait éthanolique, acétonique, et la formulation (NPS) de Sorgho *Staphylococcus epidermidis*

Tableau IV.3: Diamètres des zones d'inhibitions des extraits éthanoliques et acétonique ainsi que les nanoparticules.

	Diamètres des zones d'inhibitions (mm)											
Souche / Espèce	*Staphylococcus aureus* ATCC 6538				*Staphylococcus epidermidis* ATCC 12228				*Salmonella Typhimurium* ATCC 14028			
	Acé	Eth	AQ	NPs	Acé	Eth	AQ	NPs	Acé	Eth	AQ	NPs
Sauge	15	12	7	8	11	18	6	6	6	6	6	6
Ortie	6	6	6	6	6	6	6	7	6	6	6	6
Sorgho mélange	6	6	6	7.5	6	6	/	8	6	6	/	7
Art. Tam.	6	7.5	/	/	6	8	/	/	6	6	/	/
Art. Bba.	6	6	/	/	6	7	/	/	6	6	/	/
Art. Dje.	6	6	/	/	6	7	/	/	6	6	/	/
Antibiotique (Ofloxacine)	31				33				33			
Contrôle négatif (DMSO)	6				6				6			

Références bibliographiques

Hemlata, Meena, P. R., Singh, A. P., & Tejavath, K. K. (2020). Biosynthesis of Silver Nanoparticles Using Cucumis prophetarum Aqueous Leaf Extract and Their Antibacterial and Antiproliferative Activity against Cancer Cell Lines. *ACS Omega*, *5*(10), 5520–5528.

Moussa, Hamza, Sarah Hamid, Amal Mameri, Sabrina Lekmine, Hichem Tahraoui, Mohammed Kebir, Nabil Touzout, Farid Dahmoune, Mohammad Shamsul Ola, Jie Zhang, and Abdeltif Amrane. 2024. "From Green Chemistry to Healthy Environments: Silver Nanoparticles as a Dual Antioxidant and Antibacterial Agents for Advancing Biomedicine and Sustainable Wastewater Treatment." *Bioengineering* 11(12).

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.

Zare H. Biosynthesis of Silver Nanoparticles Using Common Sage Extract and Evaluation of Anticancer Activity ; 2020



Conclusion Générale

CONCLUSION GENERALE

La présente étude a permis de mettre en évidence le potentiel biologique considérable de quatre plantes médicinales locales : *Sorghum bicolor*, *Salvia officinalis*, *Urtica dioica* et *Artemisia herba-alba*. À travers l'analyse phytochimique de leurs extraits acétoniques et éthanoliques, nous avons confirmé leur richesse en métabolites secondaires à fort pouvoir antioxydant et antibactérien. Les résultats obtenus démontrent des taux élevés de polyphénols et de flavonoïdes, accompagnés d'une capacité antioxydante notable et d'une activité antimicrobienne significative, en particulier contre *Staphylococcus epidermidis*.

La seconde partie du travail, consacrée à la synthèse verte de nanoparticules d'argent (AgNPs) à partir des extraits aqueux, a confirmé l'intérêt de l'approche nanotechnologique dans l'optimisation des effets biologiques. Les AgNPs obtenues ont montré une amélioration du pouvoir antioxydant et une activité antibactérienne modérée, démontrant que la combinaison entre phytothérapie et nanotechnologie verte est une voie prometteuse et durable pour le développement de nouvelles alternatives thérapeutiques.

Ces résultats confirment que la valorisation des ressources végétales locales à travers des procédés écologiques et innovants peut représenter une stratégie efficace face aux limites des traitements conventionnels, notamment dans un contexte de résistance croissante aux antibiotiques et de demande accrue pour des produits naturels.

Afin de prolonger les apports de cette étude, plusieurs perspectives s'imposent :

1. Approfondir les analyses biologiques à travers des tests in vivo sur modèles animaux afin d'évaluer la toxicité, la biodisponibilité et l'efficacité thérapeutique réelle des extraits et des nanoparticules.
2. Étendre l'étude à d'autres souches pathogènes, notamment les bactéries multirésistantes, et à d'autres types d'activités (anti-inflammatoire, antifongique, antitumorale).
3. Optimiser les conditions de synthèse des AgNPs (pH, température, concentration, temps de réaction) pour affiner leur stabilité, leur taille et leur efficacité biologique.
4. Intégrer les AgNPs dans des formulations galéniques (gels, crèmes, films, solutions buvables) afin d'explorer des applications pharmaceutiques concrètes.

5. Explorer la viabilité industrielle et économique de cette approche pour une production locale et durable de produits à base de nanoparticules végétales.



Annexe

TableauIV.1 : Rendement d'extraction

Espèce Extrait	Sauge	Sorgho	Ortie	A. Dje	A. Tam	A. Bba
Ethanolique	9.775	2.825	8.125	10.43	12.2	7.45
Acétonique	8.55	3.25	2.8	5.125	12.55	3.3

TableauIV.2 : Les valeurs de courbe d'étalonnage d'acide gallique.

Concentration (mg/ml)	0.1	0.09	0.08	0.07	0.06	0.04	0.02	0.01
Densité Optique	0.378	0.36	0.317	0.275	0.231	0.15	0.02	0.015

TableauIV.3 : Les valeurs de courbe d'étalonnage de quercétine.

Concentration (mg/ml)	0	0.012	0.036	0.06	0.084	0.108	0.12
Densité Optique	0.023	0.265	0.51	0.569	0.8	0.971	1.224

Tableau IV.4 : Inhibition de l'activité antioxydante (%) de la sauge extraite à l'acétone et à l'éthanol, et comparaison des moyennes par le test LSD de Fisher.

TableauIV.5 : Inhibition de l'activité antioxydante (%) de sorgho mélange extraite à

Concentration	Inhibition % (La sauge)	
	Extrait acétonique	Extrait éthanolique
C1=4mg/ml	$79^{a}\pm0,25$	$80,81^{a}\pm1,19$
C2=2mg/ml	$69,44^{b}\pm0,31$	$66,19^{bc}\pm1,06$
C3=1mg/ml	$67,75^{bc}\pm2,5$	$65,06^{c}\pm0,31$
C4=0.5mg/ml	$50,69^{d}\pm3,31$	$34,31^{e}\pm3,94$
C5=0.25mg/ml	$16,56^{f}\pm0,69$	$7,31^{g}\pm2,94$

l'acétone et à l'éthanol, et comparaison des moyennes par le test LSD de Fisher.

Concentration	Inhibition % (Sorgho mélange)	
	Extrait acétonique	Extrait éthanolique
C1	79^{a}±0,25	$80,81^{a}$±1,19
C2	$69,44^{b}$±0,31	$66,19^{bc}$±1,06
C3	$67,75^{bc}$±2,5	$65,06^{c}$±0,31
C4	$50,69^{d}$±3,31	$34,31^{e}$±3,94
C5	$16,56^{f}$±0,69	$7,31^{g}$±2,94

TableauIV.6 : Inhibition de l'activité antioxydante (%) de l'Artemisia T extraite à l'acétone et à l'éthanol, et comparaison des moyennes par le test LSD de Fisher.

Concentration	Inhibition % (Artemisia Tam)	
	Extrait acétonique	Extrait éthanolique
C1	$29,81^{de}$±1,56	$66,00^{a}$±4,50
C2	$26,06^{e}$±3,06	$52,81^{b}$±0,19
C3	$4,75^{gh}$±2,75	$42,38^{c}$±0,13
C4	$6,69^{g}$±0,19	$32,88^{d}$±1,38
C5	$2,13^{h}$±2,13	$16,38^{f}$±2,37

Tableau IV.7 : Inhibition de l'activité antioxydante (%) d'Artemisia Bba extraite à l'acétone et à l'éthanol, et comparaison des moyennes par le test LSD de Fisher.

Concentration	Inhibition % (Artemisia Bba)	
	Extrait acétonique	Extrait éthanolique
C1	$63,94^{b}\pm0,06$	$75,44^{a}\pm4,69$
C2	$55,88^{c}\pm2,13$	$67,38^{b}\pm1,38$
C3	$48,00^{d}\pm3,63$	$47,50^{d}\pm1,25$
C4	$44,94^{de}\pm1,06$	$42,44^{e}\pm1,19$
C5	$30,31^{g}\pm0,31$	$37,25^{f}\pm1,00$

Tableau IV.8 : Inhibition de l'activité antioxydante (%) d'Artemisia Djelfa extraite à l'acétone et à l'éthanol, et comparaison des moyennes par le test LSD de Fisher.

Concentration	Inhibition % (Artemisia Djelfa)	
	Extrait acétonique	Extrait éthanolique
C1	$45,81^{d}\pm7,06$	$77,50^{a}\pm0,50$
C2	$25,06^{f}\pm1,94$	$70,31^{b}\pm4,06$
C3	$19,19^{g}\pm3,06$	$66,00^{b}\pm2,25$
C4	$21,31^{fg}\pm2,56$	$53,88^{c}\pm2,63$
C5	$1,94^{h}\pm1,81$	$39,88^{e}\pm3,38$

Tableau IV 9 : Teneur en polyphénols (mg GAE/g MS) de différentes espèces végétales extraites à l'acétone et à l'éthanol, et comparaison des moyennes par le test LSD de Fisher.

Espèce	Polyphénols	
	Acétonique	Ethanolique
Sauge	$91.16^{f}\pm6.31$	$127.1^{ef}\pm18.46$
Ortie	$28.53^{ef}\pm2.41$	$126.59^{de}\pm8.72$
Sorgho	$34.61^{cd}\pm15.83$	$129.58^{c}\pm12.16$
Art. Tam	$55.14^{bc}\pm11.81$	$121.32^{ab}\pm11.01$
Art. Bba	$85.08^{ab}\pm26.84$	$103.31^{ab}\pm10.9$

Art. Dje	60.42^{ab}±8.14	136.23^{a}±32.57

Tableau IV.10: Teneur en flavonoïdes (mg GAE/g MS) de différentes espèces végétales extraites à l'acétone et à l'éthanol, et comparaison des moyennes par le test LSD de Fisher.

Espèce	Flavonoïdes	
	Acétonique	Ethanolique
Sauge	$29,8^{e}$±1,26	$1,04^{de}$±0,40
Ortie	$41,91^{cde}$±0,63	$19,01^{cde}$±1,03
Sorgho	$104,58^{cde}$±31,51	$24,86^{bcd}$±8,03
Art. Tam	$23,77^{bc}$±6,03	$0,00^{bc}$±0,00
Art. Bba	$90,35^{b}$±32,08	$9,02^{b}$±2,41
Art. Dje	$42,08^{a}$±8,95	$15,39^{a}$±0,75