

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE

SCIENTIFIQUE

جامعة 20 أوت 1955 - سكيكدة

UNIVERSITE 20 AOÛT 1955- SKIKDA



Faculté des Sciences

Département des Sciences de la Nature et de Vie

Mémoire Présenté en Vue de l'Obtention du Diplôme de Master

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Biochimie Appliquée

Intitulé

Investigation des propriétés antioxydantes des nanoparticules d'argent à base d'extrait d'*Aster squamatus* (Spreng.) Hieron

Présenté Par : - Chettibi Malak
- Djebiha Djouheina
- Messikh Aya

Membres de Jury:

Basli Abdelkader	Pr	Président	Univ. 20 août 1955- Skikda
Boulechfar Safia	MCB	Promotrice	Univ. 20 août 1955- Skikda
Melahi Lamia	MCB	Examinatrice	Univ. 20 août 1955- Skikda

Année universitaire 2024/2025

Remerciement

Nous tenons à remercier ALLAH tout puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il nous a donné durant toutes ces longues années d'études.

Nous remercions chaleureusement Docteur **BOULECHFAR SAFIA**, de nous avoir proposé ce thème et de nous avoir encadré durant cette année. Nous espérons qu'elle trouve ici l'expression de notre profonde gratitude pour son écoute, sa patience, son professionnalisme. Nous avons eu l'honneur et la chance de bénéficier de ses connaissances et compétences, de ses précieux conseils.

Nous tenons à remercier les membres du jury présidé par le professeur **Basli Abdelkader**, merci d'avoir consacré de votre temps pour pouvoir juger ce travail

Merci Docteur **Melahi Lamia** pour avoir accepté de faire partie des membres du jury et d'avoir examinée ce modeste travail.

Un immense merci à nos professeurs sans exception qui n'ont ménagé aucun effort pour toutes les connaissances que nous avons acquis durant notre formation.

Nous sommes heureuses et nous remercions tous ceux et celles qui nous ont accompagnés et soutenus tout au long de cette aventure.

Nous remercions du fond du cœur les collègues de notre promotion.

Merci pour les bons moments passés ensemble !

Merci infiniment à toutes et à tous.

Dédicaces


Grâce Allah qui m'a guidé vers cela

Je dédie ce modeste travail à **la mémoire de mon cher père**, qui restera à jamais dans
mon cœur.

Je dédie particulièrement ce travail à **la personne la plus précieuse de ma vie, ma mère**,
pour son *soutien à travers ses prières qui m'ont accompagné, son amour qui m'a comblé,*
et son aide dans les moments les plus difficiles. Le symbole de la tendresse et du sacrifice,
mon espoir dans la vie, mon refuge sûr et mon abri constant. Mon amour pour elle est
infini, qu'Allah la préserve pour nous.

À mes chères sœurs

Hanan et Khouloud compagnes de mon chemin et lumière de ma vie, merci pour les
moments passés ensemble et le bonheur partagé. Je vous aime jusqu'à la fin des temps.

À mes frères Raouf et Hamza

Mes appuis dans les moments difficiles, la source de ma force. Avec vous, mon repos est
complet.

Tout mon amour à ma famille

Ma vie n'a aucun sens sans vous.

À mes amies

Arij, Rim et Imane merci pour votre amitié sincère.

À tous ceux qui me sont chers.

AYA

Dédicaces



{وَمَا تَوْفِيقِي إِلَّا بِاللَّهِ عَلَيْهِ تَوَكَّلْتُ وَإِلَيْهِ أُنِيبُ} [هود من الآية: 88]

Avec un énorme plaisir, un cœur ouvert et une immense joie que je dédie ce travail :

A mes chers parents

Pour leurs sacrifices, leurs encouragements, leurs soutiens, leurs précieux conseils et leurs prières durant toute ma vie. Que dieu vous procure bonne santé et longue vie.

A ma chère Famille

Qui m'a toujours soutenue, je te souhaite tout le bonheur du monde.

Enfin, je remercie tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail et que je n'ai pas pu mentionner ici.

Malak

Dédicaces



Avant toute chose, je rends grâce à Dieu, source de toute force et sagesse, dont la guidance a illuminé chaque étape de ce parcours.

Je dédie ce modeste travail :

A moi-même

Pour tous les sacrifices consentis dans le silence, pour ma force face aux épreuves, pour *ne pas avoir abandonné, même lorsque tout semblait s'écrouler.*

Je me le dédie avec fierté, humilité et reconnaissance envers la personne que je suis devenue.

A mes très chers parents

Pour leur soutien inconditionnel dans tout ce que j'ai pu *entreprendre dans ma vie, leurs encouragements, leurs sacrifices, eux qui m'ont guidé durant toutes mes années d'étude* vers le chemin de la réussite

Au président de l'organisation étudiante Algérienne libre (OEAL) de bureau de Skikda
Monsieur Abdelkader Saoula

Merci pour ta présence, ton écoute, ton soutien inconditionnel et ta sagesse ont toujours été une lumière sur mon chemin.

DJOUHEINA

Table des matières

Remerciements	
Dédicace	
Sommaire	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Résumé	
Abstract	
المخلص	
Introduction	1

Partie 1 : Partie bibliographique

Chapitre I : la plante *Aster squamatus* (Spreng.) Hieron

1. Généralités.....	3
2. le genre « <i>Aster squamatus</i> »	3
3. Classification de <i>l'Aster squamatus</i>	3
4. Description botanique de <i>l'Aster squamatus</i>	4
4.1 Description de la plantule.....	4
4.2 Description de la plante adulte.....	4
5. Répartition géographique.....	4
6. Composition chimique de <i>l'Aster squamatus</i>	5
7. Les effets biologiques de <i>l'Aster squamatus</i>	5
8. L'utilisation de <i>l'Aster squamatus</i> en médecine traditionnelle.....	6

Chapitre II : les nanoparticules d'argent

1. Présentation des nanoparticules.....	8
2. Les sources des nanoparticules.....	8
3. Classification des nanoparticules.....	9
4. Exemple des nanoparticules « les nanoparticules d'argent »	11
4.1 Présentation des nanoparticules d'argent.....	11
4.2 propriétés des nanoparticules d'argent.....	11
4.3 Méthodes de synthèse des nanoparticules d'argent.....	11
4.3.1 Approche descendante (« Top-down »).....	11
4.3.2 Approche ascendante (« Bottom-up »)	12
4.3.3 Synthèse verte ou biologique.....	12
4.4 Mécanisme de formation des nanoparticules d'argent.....	13
4.5 Activités des nanoparticules d'argent.....	14
4.6 Applications des nanoparticules d'argent.....	15

Partie 2 : Partie expérimentale

Chapitre I : matériels et méthodes

1.Récolte de la plante.....	17
2.L'extraction.....	17
3.La synthèse des nanoparticules d'argent.....	18
4.Caractérisation par Spectroscopie UV-visible.....	18
5.Evaluation de l'activité antioxydante in vitro	18
5.1 Piégeage des radicaux.....	19
5.1.1 Test de piégeage des radicaux ABTS ⁺	19
5.1.2 Test de piégeage du radical DPPH.....	21
5.2 Réduction des ions ferriques	22
5.2.1 Test de Phénanthroline.....	22
6. Analyse statistiques.....	23

Chapitre II : Résultats et Discussion

1.Biosynthèse des nanoparticules d'argent.....	24
2.Caractérisation des nanoparticules d'argent.....	24
2.1 Test de piégeage du radical ABTS.....	25
2.2 Test du piégeage du radical DPPH.....	26
2.3 Test du phénanthroline.....	28
Conclusion.....	30
Références bibliographiques.....	32

Liste des figures

Numéro de la figure	Titre	Page
1	Les différentes parties de la plante <i>Aster squamatus</i> .	4
2	Gamme de tailles des nanoparticules comparée à celles des principales structures chimiques et biologiques.	8
3	Les différentes méthodes de synthèse des nanomatériaux	13
4	Mécanisme de la réaction d'AgNPs	14
5	Répartition géographique de la récolte de la plante	17
6	Méthode de l'extraction.	17
7	Formation et piégeage du radical ABTS+ par un antioxydant donneur.	20
8	Transformation du radical DPPH* en DPPH.	21
9	Formation du complexe Fe ²⁺ -phénanthroline.	22
10	Caractérisation des pics AgNO ₃ , extrait, AgNPs-EEFA	25
11	Inhibition du radical ABTS+ par EEFA, les AgNPs et la vitamine C.	26
12	Inhibition du radical DPPH par EEFA, AgNPs-EEFA et la vitamine C.	27
13	Pouvoir réducteur de l'EEFA, AgNPs-EEFA et la vitamine C par la méthode de phénanthroline	28

Liste des tableaux

Numéro de tableau	Titre	Page
1	Les activités biologiques de la plante <i>Aster squamatus</i> .	6
2	Classification des nanoparticules	9
3	Propriétés des nanoparticules d'argent	11
4	Les activités biologiques des nanoparticules d'argent	14
5	Applications des nanoparticules d'argent dans des différents secteurs	15

Liste des abréviations

A0 : Absorbance du Blanc.

A1 : Absorbance extrait.

ABTS : 2, 2'-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline6-sulfonic acid).

AC : Absorbance contrôle.

AE : Absorbance extrait

Ag : Argent.

AgNO₃ : Nitrate d'argent.

AgNPs : Nanoparticules d'argent

DPPH : 1,1 -diphenyl-2-picrylhydrazyl.

EEFA : Extrait Ethanolique Fleurs Aster squamatus

Fe²⁺ : ions ferriques

Fe³⁺ : ions ferriques

FeCl₃: chlorure ferrique

FRAP: Ferric ion reducing antioxidant parameter.

g : Gramme.

H₂O : Eau.

IC50 : Concentration inhibitrice à 50%.

l : Litre.

K₂S₂O₈ : Persulfate de potassium

m : Mètre.

mg : Milligramme.

mL : Millilitre.

nm : Nanomètre.

NPs : Nanoparticules

OH = Radical Hydroxyle

SPR : résonance plasmonique de surface

UV : Ultraviolet.

UV-Vis : ultraviolet visible

UI : microlitre

Ug : microgramme

% : Pourcentage.

Résumé

Les nanomatériaux comptent parmi les plus avancés dans les produits de consommation, et les nanoparticules d'argent sont largement utilisées en nanotechnologie grâce à leurs propriétés biologiques. Cette étude vise à exploiter les nanoparticules d'argent à base d'extrait de feuilles d'*Aster squamatus* en évaluant leurs propriétés antioxydantes. Cette étude a commencé par l'extraction et la synthèse de nanoparticules d'argent. Leur activité antioxydante a été évaluée par trois méthodes (ABTS, DPPH et phénanthroline). Les résultats ont montré que les nanoparticules d'argent possèdent la capacité à piéger les radicaux libres et à réduire les ions ferriques, ce qui indique le potentiel d'utilisation de ces particules dans de nombreux domaines, notamment les industries cosmétique, alimentaire, biomédicale et pharmaceutique.

Mots clés : *Aster squamatus*, les nanoparticules d'argent, antioxydant

Abstract

Nanomaterials are among the most advanced materials in consumer products, with silver nanoparticles widely used in nanotechnology due to their biological properties. This study aims to utilize silver nanoparticles derived from *Aster squamatus* leaf extract by evaluating their antioxidant properties. The study began with the extraction and synthesis of silver nanoparticles. Their antioxidant activity was assessed using three methods (ABTS, DPPH, and phenanthroline). The results showed that silver nanoparticles have the ability to scavenge free radicals and reduce ferric ions, indicating their potential use in various fields, including the cosmetic, food, biomedical, and pharmaceutical industries.

Keywords : *Aster squamatus*, silver nanoparticles, antioxidant.

المخلص

تُعد المواد النانوية من أكثر المواد تقدمًا في المنتجات الاستهلاكية، وتُستخدم جزيئات الفضة النانوية على نطاق واسع في النانوتكنولوجيا بفضل خصائصها البيولوجية. تهدف هذه الدراسة إلى استغلال جزيئات الفضة النانوية المُستخلصة من أوراق نبات *Aster squamatus* من خلال تقييم خصائصها المضادة للأكسدة. بدأت الدراسة باستخلاص وتخليق جزيئات الفضة النانوية. تم تقييم نشاطها المضاد للأكسدة باستخدام ثلاث طرق *ABTS* ، *DPPH* ، و *phénanthroline*. أظهرت النتائج أن جزيئات الفضة النانوية تمتلك القدرة على محاصرة الجذور الحرة وتقليل أيونات الحديد، مما يشير إلى إمكانية استخدامها في العديد من المجالات مثل الصناعات التجميلية، الغذائية، الطبية الحيوية، والصيدلانية.

الكلمات المفتاحية: *Aster squamatus*، جزيئات الفضة النانوية، مضاد للأكسدة.

Introduction

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Depuis l'antiquité, l'humanité a exploité une multitude de plantes présentes dans son environnement pour traiter et soigner un large éventail de maladies. À notre époque, les plantes continuent de jouer un rôle crucial dans la médecine à l'échelle mondiale, contribuant ainsi à l'art de guérir.

L'Algérie, pays connu pour ses ressources naturelles, dispose d'une flore singulièrement riche et variée. Environ 3 000 espèces de plantes dont 15% endémiques et appartenant à plusieurs familles botaniques **(Gheriani et Khemis, 2019)**.

Les différentes substances naturelles issues des végétaux tels que les coumarines, les alcaloïdes, les acides phénoliques, les tannins, les lignanes, les terpènes et les flavonoïdes ont des intérêts multiples dans le système de soins traditionnels et dans les différentes industries comme l'alimentation, la cosmétologie et en dermopharmacie **(Gheriani et Khemis, 2019)**.

L'*Aster squamatus* (Spreng.) Hieron une espèce appartenant à la famille des Astéracées. Cette plante, en plus de sa floraison automnale caractéristique, possède des propriétés antioxydantes intéressantes : ses extraits, riches en composés phénoliques (acide caféique, gallique, gentsique, homogentsique) et flavonols (myricétine, quercétine, kaempférol), ont montré une forte capacité de piégeage des radicaux libres.

L'argent est utilisé depuis longtemps pour ses propriétés antibactériennes, antifongiques et antivirales, en raison de sa forte toxicité envers les microorganismes, tout en étant relativement peu toxique pour l'être humain **(Li et al., 2011)** Par conséquent les chercheurs s'orientent vers la biosynthèse des nanoparticules métalliques, en particulier les nanoparticules d'argent et surtout à l'aide des végétaux qui ont des propriétés physico-chimiques distinctives **(Rai et al., 2012 ; Mishra et Singh, 2015)**.

Les plantes (leurs extraits) sont considérées comme un système hautement souhaitable pour la synthèse de NPs en raison de leur grande capacité à produire une large gamme de métabolites secondaires bioactifs à fort potentiel de réduction. L'argent (Ag) est considéré comme le métal privilégié parmi les métaux nobles en raison de ses nombreuses applications potentielles dans les domaines des systèmes biologiques, des composés organiques et de la médecine **(Sharma et al., 2018)**.

L'objectif de notre travail est la biosynthèse des nanoparticules d'argent à base d'extrait de la plante *Aster squamatus* et d'évaluer in vitro leur activités antioxydantes.

INTRODUCTION

Ce mémoire est divisé en deux parties :

- La première partie est une étude bibliographique qui regroupe deux chapitres dont le premier concerne des informations sur la plante *Aster squamatus* (Spreng.) Hieron, et le deuxième chapitre regroupe des informations sur les nanoparticules d'argent.
- La deuxième partie est réservée à l'étude expérimentale subdivisée en deux chapitres : le premier décrit le matériels et les méthodes utilisées pour réaliser ce travail et le deuxième chapitre présente les résultats obtenus et leurs discussions. Enfin une conclusion générale qui résume l'ensemble des résultats obtenus.

Partie 1

Partie bibliographique

Chapitre I

La plante *Aster squamatus*

(Spreng.) Hieron

1. Généralités

Le terme grec "Aster", signifiant "étoile", fait référence à la forme caractéristique de la fleur Il a été introduit en 1820 par le botaniste Ivan Ivanovic Martinov. La famille des Astéracées (Asteraceae), autrefois connue sous le nom de Compositae, regroupe un grand nombre de plantes dicotylédones. **(Harkati, 2011)**. Elle compte plus de 1 500 genres et environ 25 000 espèces, dont 750 sont endémiques. En Algérie, cette famille botanique est la plus représentée, avec 109 genres et 408 espèces recensés **(Quezel & Santa, 1969)**.

Cette famille se distingue par une grande diversité morphologique : elle comprend principalement des herbes annuelles ou vivaces, mais peut également inclure, plus rarement, des arbustes, des arbres, des plantes grimpantes, voire des espèces charnues **(Guichard, 2002)**. En règle générale, il s'agit de plantes herbacées à feuilles simples et isolées **(Bauer et al., 2001)**.

2. L'espèce « Aster squamatus » (Spreng.) Hieron

L'Aster squamatus est une grande plante herbacée annuelle de la famille des Astéracées. Elle se reconnaît à son port aéré, ses petites fleurs blanches à centre jaune et ses feuilles étroites, les supérieures ressemblant à des écailles. C'est une plante tolérant le sel, fréquente dans les zones humides et qui fleurit en automne. Originnaire d'Amérique, elle est naturalisée dans de nombreuses régions **(Corea et al., 2004)**.

3. Classification

- Règne : Plantae
- Embranchement : Angiospermae
- Classe : Dicotylédonae
- Sous classe : Astéridae
- Ordre : Astérale
- Famille : Asteraceae
- Tribu : Astereae
- Sous-tribu : Asterinae
- Genre : Aster
- Espèce: Aster squamatus (Spreng.) Hieron

4. Description botanique

4.1 Description de la plantule

Cotylédons lancéolés-pointus de 10 x 3 mm, ils sont pétiolés et glabres. Les premières feuilles sont ovales, entières, et s'atténuent progressivement en un long pétiole en forme de gouttière ; elles sont également glabres, L'axe hypocotylé est relativement court, et la plantule présente une couleur vert foncé **(Kazi et al., 2021)**.

4.2 Description de la plante Adulte

Aster squamatus est une plante herbacée annuelle à pluriannuelle, au port dressé, pouvant atteindre entre 30 et 120 cm de hauteur. Sa tige, fortement ramifiée surtout dans la partie supérieure, est glabre ou presque, souvent teintée de rouge. Les feuilles, alternes, entières, sessiles et glabres, varient selon leur position : les feuilles supérieures sont étroites, linéaires et légèrement succulentes, tandis que les inférieures sont lancéolées **(Kazi et al., 2021)**.

L'inflorescence est constituée de grappes de petits capitules ligulés, mesurant 4 à 6 mm sur 5 à 7 mm, de couleur lilas pâle à blanchâtre, avec un centre jaune. Les akènes, fusiformes et velus, mesurent 2 à 3 mm et sont surmontés d'une aigrette blanche plus longue, atteignant 5 à 6 mm **(Kazi et al., 2021)**.



Figure 1 : les différentes parties de la plante Aster squamatus (Kazi et al., 2021).

5. Répartition géographique

Aster squamatus est une espèce originaire d'Amérique du Sud, largement naturalisée dans les zones méditerranéennes est même dans les oasis du Sahara, une espèce annuelle d'automne, affectionne les milieux humides et salins (halophile) **(Quezel&Santa, 1963)**.

6. Composition chimique d’*Aster squamatus*

La plante *Aster squamatus* possède une composition chimique riche et diversifiée, des analyses approfondies ont révélé la présence d'acides phénoliques, notamment l'acide caféique, l'acide cinnamique et l'acide sinapique, dans les fractions solubles des extraits aqueux obtenus à partir des feuilles, des tiges et des racines **(Rates, 2001)**. Par ailleurs, une grande variété de flavonoïdes a été isolée à partir des fleurs d’*Aster squamatus*. Parmi ces flavonoïdes, on trouve la squamatine, la ternatine, la ramnetime, le kaempférol, la baicaleine, la lutéoline-7-méthyléther et la quercétine, ces composés bioactifs sont connus pour leurs effets bénéfiques **(Zidorn, 2016)**.

7. Les effets biologiques de l’*Aster squamatus*

Selon les études et les recherches menées par les chercheurs sur la plante *Aster squamatus*, cette dernière possède plusieurs propriétés biologiques. Le tableau suivant résume les effets biologiques de cette plante.

Tableau 1 : Les activités biologiques de la plante Aster squamatus.

Les effets	Les parties	Sources
✚ Activité antibactérienne	Feuilles	(Boulechfar et al., 2014)
✚ Activité antioxydante	Feuilles	(Boulebrachene et al., 2021)
✚ Réduction de la propulsion gastrointestinale.	Feuilles, tiges et racines	(Sperotto et al., 2002)
✚ Activité photoprotectrice	Feuilles	(Boulebrachene et al., 2021)
✚ Inhibition de la sécrétion de l'acide gastrique. ✚ Effet cicatrisant ✚ Effet antinéoplasique ✚ Effet anti diarrhéique	Partie aérienne	(Ghedini & Almeida, 2007)
✚ Anti ulcérogène	Feuilles	(Ghedini et al., 2002)

8. Utilisation en médecine traditionnelle

Aster squamatus est reconnu pour ses multiples applications en médecine traditionnelle dans différentes régions du monde. En médecine traditionnelle chinoise, des espèces du genre Aster sont utilisées depuis des siècles pour traiter une grande variété de maladies, notamment les morsures de serpent, la fièvre, les rhumes, les maux de gorge et les piqûres d'abeilles (**Coréa et al., 2004**).

Au sud du Brésil, Aster squamatus est particulièrement apprécié pour ses propriétés médicinales. Les communautés locales l'utilisent comme agent antitumoral, pour favoriser la cicatrisation des plaies, et comme traitement antidiarrhéique (**Meneghetti et al., 2001**). En

outre, il est considéré comme un remède contre les maladies respiratoires telles que la bronchite chronique, la coqueluche et la pneumonie **(Lanzotti, 2005)**.

Chapitre II

Les nanoparticules d'argent

1. Présentation des nanoparticules

Le préfixe nanomètre signifie un milliardième de 10^{-9} m donc un nanomètre (nm) est égal à un Milliardième de mètre. Une nanoparticule est définie comme une particule qui a une dimension dans au moins une direction spatiale est inférieure à 100 nm (**Zimmer et Biswas, 2001**). Les nanoparticules résident dans le fait que la plupart des atomes qui composent la surface, ils ont donc une surface d'échange (surface spécifique) très élevée, des centaines de mètres carrés par gramme de particules (**Benzamari et Hamlaoui, 2022**).

A titre de comparaison avec les structures organiques naturelles, les NPs se situent principalement dans la gamme de taille correspondant aux protéines.

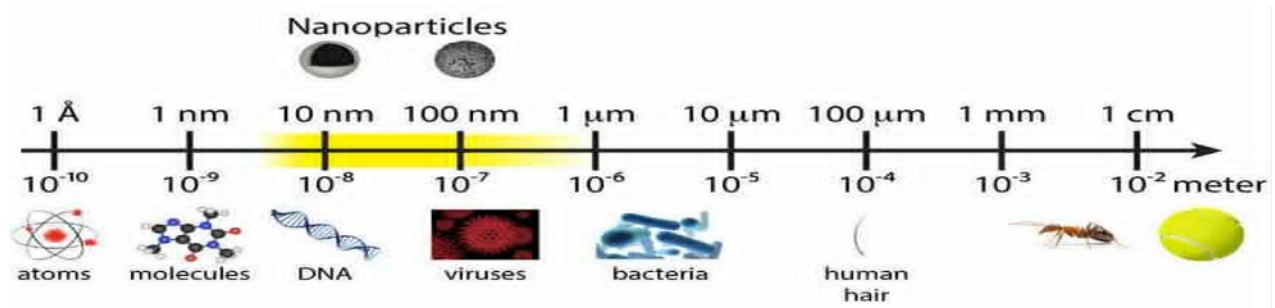


Figure 2 : Gamme de tailles des nanoparticules comparée à celles des principales structures chimiques et biologiques (**Buzea et al., 2007**).

2. Les sources des nanoparticules

Les sources des nanoparticules peuvent être divisées en trois grandes catégories (**Remédiaos et al., 2012**).

2.1 Sources naturelles

- Processus géologiques : Éruptions volcaniques (cendres), érosion des minéraux.
- Processus biologiques : Virus, exosomes, protéines (ex : ferritine), particules produites par des micro-organismes (**Dutta et Brahmachary, 2007**).
- Phénomènes environnementaux : Poussières désertiques, embruns marins, feux de forêt (**Hochella et al., 2008**).

2.2 Sources anthropogéniques (liées à l'activité humaine)

2.2.1 Synthèse intentionnelle :

- Fabrication pour applications spécifiques : nanoparticules d'or (médicament, électronique), quantum dots (imagerie), oxydes métalliques (cosmétique, peinture).
- Procédés industriels : nanotechnologies, catalyseurs.

2.2.2 Sous-produits involontaires :

- Combustion : Émissions de moteurs diesel, centrales au charbon, incinérateurs (particules de suie) **(Lanone et Boczkowski, 2010)**.
- Usure : Pneus, freins, matériaux de construction **(Amato et al., 2014)**.
- Activités industrielles : Fonderies, soudage, usinage **(Zimmer et Biswas, 2001)**.

2.3 Sources hybrides

- Nanoparticules modifiées dans l'environnement après leur émission (ex : oxydation de particules métalliques relâchées).
- Interaction entre sources naturelles et humaines **(Bakshi et al., 2014)**.

3. Classification des nanoparticules

Les nanoparticules (NPs) sont classées selon plusieurs critères

Tableau 2 : classification des nanoparticules

	Organiques	Inorganique	Hybrides
Selon la composition chimique	Des polymères, des lipides ou des protéines (Tiwari et Sen, 2008) .	Métalliques (or, argent), oxydes (fer, titane) (Stark et al., 2015) .	Combinaison de matériaux organiques et inorganiques (Sanchez et al., 2005) .
	Très petites	Moyennes	Plus grandes
Selon la taille	<10 nm, comme les points quantiques (Auffan et al., 2009) .	10-50 nm, comme les particules d'or. (Auffan et al., 2009) .	>50 nm, comme les liposomes. (Auffan et al., 2009) .
	Sphériques	Allongés	Plates

Selon la forme	NPs d'or ou liposomes (Dreaden et al., 2012) .	Nanotubes, nanorods (Dreaden et al., 2012) .	Nanolames, graphène (Dreaden et al., 2012) .
Selon la structure	Homogènes	Hétérogènes	Creuses
	Une seule phase ex : NPs d'or pur (Caruso, 2001) .	Structure cœur-coque (Caruso, 2001) .	Des nano capsules (Caruso, 2001) .
Selon l'origine	Naturelles	Synthétiques	Accidentelles
	Des virus ou des particules biologiques (Klaine et al., 2008) .	Fabriquées par des méthodes chimiques, physiques ou biologiques (Rao et al., 2004) .	Genre la suie des moteurs (Rao et al., 2004) .
Selon les propriétés physiques	Optiques	Magnétiques	Catalytiques
	Elles brillent ou fluoresce (Hirsch et al., 2003) .	Utiles pour l'IRM (oxyde de fer) (Hirsch et al., 2003) .	Elles accélèrent des réactions (platine) (Hirsch et al., 2003) .
Selon l'application	Médicales	Industrielles	Environnementales
	Vecteurs de médicaments, imagerie (Stark et al., 2015) .	Catalyseurs, revêtements (Stark et al., 2015) .	Dépollution, filtration. (Stark et al., 2015) .

4. Exemple des nanoparticules « les nanoparticules d'argent »

4.1 Présentation des nanoparticules d'argent

Les nanoparticules d'argent (AgNPs) sont l'un des nanomatériaux les plus essentiels et les plus fascinants (**Nasrollahzadeh et al., 2019**). Composées à 80% d'atomes d'argent et à 20% d'ions d'argent. Devant les nanotubes de carbone et les nanoparticules de titane, elles sont les nanoparticules les plus vendues et relâchées dans l'environnement (**Andrieux, 2012**).

4.2 Propriétés des nanoparticules d'argent

Les AgNPs ont des propriétés physico-chimiques distinctives, notamment une conductivité électrique et thermique élevée, une diffusion Raman améliorée en surface, une stabilité chimique, une activité catalytique et un comportement optique non linéaire (**Tran et al., 2012**).

Tableau 3 : propriétés des nanoparticules d'argent.

Propriétés optiques	Absorption et diffusion de la lumière de manière très efficace (Yusuf, 2019).
Propriétés thermiques	Faible température de fusion due à l'effet de taille thermodynamique (Syafiuddin et al., 2017).
Propriétés catalytiques	Réduction de colorants variés tels que le bleu de méthylène et l'éosine (Syafiuddin et al., 2017).

4.3 Méthodes de synthèse des nanoparticules d'argent

La synthèse des nanoparticules d'argent repose généralement sur deux stratégies fondamentales : l'approche descendante ("Top-down") et l'approche ascendante ("Bottom-up"). Actuellement, trois méthodes de synthèse relevant de ces approches ont été mises au point pour la production de ces nanoparticules.

4.3.1 Approche descendante (« Top-down »)

Cette approche consiste à générer des NPs par des méthodes physiques qui fragmentent un matériau massif pour en diminuer les dimensions. Cependant, elle requiert un équipement onéreux et aboutit souvent à un rendement limité en nanoparticules (**Mathur et al., 2018**).

4.3.2 Approche ascendante (« Bottom-up »)

Cette stratégie de synthèse des NPs s'effectue en laboratoire par des méthodes chimiques et biologiques. Elle repose sur l'auto-assemblage progressif d'entités de plus en plus complexes – atomes, molécules ou agrégats – jusqu'à former des particules de taille nanométrique (**Mathur et al.,2018**).

4.3.3 Synthèse verte ou biologique

Cette méthode de production de nanoparticules (NPs) exploite des entités biologiques telles que les micro-organismes, les extraits ou biomasses de plantes, ainsi que les enzymes. Elle représente une alternative respectueuse de l'environnement aux approches chimiques et physiques (**Ahmed et al., 2016**). De plus, l'utilisation d'extraits végétaux présente des avantages potentiels par rapport aux micro-organismes. Elle offre une plus grande facilité d'optimisation et évite le processus contraignant de conservation des cultures cellulaires microbiennes, s'adaptant ainsi mieux aux exigences du processus (**Ahmed et al.,2016**)

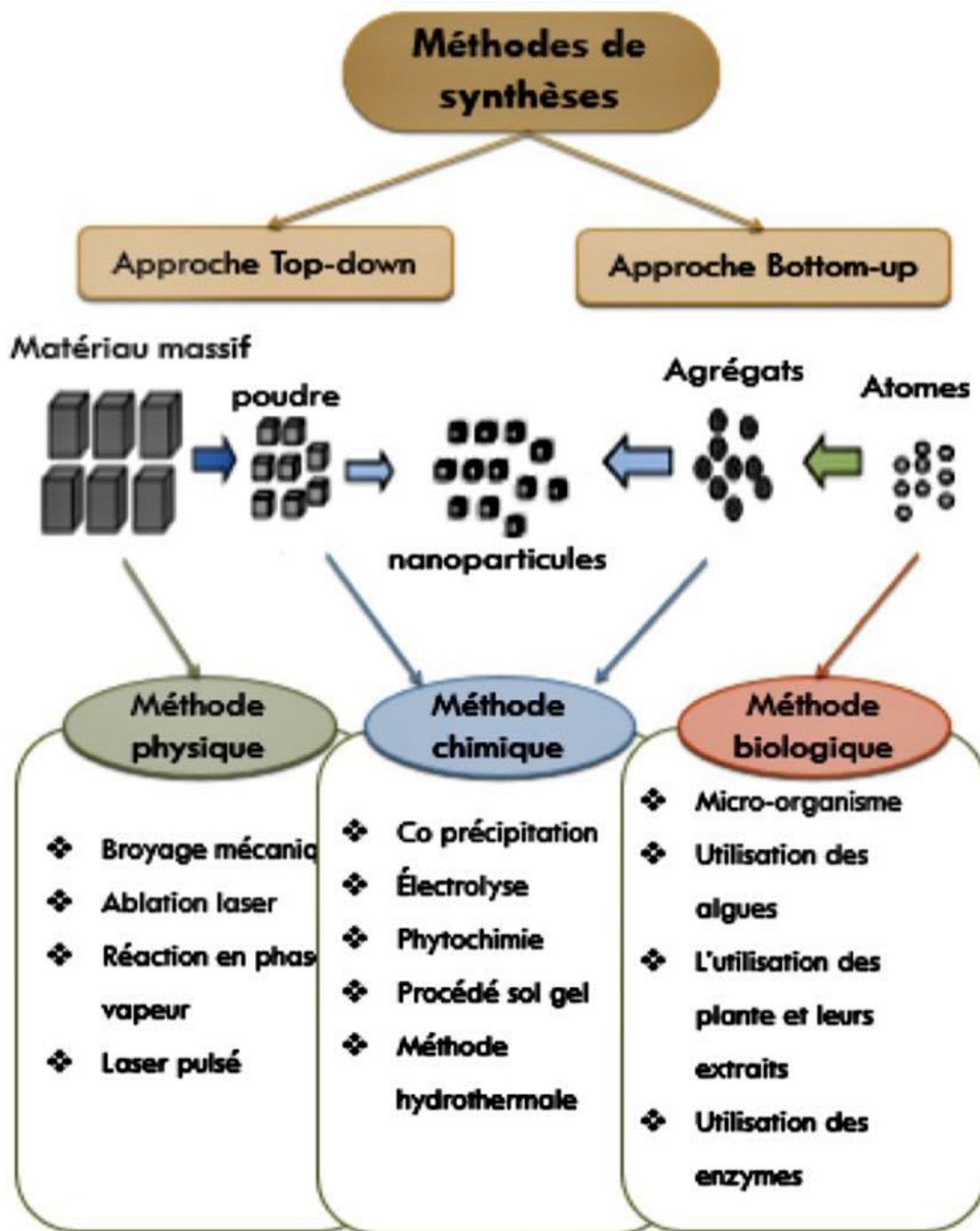


Figure 3 : les différentes méthodes de synthèse des nanomatériaux (Mathur et al.,2018).

4.4 Mécanisme de formation des nanoparticules d'argent à base d'extrait de plante

L'extrait aqueux réagit avec la solution d'argent pour former une solution marron foncé en raison de la conversion de l'ion argent en AgNPs.

Selon la littérature, le mécanisme de formation des nanoparticules tient compte de la richesse des extraits végétaux en polyphénols. La présence de l'ion Ag^* provoque l'oxydation des groupements hydroxyles pour former un complexe intermédiaire d'argent suivi de quinones et d'ions Ag , ce dernier étant réduit en Ag métallique en présence d'électrons libres (**Rajeshkumar et Bharath, 2017**).

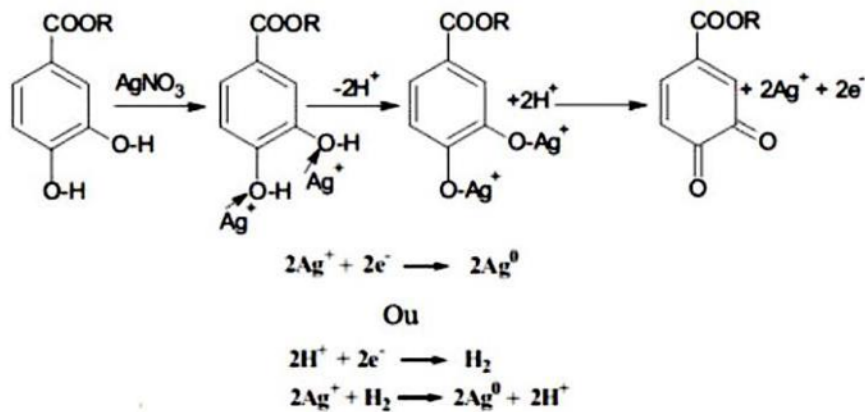


Figure 4 : Mécanisme de la réaction d'AgNPs (**Rajeshkumar et Bharath, 2017**).

4.5 Activités biologiques des nanoparticules d'argent

Le tableau suivant résume les différentes activités des nanoparticules d'argent.

Tableau 4 : les activités biologiques des nanoparticules d'argent

Les activités biologiques	Références
Activité anti bactérienne	(Zhang et al., 2016).
Activité antivirale	(Carolina et al., 2014) (Li et al., 2011)
Activité anti-inflammatoire	(Keywan et al., 2019).
Activité anticancéreuse	(Sang Hun et Bong-Hyun, 2019 ; Adnan et al., 2020).
Activité antioxydant	(Ruttikay-Nedecky, 2018; Chebbi et Cherief, 2018).

4.6 Applications des nanoparticules d'argent

Au cours des dernières années, plusieurs estimations ont été faites concernant la production mondiale d'AgNPs. L'industrie mondiale des nanotechnologies devrait connaître une croissance soutenue, en particulier dans le domaine de la production d'AgNPs. Diverses études ont mis en évidence que les AgNPs possèdent une valeur commerciale supérieure à celle d'autres types de nanoparticules, et leur utilisation dans les produits de consommation est plus fréquemment mise en avant (Calderón Jiménez et al., 2017).

Le tableau suivant montre les applications des AgNPs dans des divers domaines :

Tableau 5 : Applications des nanoparticules d'argent dans des différents secteurs (Verma et Maheshwari, 2019).

Domaine	Application des AgNPs
Applications biomédicales	<ul style="list-style-type: none"> • Réalisation antibactérienne • Réalisation antifongique • Réalisation antivirale • Réalisation anti-inflammatoire • Activité anti-angiogénique • Exploit anticancéreux
Applications textiles	<ul style="list-style-type: none"> • Textile bloquant les rayons UV • Textiles et dispositifs médicaux
Industries alimentaires	<ul style="list-style-type: none"> • Nanotechnologie et emballage alimentaire • Transformation alimentaire
Traitement environnemental	<ul style="list-style-type: none"> • Désinfection de l'air • Désinfection de l'eau ✓ Désinfection de l'eau potable ✓ Désinfection des eaux souterraines et des eaux usées biologiques
Applications pharmacologiques	<ul style="list-style-type: none"> • Activité antimicrobienne • Activité larvicide • Propriété de cicatrisation des plaies
Applications optiques	Utilisation dans :

	<ul style="list-style-type: none">• Les cellules solaires• L'imagerie médicale• Les limiteurs optiques• Les dispositifs plasmoniques (Nurani et al., 2015)
Applications conductrices	<ul style="list-style-type: none">• Les écrans LCD• LED haute intensité• Ecrans tactiles (Nurani et al., 2015)
Catalyse	<ul style="list-style-type: none">• Catalyseur de pile à combustible• Catalyseur d'additif pour carburant• Production d'hydrogène (Calderón - Jiménez et al., 2017)

Partie 2

Partie expérimentale

Chapitre I

Matériel et méthodes

1. Récolte de la plante

La plante *Aster squamatus*, récoltée dans la région d'Oum el Bouaghi fin septembre 2024 au stade de floraison, a été séchée à l'ombre pour préserver ses molécules. Seules les feuilles ont été séparées, découpées en petits fragments, broyées, puis pesées.

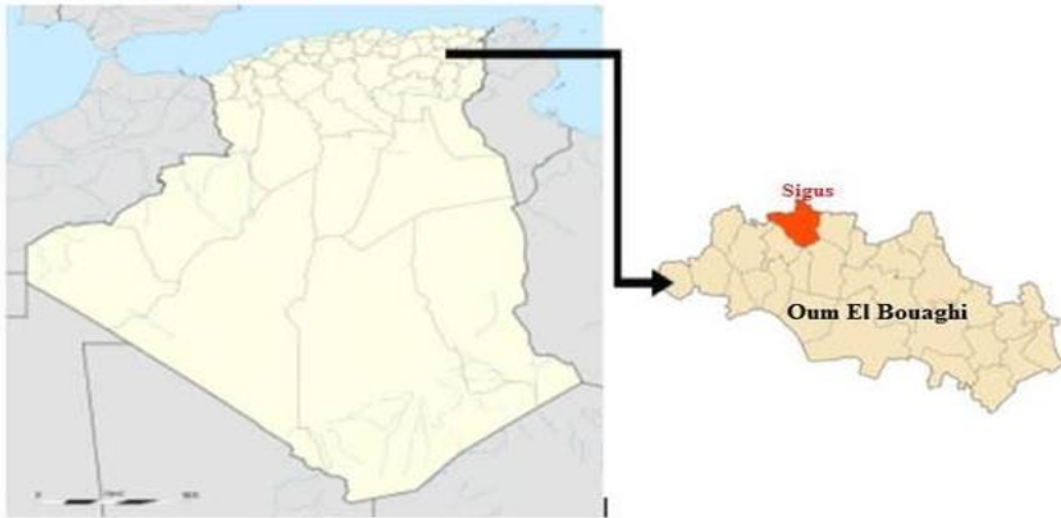


Figure 5 : Région de la récolte de la plante (Hamlaoui,2010)

2. L'extraction

L'extraction a été effectuée par macération selon le protocole de (Park & Ikegaki 1998). 20 g de poudre végétale est laissé macérer pendant 3 jours dans un mélange hydro alcoolique (Éthanol/eau) (70/30 : v/v). La macération a été répétée 4 fois jusqu'à l'épuisement du matériel végétal. L'extrait a ensuite été filtré par papier filtre et soumis à une évaporation dans un étuve à 37° C.

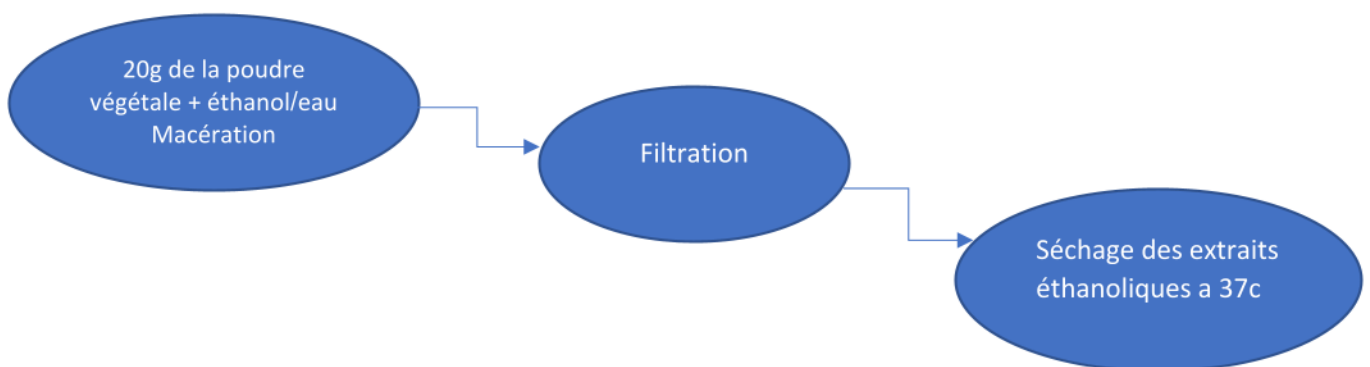


Figure 6 : Méthode de l'extraction.

3. La synthèse des nanoparticules d'argent

La synthèse des nanoparticules d'argent a été réalisée en adaptant le protocole de **(Al-Sheddi et al., 2018)** selon les modifications de **(Karan et al., 2023)**. Brièvement, 500 mg d'extrait de la plante a été dissous dans 100 ml d'eau distillée. Ensuite, 10 ml de cette solution ont été ajoutés à 90 ml de nitrate d'argent (1 mM). Le mélange réactionnel a été agité pendant 3 heures à 56 °C. La formation des AgNPs a été confirmée par l'observation d'un changement de couleur. Les AgNPs ont ensuite été récupérées par centrifugation à 5000 rpm pendant 15 minutes. Le culot obtenu a été lavé à plusieurs reprises avec de l'eau distillée et de l'éthanol pour éliminer les impuretés. Enfin, les AgNPs ont été séchées à 37 °C, résultant en une poudre solide de couleur marron foncé.

4. Caractérisation par Spectroscopie UV-visible

Les électrons libres qui se trouvent au niveau des AgNPs-EEFA, produisent une bande d'absorption de résonance plasmonique de surface (SPR), en raison de la vibration mutuelle des électrons des AgNPs-EEFA en résonance avec l'onde lumineuse. Les apparitions des pics montrent les caractéristiques de SPR des AgNPs (ANANDALAKSHMI et al., 2016). Ces vibrations sont spécifiées par la taille et la forme des particules d'Ag. Par conséquent, la spectroscopie UV-VIS peut être utilisée comme technique de caractérisation qui fournit des informations sur la taille et la forme des particules d'Ag. Les petites sphères d'Ag (10-50 nm) ont généralement un petit pic d'absorbance proche d'un max de 400 nm, tandis que les sphères plus grandes (100-220 nm) donnent un pic plus large avec un max qui se déplace vers des longueurs d'onde plus longues, proches de 500 nm (DE LEERSNYDER et al., 2020).

La caractérisation des AgNPs-EEFA a été réalisée par un spectrophotomètre UV-Visible (modèle Agilent Cary 60 UV-Vis Spechtrphotometer), au niveau du laboratoire de chimie, Hall technologique, l'université de Skikda, en mesurant le spectre d'absorption UV-Visible du milieu réactionnel à des longueurs d'onde allant de 200 à 800 nm.

5. Evaluation de l'activité antioxydante in vitro

Pour une évaluation précise de l'activité antioxydante, une approche multivariée a été employé en utilisant trois tests complémentaires : le DPPH et l'ABTS pour mesurer la capacité de piégeage des radicaux libres, et le test à la phénanthroline pour évaluer le pouvoir réducteur des ions ferriques. Cette stratégie s'aligne sur la reconnaissance du fait qu'une seule méthode est insuffisante pour cerner pleinement l'activité antioxydante en raison de la complexité des

mécanismes impliqués et des divers facteurs pouvant influencer les résultats (Kukrić et al., 2012). Ainsi, en appliquant ces trois tests, l'étude compare l'efficacité antioxydante des nanoparticules d'argent à base d'extrait de feuilles d'*Aster squamatus* (AgNPs-EEFA) à celle de la vitamine C, une molécule de référence.

L'activité antioxydante des AgNPs-EEFA est quantifiée par la détermination de la valeur IC_{50} , qui représente la concentration d'extrait nécessaire pour inhiber 50 % des radicaux libres. Il est important de noter que l'efficacité antioxydante est inversement proportionnelle à la valeur IC_{50} : une faible valeur d' IC_{50} (exprimée en $\mu\text{g/mL}$) indique une forte activité antioxydante, tandis qu'une valeur élevée reflète une activité plus faible.

5.1 Piégeage des radicaux

5.1.1 Test de piégeage des radicaux ABTS+

L'activité antiradicalaire des AgNPs-EEFA a été déterminée par une méthode de **Re et al. (1999)** basée sur la réduction du radical ABTS (2,2-azino-bis. (3-éthylbenzothiazoline-6-sulfonique acide)) qui est utilisé comme un radical libre pour évaluer l'activité antioxydante de AgNPs-EEFA. Ce radical cationique est facilement formé par oxydation en présence de persulfate de potassium pour donner une solution colorée en vert bleu (**Prouillac, 2006**). L'addition d'un antioxydant à une solution de ce radical cationique entraîne sa réduction et une diminution de l'absorbance. Cette diminution dépend de l'activité antioxydante des composés testés, du temps et de la concentration (**Re et al., 1999**).

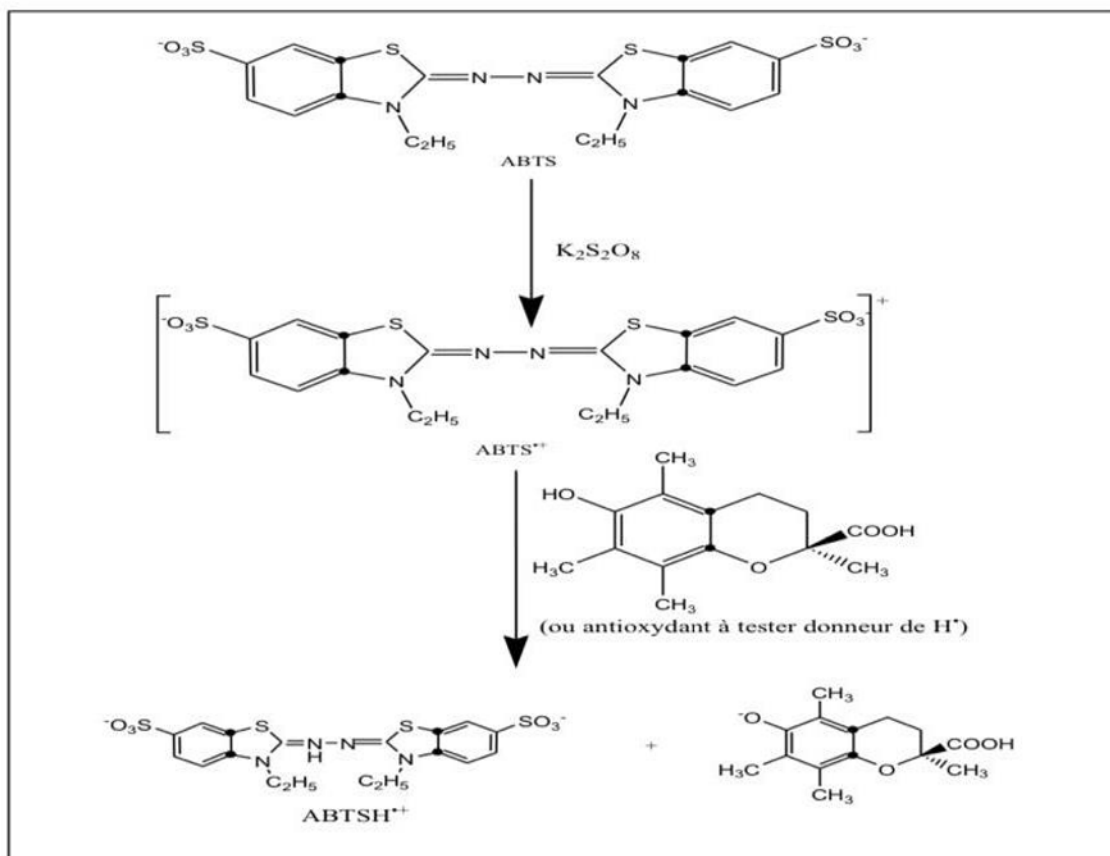


Figure 7 : formation et piégeage du radical $ABTS^{\bullet+}$ par un antioxydant donneur (Gulcin, 2012).

Brièvement, la solution $ABTS^{\bullet+}$ été préparée en mélangeant l'ABTS avec du persulfate de potassium $K_2S_2O_8$. Le mélange a été incubé pendant 16 h dans l'obscurité à une température ambiante. L'absorbance de la solution ainsi obtenue est ajustée à 7.00 ± 0.020 par l'éthanol à 734 nm. D'un autre côté, une quantité de 4 mg d'AgNPs-EEFA a été dissoute dans 4 mL de méthanol ; à partir de cette solution ; des dilutions au 1/2 ont été préparées pour l'AgNPs-EEFA avec des concentrations de 6.25/12.5/25/50/100/200 $\mu\text{g/mL}$. Ensuite, dans les tubes, un volume de 1600 μL de l' $ABTS^{\bullet+}$. Est ajouté à 400 μL des différentes concentrations d'AgNPs-EEFA. Pour le blanc, un volume de 400 μL de méthanol et 1600 μL d' $ABTS^{\bullet+}$ a été mis dans les derniers tubes. Après 10 minutes d'incubation à température ambiante ; l'absorbance a été mesurée à 734 nm. L'activité de piégeage de l' $ABTS^{\bullet+}$ est exprimée en pourcentage d'inhibition à l'aide de la formule suivante :

$$I\% = [A_0 - A_1] / A_0 \times 100$$

D'où :

I% : Le pouvoir d'inhibition du radical ABTS

A0 : Absorbance du Blanc.

A1 : Absorbance extrait.

5.1.2 Test de piégeage du radical DPPH

L'activité antiradicalaire d'AgNPs-EEFA été déterminée par une méthode spectrophotométrique en utilisant le radical libre 2,2-diphényl-1-picryl-hydrayle (DPPH) selon le protocole de **(Blois, 1958)**. L'acide ascorbique (vitamine C) a été utilisé comme standard antioxydant.

L'activité antiradicalaire est mesurée par la dégradation du DPPH : 2,2'-diphényl-1-picrylhydrazyl, qui est un radical synthétique présentant une intense coloration violette. La couche électronique de ce radical est saturée en contact d'antioxydants des d'AgNPs-EEFA ou le standard, ce qui explique la disparition de sa coloration. Cette décoloration explique le pouvoir des AgNPs-EEFA à piéger ce radical, qu'on peut détecter par un spectrophotomètre-UV.

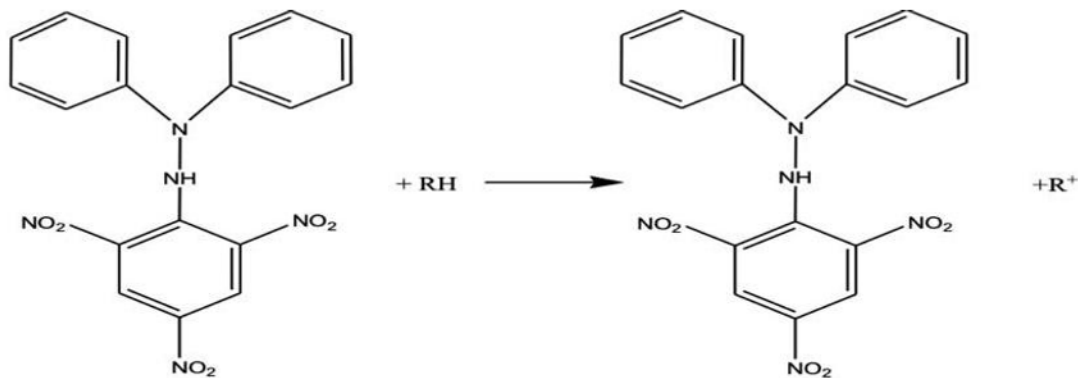


Figure 8 : Réduction du DPPH **(Gulcin, 2012)**.

Brièvement, la solution de DPPH est préparée par solubilisation de DPPH dans le méthanol. Puis 1600 μL de la solution de DPPH ont été ajoutés à 400 μL d'AgNPs-EEFA. Puis le mélange a été incubé pendant 30 min à l'obscurité. L'absorbance est mesurée à 517 nm à l'aide d'un spectrophotomètre-UV visible. Le pouvoir d'inhibition du radical DPPH est estimé selon la formule suivante :

$$I\% = [A0-A1] / A0 \times 100$$

D'où :

I% : Le pouvoir d'inhibition du radical DPPH

A0 : Absorbance du Blanc.

A1 : Absorbance extrait.

Où en calculant l'IC₅₀ qui est la concentration en AgNPs-EEFA nécessaire pour réduire 50% du radical DPPH.

5.2 Réduction des ions ferriques

5.2.1 Test de Phénanthroline

L'estimation du pouvoir réducteur des extraits en utilisant la méthode de phénanthroline est déterminée selon la technique de (Szydłowska-Czerniak et al., 2008). Ce test est basé sur la réduction de Fe³⁺ en ion Fe²⁺ par un antioxydant. L'ion Fe²⁺ formé réagissait ensuite avec la 1,10-phénanthroline pour former un complexe rouge orange de tri-phénanthroline qui absorbe au maximum à 508-510 nm (Mukhopadhyay et al., 2016 ; Yefrida et al., 2018).

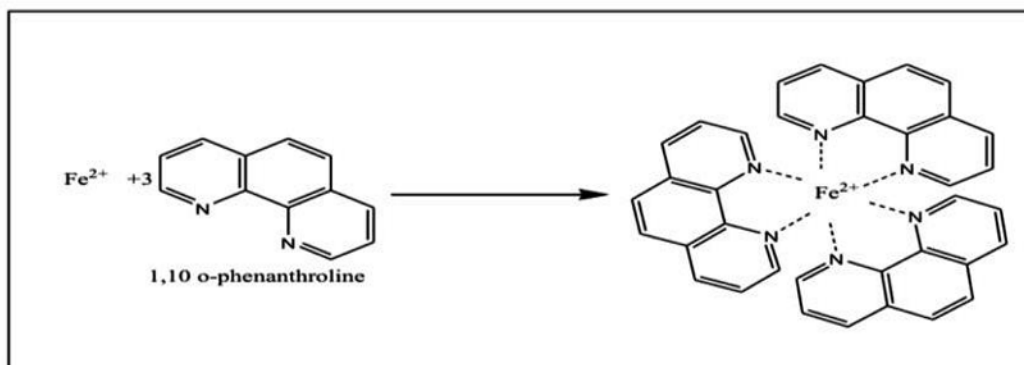


Figure 9 : Formation du complexe Fe²⁺-phénanthroline (Gulcin,2012).

Brièvement, un volume de 100 µL de différentes concentrations d'AgNPs-EEFA est ajouté à 500 µL de chlorure ferrique FeCl₃ (0,2%), 300 µL de phénanthroline 0,5% et 1100 µL de méthanol. Après une incubation à l'obscurité pendant 20 min à 30°C, l'absorbance a été mesurée à 510 nm. Un blanc sans échantillon est préparé parallèlement dans les mêmes conditions en remplaçant AgNPs-EEFA par le solvant. La vitamine C est utilisée comme standard.

6. Analyse statistiques

Les expériences ont été menées en triplicats, et les résultats sont présentés sous forme de moyenne \pm écart type. Les différences significatives entre les groupes ont été déterminées par le test de Student. Le seuil de signification statistique a été fixé à $p < 0.05$, et l'analyse a été réalisée à l'aide du logiciel GraphPad Prism (version 6.0.1).

Chapitre II

Résultats et Discussion

1. Biosynthèse des nanoparticules d'argent

La biosynthèse des AgNPs-EEFA a été réalisée avec succès. Après l'addition de la solution aqueuse de l'extrait à la solution d'AgNO₃, un virage de la couleur du vert au marron a été observé. Cette variation de la couleur a été considérée comme le premier indice d'une biosynthèse réussite des AgNPs-EEFA. Selon le travail de Shabir Ahmad et al., (2019) les plantes ont été utilisées souvent dans la biosynthèse des NPs. Ceci est dû au fait que les composés phytochimiques (polyphénols, flavonoïdes, alcaloïdes;..etc.) des plantes montrent une réduction et une stabilisation plus grandes. En réalité, les travaux antérieurs ont confirmé la richesse de la plante *Aster squamatus* en composés phénoliques et flavonoïdes qui peuvent jouer un rôle dans la réduction de Ag⁺ → Ag⁰ (Abdoli et al., 2024).

2. Caractérisation des nanoparticules d'argent

L'analyse spectrophotométrique UV-Vis est utilisée pour confirmer la formation des AgNPs-EEFA. Comme présenté dans la **Figure 10**, les AgNPs-EEFA donnent une bande de SPR étendue dans la gamme de longueur d'onde de 200-800 nm avec un pic positionné autour de 452 nm. Ceci peut signifier que la taille des AgNPs-EEFA peut être de 50-150nm. Cependant, la taille exacte des nanoparticules doit être confirmée par un microscope électronique à transmission.

En comparaison avec les études précédentes sur les AgNPs synthétisés à base des extraits des plantes de la famille Asteraceae, Kalam et al. (2020) ont enregistré un pic à 432 nm pour AgNPs biosynthétisés à base d'extrait des fleurs d'*Aster squamatus*, ce qui est inférieur à notre travail. En agrément avec le travail d'Abdoli et al. (2024), les AgNPs biosynthétisés à partir de la plante *Centaurea behen* ont montré une absorption maximale à 450 nm, ce qui est plus proche à notre résultat. En plus, l'étude de Xu et al. (2021) menée sur les AgNPs à base d'extrait de *Calendula officinalis* a montré une absorbance maximale à 452 nm, ce qui est une valeur complètement similaire à notre résultat. Dans une autre étude de Khatun et al. (2024) sur les AgNP extraites de *Mikania cordata*, un PIC d'adsorption de 451 a été déterminé, ce qui est presque similaire à notre résultat.

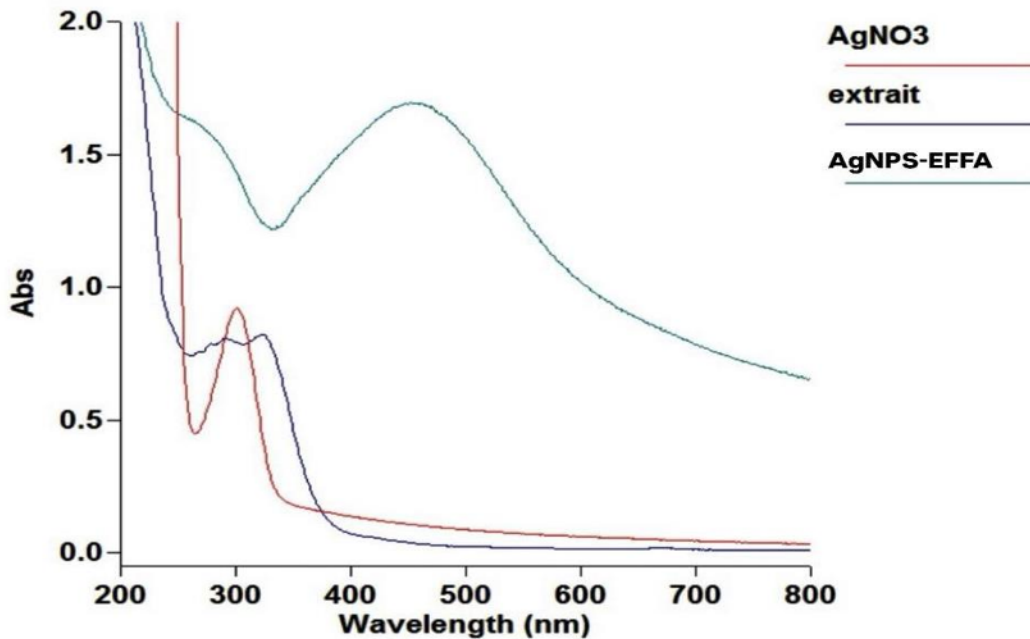


Figure 10 : Caractérisation du pic de l'AgNPs-EEFA.

2.1 Test de piégeage du radical ABTS⁺

L'activité du piégeage du radical ABTS⁺ par AgNPs-EEFA est déduite de sa capacité à inhiber le radical ABTS⁺. L'ajout de l'AgNPs-EEFA ou de la vitamine C, entraîne une décoloration de la solution indiquant l'existence d'une activité antioxydante. La disparition de la coloration bleue est proportionnelle à la capacité d'inhiber le radical ABTS⁺.

Le graphe démontre que, bien que les AgNPs-EEFA présentent une certaine capacité antioxydante croissante avec la concentration, leur efficacité est largement inférieure à celle de la vitamine C. A toutes les concentrations testées, la vitamine C a présenté une activité antioxydante significativement ($p < 0,05$) supérieure à celle des AgNPs-EEFA. Par exemple, à 200 $\mu\text{g/mL}$, la vitamine C atteint 90.63% d'inhibition, tandis que les AgNPs-EEFA plafonnent autour de 37,85%. Ceci peut être expliqué par le fait que la vitamine C est une molécule pure, tandis que l'extrait AgNPs-EEFA c'est un mélange de plusieurs composés. En plus, l'effet de synergie entre les différents composant du complexe AgNPs-EEFA peut également influencer l'activité globale (Diop et al., 2021).

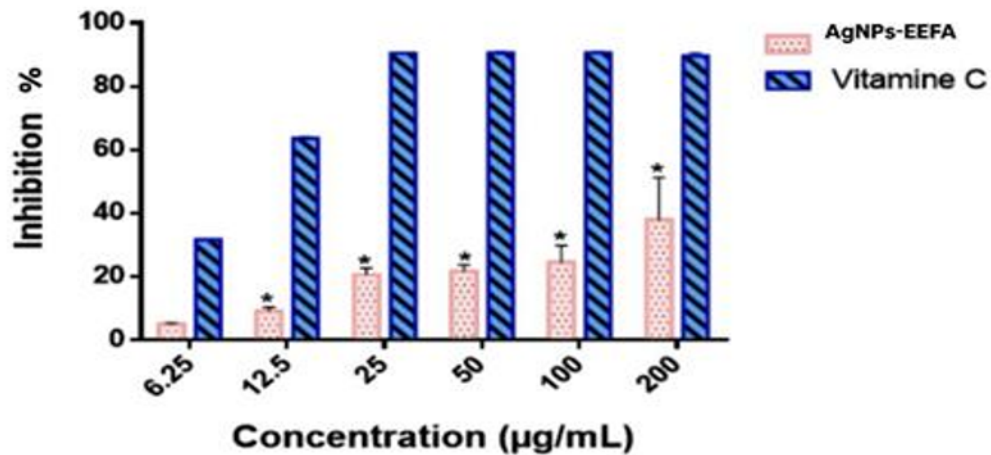


Figure 11 : Inhibition du radical $ABTS^+$ par l'AgNPs-EEFA et la vitamine C.

Malgré le manque d'études antérieures sur les propriétés antioxydantes des AgNPs à base d'*Aster squamatus*, plusieurs travaux ont confirmé la capacité des AgNPs produits à base des plantes, de la famille Asteraceae, à piéger les radicaux libres ABTS. L'étude réalisée par Balciunaitiene et al. (2022) sur les AgNPs synthétisés à partir de la plante *Calendula officinalis*, a révélé une capacité antiradicalaire moyenne. En plus, Pradhan et al. (2024) ont étudié l'activité de piégeage des radicaux ABTS des nanoparticules produites de la plante *Blumea sinuata*, dont la valeur maximale de l'activité était de $40,28 \pm 0,90\%$, ce qui est proche à celle trouvée dans la présente étude. Dans une autre étude réalisée par (Pelin et Bijen, 2020). Sur les nanoparticules d'argent à base de *Psephellus pyrrhoblepharus*, l'activité antioxydante par le test ABTS était environ 37 %, ce qui est similaire à notre résultat.

2.2 Test du piégeage du radical DPPH

L'activité antioxydante a été aussi évaluée par le test au DPPH. Ce test nous a permis de déterminer la capacité des AgNPs-EEFA à neutraliser le radical libre DPPH présent dans le milieu réactionnel.

D'après l'histogramme, l'activité antioxydante augmente avec l'augmentation des concentrations. A une concentration de 6,25 µg/mL (la plus faible concentration), l'activité des

AgNPs-EEFA était 0%, cependant, à la plus forte concentration (200 µg/mL), l'activité était 16,4%.

Les résultats révèlent aussi une différence statistique notable ($p < 0,05$) entre le taux d'inhibition exercé par AgNPs-EEFA et celui de la vitamine C. En plus, on a remarqué que le pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH par AgNPs-EEFA était très inférieur à celui de la vitamine C pour toutes les concentrations utilisées. Comme auparavant, la forte activité de la Vitamine C et la faible activité des AgNPs-EEFA peuvent être due à l'effet de synergie entre les ions argent et les composés phénoliques de l'extrait. Ainsi, la pureté de la vitamine C et la complexité d'AgNPs-EEFA peuvent être la raison pour les activités observées.

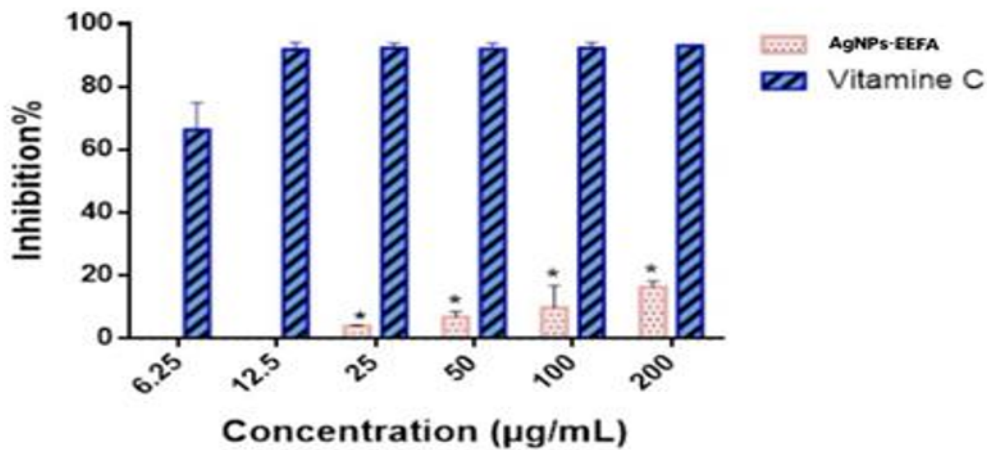


Figure 12 : Inhibition du radical DPPH par l'AgNPs-EEFA et la vitamine C.

Selon les données issues d'autres études, le travail de Pradhan, et al. (2024) a révélé la capacité des AgNPs de la plante *Blumea sinuata* à piéger le radical libre DPPH avec une valeur de $25,85 \pm 0,36\%$, ce qui est supérieurs à notre résultat ($16,4 \pm 1,89\%$). Dans une autre étude, Gecer et al. (2021) ont examiné le pouvoir antiradicalaire des nanoparticules d'argent à base d'*Echinacea purpurea* (L.) à différentes concentrations, et ont trouvé une valeur d'environ 20 % à la concentration 200 µg/mL, ce qui est proche de notre valeur à la même concentration.

2.3 Test du phénanthroline

Le test de la phénanthroline est considéré comme un test récent servant à l'évaluation de l'activité antioxydante possible de AgNPs-EEFA (Bensaad et al., 2021). Ce test est basé sur la réduction de Fe^{3+} par un agent antioxydant pour donner l'ion Fe^{2+} qui ensuite réagit avec la phénanthroline pour donner un complexe de couleur rouge orangé, et qui absorbe à 510 nm (Szydłowska-Czerniaka et al., 2008). Cette activité est un indicateur important de l'activité antioxydante, liée à la présence de composés bioactifs comme les polyphénols et flavonoïdes dans les extraits végétaux utilisés pour la synthèse des AgNPs (Seghir et al., 2024).

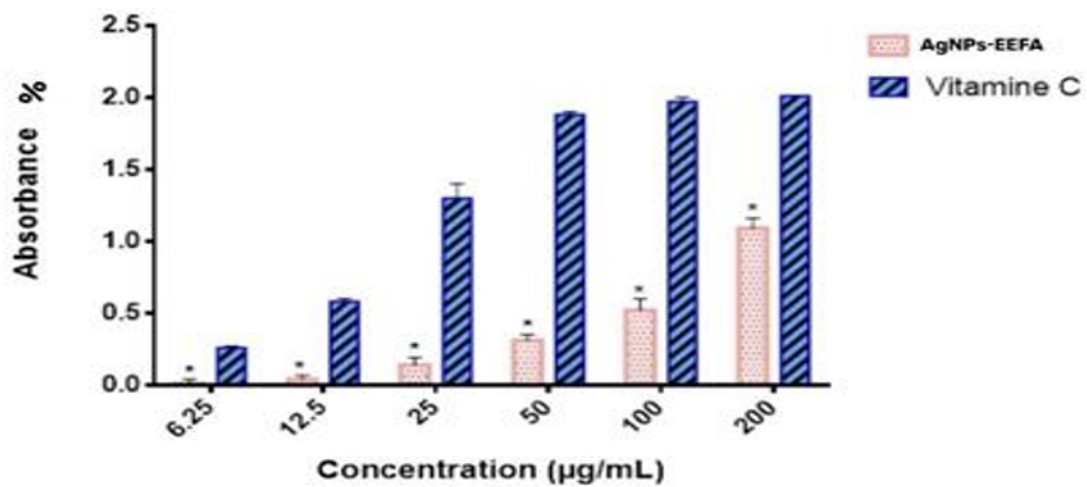


Figure 13 : Pouvoir réducteur de l'AgNPs-EEFA et la vitamine C par la méthode de phénanthroline.

D'après l'histogramme, on remarque que le pouvoir réducteur exercé par AgNPs-EEFA augmente d'une manière concentration dépendant c'est à-dire que la capacité de réduction des ions ferriques augmente avec l'augmentation de la concentration, dont les valeurs de l'absorbance varient de 0.01 à 1.09.

Nous avons remarqué aussi qu'il existe une différence significative ($p < 0,05$) entre la capacité de réduction des ions ferriques de la vitamine C et celle de l'AgNPs-EEFA. En se basant sur la valeur $A_{0,50}$, on peut classer nos échantillons dans l'ordre suivant : Vitamine C ($A_{0,50} = 2.72 \pm 0.6 \mu\text{g/mL}$) > AgNPs-EEFA ($A_{0,50} = 89.77 \pm 7.71 \mu\text{g/mL}$).

Les études antérieures ont confirmé la capacité des AgNPs à réduire les ions ferriques. Les résultats de Verma et al. (2019) ont révélé, par le test FRAP, le pouvoir des nanoparticules d'argent de *Verbesina encchoides* à réduire les ions de fer. Les valeurs étaient très faibles par rapport à nos résultats. A 100 mg/mL, les auteurs ont enregistré une valeur de (0,3) et à 200 mg/mL, ils ont observé une valeur de (0,6), ces résultats restent faible par rapport à notre étude, dont les résultats étaient les suivants : $0,52 \pm 0,08$ à 100 $\mu\text{g/mL}$ et $1,09 \pm 0,07$ à 200 $\mu\text{g/mL}$.

Conclusion

CONCLUSION

CONCLUSION

Les nanoparticules métalliques suscitent actuellement une attention particulière dans un large éventail d'applications, telles que l'électronique, l'informatique, la santé, etc. Dans cette modeste étude, nous avons tenté de préparer des nanoparticules d'argent afin d'investir dans la recherche de nouvelles applications.

Notre travail vise à étudier l'activité antioxydante *in vitro* de nanoparticules d'argent synthétisées à partir de la plante *Aster squamatus*.

Dans ce travail, des nanoparticules d'argent ont été synthétisées par une méthode de synthèse verte à partir d'un extrait de feuille de la plante aromatique et médicinale *Aster squamatus*, récolté dans la région d'Oum El Bouaghi. Une technique UV-VS a été utilisée pour caractériser et confirmer la synthèse des nanoparticules. Grâce à ces propriétés uniques, les résultats ont démontré la faisabilité de la fabrication de ces particules.

De plus, l'activité antioxydante des nanoparticules synthétisées a été évaluée à l'aide de trois méthodes : deux tests de piègeage des radicaux libres (DPPH et ABTS) et un test de réduction des ions ferriques (phénanthroline). Les résultats ont montré la capacité des nanoparticules d'argent-EEFA à piéger les radicaux libres et à réduire les ions ferriques.

À l'avenir, certains points nécessitent des recherches plus approfondies ; il serait donc intéressant de compléter cette étude par les éléments suivants :

- Caractérisation des nanoparticules par une combinaison de méthodes de caractérisation telles que l'infrarouge (IR) et la diffraction des rayons X (DRX), etc.
- Il est également souhaitable d'étendre l'étude de l'activité antioxydante *in vivo*.
- Il est souhaitable d'étudier d'autres activités biologiques telles que l'activité antibactérienne, anticancéreuse, anti-inflammatoire, etc. Il serait souhaitable de comparer les résultats de cette approche en étudiant les effets chimiques et biologiques avec l'approche moléculaire qui cible tous les composants fractionnaires majeurs et mineurs afin d'étudier leur activité biologique individuellement.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

A

1. **Adnan M, Obyedul M.K, Alle M, et al., (2020).** Simple and cleaner system of silver nanoparticles synthesis using kenaf seed and unveiling their anticancer and antimicrobial potentials. *Journal Nanotechnology* in press. doi.org/10.1088/1361-6528/ab7d72
2. **Ahmad S, Munir S, Zeb N, Ullah A, Khan B, Ali J, ... & Ali, S. (2019).** Green nanotechnology: A review on green synthesis of silver nanoparticles-An ecofriendly approach. *International Journal of Nanomedicine*, 14, 5087-5107.
3. **Ahmed S, Ahmad M, Swami B. (2016).** A review on plants extracts mediated synthesis of silver nanoparticles for antimicrobial applications: a green expertise. *J AdvRes.7* :17–28.
4. **Al-Sheddi E, Farshori N, Al-Oqail M. (2018).** Anticancer Potential of Green Synthesized Silver Nanoparticles Using Extract of *Nepeta deflersiana* against Human Cervical Cancer Cells (HeLA). *Université Saudi Arabia*. Article ID 9390784, 12 pages.
5. **Amato F, et al. (2014).** Urban air quality: The challenge of traffic non-exhaust emissions. *Journal of Hazardous Materials*, 275, 31-36.
6. **Anandalakshmi K, Venugobal J, Ramasamy V. (2016).** Characterization of silver nanoparticles by green synthesis method using *Petalium murex* leaf extract and their antibacterial activity. *Applied Nanoscience*, 6, 399-408.
7. **Andrieux - Ledier A. (2012).** Elaboration de nanoparticules d'argent par réduction de sels métallo organiques : contrôle de taille, stabilité, organisation et propriétés physiques. Thèse de Doctorat en Chimie-physique. Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, France, 165p.
8. **Andrieux, P. (2012).** Nanoparticules d'argent : propriétés, applications et risques. *Techniques de l'Ingénieur, traité Environnement*, article RE170.
9. **Auffan M, et al. (2009).** "Towards a definition of inorganic nanoparticles from an environmental, health and safety perspective." *Nature Nanotechnology*, 4(10), 634–641.

B

10. **Bakshi S, He Z, HarrisW. (2014).** Natural Nanoparticles: Implications for Environment and Human Health. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, pp.861-904.
11. **Bauer K, Garbe D et Surburg H. (2001).** *Common Fragrance and Flavour Materials : preparation, properties and uses.* Wiley-VCH, Weinheim.
12. **Blois M. (1958).** Antioxidant determinations by the use of a stable Free Radical. *Nature*, 4617 (181) : 1119-1200.

13. **Boulebrachene I, Chelli N et Souames A. (2021).** Etude in-vitro des activités antioxydante et photoprotectrice des feuilles de la plante *Aster squamatus* (Spreng.) Hieron. Mémoire Master 2 en Biochimie Appliquée. Université de 20 Aout 1955 Skikda.
14. **Boulechfar S, Zellagui A et Gherraf N. (2014).** Total phenolic and flavonoid content and in vitro antioxydant and antibacterial activity of *Aster squamatus* Hier. Leaves extracts. *Der pharmacia Lettre*, 6 (5), pp. 112-115.
15. **Buzea C, Pacheco I, Robbie K. (2007).** Nanomaterials and nanoparticles: sources and toxicity. *Biointerphases*, 2(4), pp.MR17-MR71.

C

16. **Carolina D, Marcelo S, Avinach P, et al., (2014).** Silver Nanoparticles: Therapeutical Uses, Toxicity, and Safety Issues. *Journal of pharmaceutical sciences*. doi.org/10.1002/jps.24001.
17. **Caruso, F. (2001).** "Nanoengineering of particle surfaces." *Advanced Materials*, 13(1), 11–22.
18. **Chebbi A, Cherief F. (2018).** Biosynthèse de nanoparticules à base d'extrait de plantes et la caractérisation de leurs activités biologiques. Mémoire de Master en Biologie. Université A. MIRA- Béjaia.
19. **Coréa M, Mesquita A, Santos R. (2004).** Traditional uses of Asteraceae in Chinese medicine. *Journal of Ethnopharmacology*, 92(2-3), 167-174.

D

20. **Dakshayani S, Marulasiddeshwara M, Kumar S, Golla R, Devaraja S, Hosamani R. (2019).** Antimicrobial, anticoagulant and antiplatelet activities of green synthesized silver nanoparticles using *Selaginella* (Sanjeevini) plant extract. *Int J Biol Macromol* ; 131 : 787-97.
21. **DE Leersnyder I, Rijckaert H, DE gelder L, Van driessche I, Vermeir P. (2020).** High variability in silver particle characteristics, silver concentrations, and production batches of commercially available products indicates the need for a more rigorous approach. *Nanomaterials*, 10, 1.
22. **Dreaden E et al. (2012).** "The golden age : Gold nanoparticles for biomedicine." *Chemical Society Reviews*, 41(7), 2740–2779.
23. **Dutta R, Brahmachary R. (2009).** Natural nanoparticles: an overview.

G

24. **Ghedini P C et Almeida C E. (2007).** Butanolic Extract of *Aster squamatus* Aerial parts are the active fraction responsible to the antiulcer and gastric acid antisecretory effects. *Latin American journal of pharmacy*, 26 (6), 889-892.
25. **Ghedini P C, Esteves Almeida C, Burger M, Bauermann L D, Magni D et Borgmann S M. (2002).** Preliminary studies of anti-Ulcerogenic Effect of *Aster squamatus* leaves Hydroalcoholic Extract on various Ulcer Models in Rats. *Acta Farmaceutica*, 21 (3), pp. 165.
26. **Guichard E. (2002).** Interaction between flavor compounds and food ingredients and their influence on flavor perception. *Food reviews international*, Vol. 18,49-70.
27. **Gulcin I. (2012).** Antioxydant activity of Food constituents: an overview. *Arch.toxicol* ,86 :345-391.

H

28. **Harkati B. (2011).** Valorisation et identification structurales des principes actifs de la plante de la famille Asteraceae : thèse doctorat : chimie organique : université Mentouri constantine,4-5.
29. **Hirsch L et al. (2003).** "Nanoshell-mediated near-infrared thermal therapy of tumors under magnetic resonance guidance." *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(23), 13549–13554.
30. **Hochella M, et al. (2008).** Nanominerals, mineral nanoparticles, and Earth systems. *Science*, 319(5870), 1631-1635.
31. **Hochella M et al. (2008).** Nanominerals, mineral nanoparticles, and Earth systems. *Science*, 319(5870), 1631-1635.

K

32. **Karan T, Erenler R, Gonulalan Z, et al. (2023).** Biogenic synthesis of silver nanoparticles using *Sambucus nigra* leaves: elucidation, antimicrobial, antioxidant activities and quantification of phenolics Institute of Chemistry, Slovak Academy of Sciences.
33. **Kazi C, Grard P, Bourgeois T. (2021).** "AdvenAlg 1.0 Identification et connaissance des principales adventices d'Algérie méditerranéenne." *Al Yasmina, Revue de Botanique*, 2(3) : 1-187.
34. **Keywan M, Najaf M, Samadian H, et al., (2019).** Redox interactions and genotoxicity of metal-based nanoparticles: A comprehensive review. *Journal of Chemico-Biological Interactions*. ; 312. doi.org/10.1016/j.cbi.2019.108814.

35. **Khatami, M., Soltani Nejad, M., & Pourseyedi, S. (2020).** Green synthesis of silver nanoparticles using *Artemisia turcomanica* leaf extract and their optical characterization. *Journal of Nanobiotechnology*, 18(1), 141.
36. **Khattak A, Ahmad B, Rauf A, Bawazeer S, Farooq U, Ali J, Patel S, El-Sharkawy E.R, Ikram R, Linfang H. (2019).** Green synthesis, characterisation and biological evaluation of plant-based silver nanoparticles using *Quercus semecarpifolia* Smith aqueous leaf extract. *IET nanobiotechnology*, 13(1), pp.36-41.
37. **Klaine S et al. (2008).** "Nanomaterials in the environment: Behavior, fate, bioavailability, and effects." *Environmental Toxicology and Chemistry*, 27(9), 1825–1851.

L

38. **Lanone S, Boczkowski J. (2010).** Les sources de nanoparticules. *Revue française d'allergologie*, 50(3), pp.211-213.
39. **Lanzotti V. (2005).** Bioactive compounds from Asteraceae and their therapeutic potential. *Phytochemistry Reviews*, 4(2), 159-173.
40. **Li J, Zhang H, Xu Y, Wang L. (2019).** Biosynthesis of silver nanoparticles using *Chrysanthemum indicum* extract: Spectroscopic studies and antibacterial activity. *Materials Science & Engineering C*, 103, 109824.
41. **Liu Z, Zhang Z, Du X, et al. (2021).** Novel green synthesis of silver nanoparticles mediated by *Curcuma kwangsiensis* for anti-lung cancer activities: a preclinical trial study.
42. **Li W, Xiao-Bao X, Qing-Shan S. (2011).** Antibacterial effect of silver nanoparticles on *Staphylococcus aureus*. *J Biometals.*, 24 :135–141 DOI 10.1007/s10534-010-9381-6.

M

43. **Mathur P, Jha S, Ramteke S, et al. (2018).** Pharmaceutical aspects of silver nanoparticles. *Artificial Cells, Nanomedicine, and Biotechnology*, 46(S1) : S115-S126.
44. **Meneghetti E, Santos L, Coelho R. (2001).** Medicinal plants of Southern Brazil : A focus on *Aster squamatus*. *Revista Brasileira de Plantas Medicinai*s, 4(1), 23-30.
45. **Mishra S. (2015).** Singh, and biotechnology, Biosynthesized silver nanoparticles as a nanoweapon against phytopathogens: exploring their scope and potential in agriculture. *Appl Microbiol Biotechnol*, 99(3) : p. 1097-1107.

N

46. **Nasrollahzadeh M, Mahmoudi-Gom Y, Motahharifar N, et al. (2019).** Recent Developments in the Plant-Mediated Green Synthesis of Ag-Based Nanoparticles for Environmental and Catalytic Applications.

47. **Nasrollahzadeh M, Sajadi S, Irvani S, Varma S. (2019).** Green synthesis of metal nanoparticles using plants. *Green Chemistry*, 21(7), 1446-1459.

P

48. **Park Y, Ikegaki M. (1998).** Preparation of water and ethanolic extracts of propolis and evaluation of the preparations. *Biosci Biotech Bioch*, 62(11) :2230-2232.

Q

49. **Quezel P, Santa S. (1963).** Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. Edition du Centre National de la Recherche Scientifique, Paris. Tome I, pp. 925, 956- 957.

R

50. **Rajeshkumar S, Bharath L.V. (2017).** Mechanism of plant-mediated synthesis of silver nanoparticles – A review on biomolecules involved, characterisation and antibacterial activity. *Chemico-Biological Interactions Journal*. doi.org/10.1016/j.cbi.2017.06.019.
51. **Rates S. (2001).** Plants as source of drugs. *Toxicon*, 39(5), 603–613.
52. **Re R, Pellegrini N, Proteggente A et al. (1999).** Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26(9-10), 1231-1237.
53. **Remédios C, Rosário F, Bastos V. (2012).** Environmental Nanoparticles Interactions with Plants : Morphological, Physiological, and Genotoxic Aspects. *Journal of Botany*, 2012, 1-8.
54. **Reveal J. (2011).** *Indices Nominum Supragenericorum Plantarum Vascularium*. Smithsonian Institution. <http://www.plantsystematics.org/reveal/pbio/fam/allspgnames.html>.
55. **Rouillac C. (2009).** Synthèse et évaluation de nouveaux composés organiques et phosphorés contre les effets des rayonnements ionisants. Etude de leur mécanisme d'action in vitro. Thèse de Doctorat, Université Paul Sabatier Toulouse III.
56. **Ruttkay-nedecký B, Dočekalová M, Hosnedlová B, et al. (2018).** Antioxidant activity of silver nanoparticles prepared by green synthesis.

S

57. **Sanchez C, et al. (2005).** "Applications of hybrid organic–inorganic nanocomposites." *Journal of Materials Chemistry*, 15(35–36), 3559–3592.
58. **Sang H, Jun B. (2019).** Silver Nanoparticles: Synthesis and Application for Nanomedicine. *Int. J. Mol. Sci.* ; 20 : 865. doi :10.3390/ijms20040865.

59. **Shankar S, Ahmad A, Sastry M. (2003).** Geranium leaf assisted biosynthesis of silver nanoparticles. *Biotechnology progress*, 19(6), pp.1627-1631.
60. **Sharma G, Ju-Suk N, Ashish R.S, et al., (2018).** Antimicrobial Potential of Silver Nanoparticles Synthesized Using Medicinal Herb *Coptidis rhizome*. *Journal of Molecules*. ; 23 ;2268. doi :10.3390/molecules23092268.
61. **Sperotto J S, Bialeski N, Savegnago L, Heinzmann B M, Kapnikowski M G O et BaldisserottoB. (2002).** Effect on Gastrointestinal Propulsion and preliminary phytochemical analysis of *Aster Squamatus (Asteraceae)*. *Acta farm. Bonaerense*, 21 (4), 279- 282. *Universite Mohammed V faculte de Medecine et de Pharmacie*, 48-51p.
62. **Stark W et al. (2015).** "Industrial applications of metal oxide nanoparticles." *Chemical Society Reviews*, 44(16), 5793–5805.
63. **Syafiuddin A, Salim M, Beng Hong Kueh A, et al. (2017).** A review of silver nanoparticles: research trends, global consumption, synthesis, properties, and future challenges. *Journal of the Chinese Chemical Society*, 64(7), 732-756.
64. **Szydlowska-Czerniaka A, Dianoczki C, Recseg K, et al. (2008).** Determination of antioxidant capacities of vegetable oils by ferric-ion spectrophotometric methods. *Talanta*, 76.

T

65. **Torchilin V. (2005).** "Recent advances with liposomes as pharmaceutical carriers." *Nature Reviews Drug Discovery*, 4(2), 145–160.
66. **Tran Q, Nguyen V, et al. (2013).** Silver nanoparticles: synthesis, properties, toxicology, applications and perspectives.

Y

67. **Yusuf M. (2019).** Silver Nanoparticles: Synthesis and Applications. *Handbook of Ecomaterials*, pp.2343-2356.

Z

68. **Zhang X, Liu Z, Shen W, et al., (2016).** Silver Nanoparticles: Synthesis, Characterization, Properties, Applications, and Therapeutic Approaches. *Int. J. Mol. Sci.* ; 17 : 1534 ; doi :10.3390/ijms17091534.
69. **Zidorn C. (2016).** Altitudinal variation of secondary metabolites in flowering heads of the *Asteraceae*: Trends and causes. *Phytochemistry Reviews*, 15(5), 825–848.
70. **Zimmer A, Biswas P. (2001).** Characterization of the aerosols resulting from arc welding processes. *Journal of Aerosol Science*, 32, 993-1008.