



République algérienne démocratique et populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université ECHAHID HAMMA LAKHDAR d'EL-Oued

Faculté des sciences de la nature et de la vie

Département de biologie cellulaire et moléculaire

Mémoire De Fin D'étude

En vue de l'obtention du diplôme de Master Académique

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Biochimie appliquée

THEME

*Étude phytochimique et évaluation
de l'activités biologiques de
*Atractylis delicatula**

Présenté par :

M^{elle}. FEDEL WAFA

M^{elle}. HADJADJ FATMA ZOHRA

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Affiliation	Rôle
MEHELLOU Zineb	MCB	Université D' El-Oued	Présidente
Zemmouli Noual	/	Université D' El-Oued	/
MEKHADEMI Nour El-Houda	MCA	Université D' El-Oued	Promotrice
OTMANI hadjer	MCB	Université D' El-Oued	Examinatrice

Année universitaire :2024/2025

Remerciements

Au nom de Dieu, le Tout Miséricordieux, le Très Miséricordieux, et que la paix et les bénédictions de Dieu soient sur Son Prophète Muhammad.

A la fin de ce travail, nous sommes heureux avant tout de remercier Dieu Tout-Puissant de nous avoir donné la force et la patience pour achever ce travail. À nos chers parents qui, depuis notre naissance, ont toujours fait de leur mieux pour que nous soyons là. Pour leur volonté de nous enseigner le sens de la persévérance, ainsi que pour leur inspiration courageuse. Je tiens également à remercier les nombreuses personnes qui m'ont aidé et soutenu au cours de ces cinq années. Je tiens à remercier mon directeur de thèse, **Dr. MEKHADEMI Nour El Houda** à la Faculté des Sciences Naturelles et de la Vie de l'Université Martyr Hama Lakhdar. Nous sommes très heureux d'exprimer notre profonde gratitude pour nous avoir honorés en nous guidant dans la poursuite de ce travail. Pour l'attention que vous avez portée à ce mémoire, pour ses conseils et sa rigueur dans le travail. Nous sommes honorés de pouvoir compter sur ses connaissances et son expérience qui, par ses qualités humaines, resteront pour nous un modèle.

Nous exprimons nos remerciements et notre gratitude à **M^{elle}. ZEMMOULI Naoual** pour ses conseils et son accompagnement. Nous adressons également nos remerciements à tous les enseignants et à tous les responsables de la Faculté de Science de la nature et de la Vie de l'Université du Martyr Hama Lakhdar.

Enfin, un grand merci à tous mes professeurs et amis pour avoir rendu ma vie plus intéressante. Je n'oublierai pas les étudiants et collègues de la deuxième année du Master en Biochimie Appliquée 2024-2025. Je tiens à remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de cet ouvrage. Vous trouverez ici mes sincères remerciements.

Merci à tous !

Dédicaces

بسم الله الرحمن الرحيم والحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على آخر الأنبياء والمرسلين رسول الله محمد وعلى إله وصحبه ومن تبعهم بإحسان إلى يوم الدين أجمعين.
أما بعد: فإني أحمد الله جل وعلا على ما أتاني من فضله

لحظة لظالمات انتظرتها وحلمت بها وأخيرا عانقت حلمي الجميل فالحمد لله أكملت مسيرتي الجامعية اهدي تخرجي إلى من كلمه الله بالهبة والوفاء إلى من احمل اسمه بكل افتخار إلى النور الذي أثار دري والسراج الذي لا يطفئ نوره أبدا والذي بذل جهد السنين من أجلي أن اعطني سلام النجاة والدي العزيز «

أدامك الله ورعاك لتكون منارة دائمة في حياتي.

إلى من أفضله على نفسي إلى ملاكي في الحياة إلى معنى الحب ومعنى العنان والتفاني إلى من كان دعائها سر نجاتي التي ضحت من أجلي ولم تدخر جهدا في سبيل إسعادي على الدوام» أمي الحبيبة «

إلى أغلي ما املك في هذه الدنيا زهراتي أخوتي هناء، أمينة، نور اليقين « إلى قرة عيني ومصدر فخري أختي « أنور »

إلى رفقاء الدرب اللذين شاركوني رحلة العلم والمعرفة إلى من جعلوا مسيرة الدراسة ذكرى لا تنسى حياة، بشري، نوره أميرة سميرة وصال، فتحة، فاطمة، إيمان، وسام
شكرا لكم من القلب واهدي هذه الانجازات لكم.

إلى الأقارب اللذين وقفوا إلى جانبي فأمنياتهم اللطيفة لي بالنجاح ودعهم وتشجيعهم مكنتني اجتياز مرحلة من مراحل حياتي فلکم جزيل الشكر.

إلى من أنارت قلبي بنور القرآن إلى معلمتي الغالية « سهام » ادعوا الله إن يجعل كل حرف علمتيهن نورا لك في الدنيا والآخرة وان يجزيك عنى وعن كل من تعلم على يديك خير الجزاء.

إلى كل هؤلاء اهدي عملي المتواضع راجية من الله إن تكون نافذة علم وان ينفعنا وينفع بنا

« فضل وفاء »

À ma précieuse famille,

À ma chère mère et mon cher père, dont l'amour, le soutien et les prières ont été mon plus grand pilier tout au long de ce parcours académique.

À mes merveilleux frères et sœurs, **Takoua Asma, Abdul-Hakim, Muhammad et Abdul-Aziz**, qui ont toujours cru en moi, m'ont encouragée et m'ont donné la force d'avancer avec confiance.

À vous tous, qui êtes les étoiles qui illuminent mon chemin, je vous dédie humblement ce travail, fruit de mes efforts et de votre présence bienveillante.

Fatma Zohra Hadjadj

Résumé

Ce travail vise à étudier la composition photochimique et à évaluer les activités biologiques de *Atractylis delicatula*, une plante médicinale peu exploitée en Algérie. Un extrait aqueux a été préparé par décoction, et l'analyse phytochimique a révélé la présence de plusieurs composés bioactifs : polyphénols, flavonoïdes, tanins, alcaloïdes, saponines et terpènes, avec l'absence de composés réducteurs.

Sur la base de cet extrait, une synthèse verte d'un nanocomposite ZnO/Se-AgO a été réalisée. Ce dernier a été caractérisé à l'aide de plusieurs techniques analytiques, notamment la spectroscopie UV-Vis, l'infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) et la diffraction des rayons X (DRX).

Les activités biologiques de l'extrait brut et du nanocomposite ont été comparées : activité antioxydante (tests DPPH, FRAP, TAC), anti-inflammatoire et antibactérienne. Les résultats ont montré une meilleure activité antioxydante de l'extrait dans le test DPPH, tandis que le nanocomposite a montré une efficacité supérieure dans les tests FRAP et au phosphomolybdate (TAC). L'extrait a présenté une activité anti-inflammatoire significative, alors qu'aucun effet clair n'a été observé pour le nanocomposite. Par ailleurs, ce dernier a démontré une forte activité antibactérienne, notamment contre *Staphylococcus aureus*, avec une efficacité comparable à celle de l'amoxicilline.

Ces résultats suggèrent un fort potentiel médicinal et nanotechnologique pour *Atractylis delicatula*, que ce soit sous forme brute ou nanostructurée.

Mots-clés : *Atractylis delicatula*, synthèse verte, ZnO/Se-AgO NPs, phytochimie, activités biologiques.

Abstract

This study focuses on the phytochemical investigation and biological activity evaluation of *Atractylis delicatula*, a medicinal plant that remains largely unexplored in Algeria. An aqueous extract was prepared using decoction, and phytochemical screening revealed the presence of active compounds such as polyphenols, flavonoids, tannins, alkaloids, saponins, and terpenes, with the absence of reducing agents.

Based on this extract, a green synthesis of a ZnO/Se-AgO nanocomposite was carried out. The resulting nanomaterial was characterized using various analytical techniques, including UV-Vis spectroscopy,

Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR), and X-ray diffraction (XRD).

The biological activities of both the crude extract and the nanocomposite were evaluated and compared, including antioxidant (DPPH, FRAP, TAC), anti-inflammatory, and antibacterial activities. The extract demonstrated greater antioxidant activity in the DPPH test, whereas the nanocomposite outperformed in the FRAP and phosphomolybdate (TAC) assays. A significant anti-inflammatory effect was observed for the extract, while no notable activity was found for the nanocomposite. On the other hand, the nanocomposite showed strong antibacterial activity, particularly against *Staphylococcus aureus*, with a performance comparable to amoxicillin.

These findings highlight the promising medicinal and nanotechnological potential of *Atractylis delicatula*, both in its natural and nanostructured forms.

Keywords: *Atractylis delicatula*, green synthesis, ZnO/Se-AgO NPs, phytochemistry, biological activities.

المخلص

يهدف هذا العمل إلى دراسة التركيب الكيميائي النباتي والتقييم البيولوجي لنبات *Atractylis delicatula*، وهو نبات طبي نادر الاستخدام في الجزائر. تم تحضير مستخلص مائي عن طريق طريقة الغلي (الديكوكسيون)، وكشفت التحاليل الكيميائية الأولية عن وجود مركبات فيتوكيماوية نشطة تشمل البوليفينولات، الفلافونويدات، التانينات، القلويدات، الصابونين والتربينات، مع غياب المركبات المختزلة.

اعتمادًا على هذا المستخلص، تم إجراء تخليق أخضر لنانوتركيب مركب من ZnO/Se-AgO، وتمت دراسته باستخدام تقنيات تحليلية متعددة مثل المطيافية فوق البنفسجية المرئية (UV-Vis)، مطيافية الأشعة تحت الحمراء (FTIR)، وتقنية حيود الأشعة السينية (XRD) لتحديد البنية والخصائص الفيزيائية.

شملت الدراسة البيولوجية مقارنة بين فعالية المستخلص الخام والنانوتركيب من حيث النشاطات المضادة للأوكسدة (DPPH، FRAP، والقدرة الكلية المضادة للأوكسدة TAC)، المضادة للالتهاب، والمضادة للبكتيريا. أظهرت النتائج أن المستخلص يتميز بفعالية عالية في اختبار DPPH، بينما تفوق النانوتركيب في اختبائي FRAP والفسفوموليبيدات (TAC). كذلك، أظهر المستخلص نشاطًا مضادًا للالتهاب ملحوظًا، في حين لم يُسجَل للنانوتركيب تأثير واضح في هذا المجال. أما فيما يخص النشاط المضاد للبكتيريا، فقد أظهر النانوتركيب فعالية قوية، خاصة ضد *Staphylococcus aureus*، حيث كانت قابليته للمكافحة قريبة من فعالية المضاد الحيوي أموكسيسيلين.

تشير هذه النتائج إلى أن *Atractylis delicatula* يمتلك إمكانات واعدة في المجالات الطبية والصيدلانية، سواء من خلال استخدام مستخلصاته النباتية أو من خلال تطبيقاته النانوية المتقدمة.

الكلمات المفتاحية: *Atractylis delicatula*، تخليق أخضر، ZnO/Se-AgO NPs، نشاطات بيولوجية، فيتوكيمياء

Liste des Figures

Fig.N° :	Titre	Page
1	Distribution de la famille des Astéracées dans le monde	18
2	Caractères des Asteraceae	20
3	<i>Atractylisdelicatula</i> Batt	21
4	Structure des alcaloïdes	25
5	Structure générale des saponines	27
6	Echelle comparative des nanoparticules	30
7	Différentes méthodes de synthèse des nanoparticules	31
8	Production de nanoparticules à partir d'extraits végétaux	35
9	Une méthode pour synthèse de nanoparticules par l'extrait des plantes	35
10	Carte géographique de l'Algérie montrant la zone de récolte de plante étudiée Ghardaïa	40
11	Réaction entre le DPPH et les composés antioxydants pour former le DPPH	47
12	Mécanisme réactionnel intervenant lors du test FRAP entre le complexe tripyridyltriazineferrique Fe (III)- TPTZ et un antioxydant (AH)	49
13	Principe de la méthode de la diffusion sur disque	52
14	Content des polyphénols totaux et flavonoïdes totaux	57
15	Spectre d'absorption UV-VIS de EAQ-AD et ZnO/Se-AgoNPs	59
16	Spectre XRD des nano-composites préparées ZnO/Se-AgONPs	60
17	Spectre Infra-rouge des nano-composites préparées ZnO/Se-AgONPs	61
18	Courbe représentant l'activité antioxydant des extraite aqueux d' <i>A.délicatula</i> et nano composite ZnO/Se-Ago (test DPPH)	63
19	Absorption d'extrait aqueux et de nano composite comparée à l'acide ascorbique par le teste de pouvoir réducteur FRAP	66
20	Résultats de l'Activité Antioxydante Totale de L'extrait EAQ-AD et des nanocomposites ZnO/Se-Ago-NPs	67
21	Comparaison du pourcentage d'inhibition (%) de dénaturation du BSA entre EAQ-AD et le Paracétamol (500mg) à différentes concentrations.	68

Liste des Tableaux

Tableau N° :	Titre	Page
1	Propriétés des nanoparticules	32
2	Différents domaines d'applications des nanoparticules	33
3	Rendement de l'extrait brut d' <i>A.délicatula</i>	33
4	Résultats Du criblage Phytochimique Réalisé Sur <i>A.délicatula</i>	56
5	Valeurs d IC50 pour l'activité antioxydante de L'extrait aqueux d' <i>A. délicatula</i> et nano composites biosynthétisées (test DPPH)	62
6	Valeurs EC50 de différentes substances dans le test FRAP	64
7	Résultats de l'Activité Antioxydante Totale de L'extrait et Nanocomposites	66
8	Résultats de test anti-inflammatoire de l'extrait des nanocomposites.	68
9	Diamètres d'inhibition (mm) Activité antibactérienne de l'extrait aqueux de plante <i>A. délicatula</i> et des nanocomposites ZnO/Se-AgO.	69

Liste des abréviations

AMX	Amoxicilline
AgO	Oxide d'argent
ATCC	American Type Culture Collection
CAT	Capacité Antioxydante Totale
DPPH	(2,2 Diphényl-1-Picrylhydrazyl)
DRX	Diffraction Des Rayons X
DMSO	Diméthyle Sulfoxyde
EAQ-AD	Extrait Aqueux De <i>Atractylis Délicatula</i>
EC50(CI50)	Concentration Inhibitrice a 50 %
FT-IR	Fourier Transmission Infra-Red
FRAP	Ferric Reducing Antioxidant Power
FECL₃	Chloride De Fer
FE	Fer
IC50	Concentration inhibitrice de 50%
GEM	Gentamicine
K3FE (CN)	Potassium Ferricyanide
MH	Mueller Hinton
ND	Non Déterminé
Nm	Nanometre
NPs	Nanoparticules
Se	Sélénium
UFC	Unité Formant Colonie
UV	Ultraviolet
UV-VIS	Ultraviolet Visible Spectrophotomètre
Zn	Zinc
ZnO	Oxyde De Zinc

Sommaire

N	Titre	Pages
	Remerciements	
	Dédicaces	
	Résume/ Abstract/ الملخص	
	Sommaire	
	Liste des Figures	
	Liste des Tableaux	
	Liste des Abréviations	
	Introduction Générale	
	Chapitre I: Synthèse bibliographique	
I.1.	Famille des Astéracées	18
I.1.1	Caractéristiques morphologiques des Asteraceae	18
I.2	<i>Atractylis délicate</i>	20
I.2.1.	Utilisations traditionnelles du genre <i>Atractylis</i>	21
I.3.1.	Description morphologique détaillée de <i>Atractylis délicate</i>	23
I. 3	Les métabolites secondaires	23
I.1.3.1	Les alcaloïdes	23
I.1.3.2	Flavonoïdes	25
I.1.3.3	Saponines	27
I.1.3. 4	Tannins	27
I.1.3. 4.1	Tanins hydrolysables	28
I.1.3. 4.1	Tanins condensés	28
I.1.3. 5	Terpénoïdes	28
I.4.	Nanoscience et Nanotechnologie	29
I.4.1	Nanomatériaux	29
I.4.2	Nanoparticules	30
I.4.2.1	Propriétés des nanoparticules	31
I.4.2.2	Application Des Nanoparticules	31

I.4.3	Synthèse verte à partir des plantes	34
I.4.4. 1	L'oxyde de zinc ZnO-NPs	36
I.4.4.1	Applications de ZnO	36
I.4.5	Oxyde d'argent ou Nanoparticule d'argent	37
I.4.5.1	Applications des nanoparticules d'argent	37
I.4.6	Sélénium	37
I.4.6.1	L'importance du sélénium en tant qu'antioxydant	37
Chapitre II: Matériels et Methodes		
II.1.	Présentation de la zone d'étude de Ghardaïa	40
II.2.	Matériels	40
II.2.1	Récolte et partie étudiée	40
II.3	L'importance d'étudier <i>Atractylisdelicatula</i>	41
II.3.2	Préparation de l'extrait aqueux par décoction	41
II.3.3.	Calcul du rendement d'extraction	42
II.3.4.	Screening phytochimique	42
II.3.4.1	Test des polyphénols	42
II.3.4.2	Test des flavonoïdes	42
II.3.4.3.	Test des tannins	43
II.3.4.4.	Test des sucres réducteurs	43
II.3.4.5.	Test des alcaloïdes	43
II.3.4.6	Test des saponosides	43
II.3.4.7.	Test des terpenoïdes	43
II.3.5..	Dosage des composées phytochimique	43
II.3.5.1.	Dosage des polyphénols totaux (PPT)	43
II.3.5.2.	Dosage des flavonoïdes Totaux (FVT)	44
II.3.6	Synthèse de nanocomposites ZnO/Se-AgO	45
II.3.6.1	Synthèse verte des NPs d'oxyde de zinc à partir de l'extrait aqueux d' <i>Atractylisdelicatula</i> (EAQ-A D)	45
II.3.6.2	Synthèse des Sélénium-Silver Oxides NPs	45
II.3.6.3	Caractérisation des Nano-composites ZnO/Se-AgO	46
II.3.7.	Evaluation de l'activité antioxydante	47
II.3.7.1.	Réduction du radical 1,1'-diphényle-2-picrylhydrazyle (DPPH)	47

II.3.7. 2	Puissance de l'activité de la réduction ferrique (FRAP)	48
II.3.7.3.	Évaluation de la capacité antioxydante totale (TAC)	49
II.3.8.	L'activité anti-inflammatoire <i>in vitro</i>	50
II.3.9	Activité antibactérienne de l'extrait aqueux et Nano-composites ZnO/Se- AgO	51
Conclusion Générale		53
Référencés Bibliographiques		
Annexes		

Introduction Générale

Depuis l'Antiquité, les plantes médicinales jouent un rôle essentiel dans les soins de santé (Venkatasai et al., 2025). Elles ont constitué la principale source de traitement, de guérison et de soulagement des symptômes de nombreuses affections (Ngezahayo et al., 2025). Parmi la diversité des espèces végétales, ces plantes occupent une place centrale dans la santé et la culture humaines, et leur importance perdure jusqu'à aujourd'hui. En effet, l'Organisation mondiale de la santé estime que les deux tiers de la population mondiale dépendent encore des plantes médicinales pour les soins de santé primaires. De plus, un quart des nouveaux médicaments commercialisés dans le monde repose sur des molécules dérivées de plantes (Bennur et al., 2025).

Avec plus de 35 000 espèces de plantes médicinales identifiées, leur potentiel thérapeutique reste sous-exploité (Bennur et al., 2025). Ces plantes constituent une vaste réserve de composés biologiquement actifs (RAINA et al., 2014), notamment les métabolites secondaires les flavonoïdes, les tanins, les stéroïdes, les saponines et les alcaloïdes, qui jouent un rôle clé dans leurs propriétés thérapeutiques. Leur importance réside non seulement dans la richesse de leur diversité chimique, mais également dans leurs effets polyvalents. Par exemple, elles agissent antioxydants pour protéger les cellules contre le stress oxydatif ou comme agents anti-inflammatoires pour apaiser les réponses immunitaires excessives (Asiminicesei et al., 2024).

Ces propriétés uniques des plantes médicinales coïncident parfaitement avec les avancées dans le domaine des nanotechnologies. En effet, le développement de la nanoscience a ouvert de nouvelles perspectives thérapeutiques, en exploitant les propriétés biologiques des plantes pour concevoir des nanoparticules innovantes. En manipulant des matériaux à l'échelle nanométrique (1-100 nm), notamment des matériaux d'origine végétale, chimique ou microbienne, il est possible de créer des nanoparticules aux caractéristiques spécifiques, adaptées à des applications biomédicales, le traitement des maladies infectieuses (Puja et al., 2023).

Les approches par biosynthèse présentent alors de nombreux avantages par rapport aux méthodes de synthèse classiques puisqu'elles intègrent des matériaux accessibles, une biodiversité variée et des processus respectueux de l'environnement. De plus, la synthèse verte utilisant des extraits de plantes est une méthode rapide et économique pour la création de

nanomatériaux. La nanotechnologie verte a permis la production d'une large gamme de nanoparticules, y compris des métaux verts, des oxydes métalliques et des nanoparticules bimétalliques, de tailles, de formes et de compositions chimiques différentes (Zemmouli et al., 2024)

Les plantes médicinales, riches en métabolites actifs, se révèlent ainsi être une ressource précieuse pour la synthèse écologique de nanoparticules métalliques. Cette convergence entre les propriétés thérapeutiques des plantes et les technologies de pointe en nanoscience pourrait révolutionner les approches de traitement médical, en offrant des solutions à la fois innovantes, efficaces et respectueuses de l'environnement (Puja et al., 2023)

L'Algérie se distingue par une richesse remarquable en espèces végétales, accompagnée d'une tradition ancienne d'utilisation des ressources naturelles. Le choix de la plante *Atractylis delicatula* repose sur l'absence d'études approfondies antérieures. Cette étude vise à évaluer l'efficacité biologique des extraits de cette plante ainsi que leur utilisation en nanotechnologie, en comparaison avec les méthodes conventionnelles. Elle analysera également les propriétés physico-chimiques des nanoparticules afin d'améliorer leurs applications thérapeutiques et environnementales.

Ce travail est réparti en trois parties complémentaires :

- La première partie est une revue bibliographique qui expose les bases théoriques nécessaires à la compréhension des métabolites secondaires et de leurs activités biologiques.
- La deuxième partie présente les matériaux, les méthodes expérimentales utilisées, ainsi que la préparation des extraits et la synthèse des nanocomposites.
- Enfin, la troisième partie est consacrée à la présentation, l'analyse et la discussion des résultats obtenus, mettant en lumière les implications scientifiques et les perspectives d'application.

Chapitre I: Synthèse bibliographique

I.1. Famille des Astéracées

Les Asteraceae, ou Compositae, représentent un segment stratégique de notre portefeuille de familles de plantes à fleurs. Avec un total estimé à environ 30 000 espèces, réparties dans environ 1 600 à 1 700 genres, cette famille détient le record du plus grand nombre d'espèces parmi l'ensemble des familles de plantes. Cette diversité exceptionnelle positionne les Asteraceae comme un acteur majeur et incontournable dans le secteur floristique, avec une représentation d'environ 10 % des espèces de plantes à fleurs (Abid, 2023). Ces plantes sont largement répandues dans les régions tempérées, subtropicales et tropicales, notamment dans les zones montagneuses, démontrant ainsi leur adaptabilité et leur résilience (kendill ,2020).

Les astéracées, quant à elles, ont une présence globale, avec une absence notable seulement dans l'Antarctique. Elles sont particulièrement diversifiées dans les régions sèches, comme le bassin méditerranéen, l'Afrique du Sud, le Mexique, l'Amérique du Sud et le sud-ouest des Etats-Unis (ben bouziane et al ;2016).

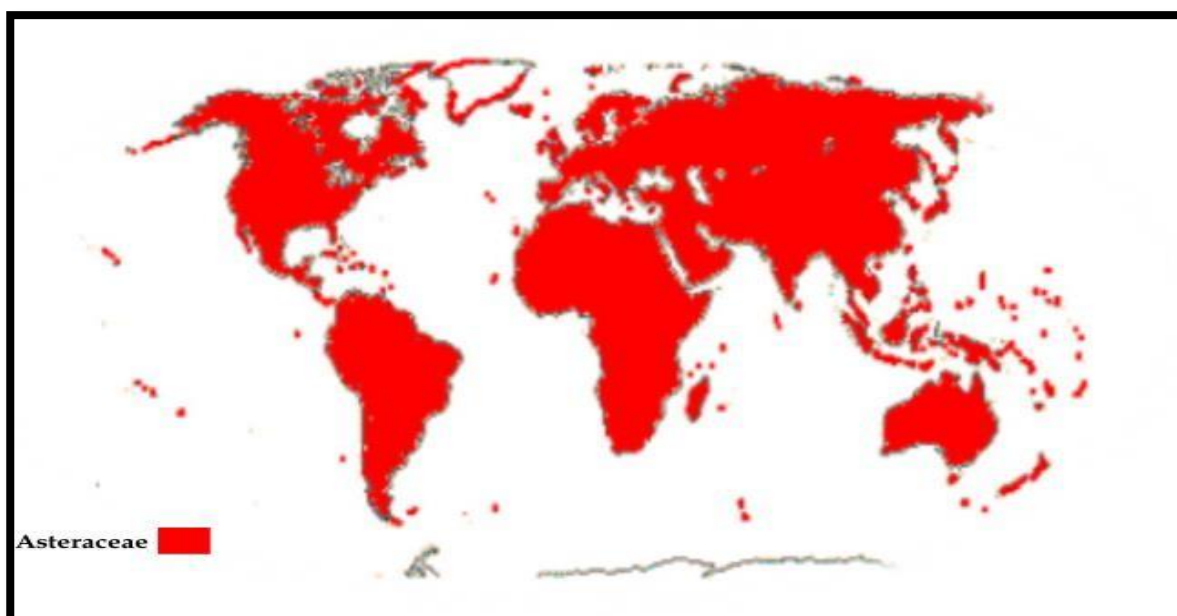


Figure 1 : Distribution de la famille des Astéracées dans le monde (Filleul, ,2019).

I.1.1. Caractéristiques morphologiques des Asteraceae

La diversité morphologique des plantes de la famille des Asteraceae est un atout majeur pour notre entreprise. Certaines espèces peuvent atteindre plus de 30 mètres de hauteur, tandis que

d'autres se présentent sous la forme d'arbustes, à l'instar du « rabbit brush » ou des « rosette-trees ». La majorité des espèces sont des herbacées annuelles ou vivaces, avec une hauteur de croissance variant entre un et trois mètres (Bohm, B.A et al,2001).

La classification de cette famille s'articule autour de 12 sous-familles et 43 tribus. Ces sous-familles incluent Barnadesioideae, Stifftioideae, Mutisioideae, Wunderlichioideae, Gchnatioideae, Hecastocleidoideae, Carduoideae, Pertyoideae, Gymnarrhenioideae, Cichorioideae, Corymbioideae et Asteroideae(Paneroet Funk,2008 ; Baldwin et al., 2002). Parmi ces sous-familles, la tribu des Cardueae se distingue par sa vaste portée, comptant environ 2 400 espèces réparties en 73 genres et quatre sous-tribus : Echinopsinae, Carlininae, Carduinae et Centaureinae (Susanna, A. and N. Garcia-jacas,2009).

Les lactones sesquiterpéniques sont l'un des principaux groupes de composés de cette famille. En outre, cette famille renferme une diversité de composants phytochimiques, incluant des huiles essentielles, des lignanes, des saponines, des flavonoïdes, des composés polyphénoliques, des acides phénoliques, des stérols et des polysaccharides(Rolnik, et Olas,2021).

Les effets thérapeutiques des plantes appartenant à cette famille sont souvent associés à la présence de métabolites secondaires. L'artémisinine, une lactone sesquiterpénique aux propriétés antipaludiques, extraite d'*Artemisia annua*, est un exemple bien connu de métabolite secondaire aux effets thérapeutiques avérés. Les Asteraceae, avec leurs multiples propriétés médicinales, offrent un potentiel thérapeutique remarquable, notamment dans le cadre du traitement du cancer, de l'immunosuppression, de l'antioxydation, de l'anti- acétylcholinestérase, des infections, des ulcères, des inflammations et du diabète(Abid, 2023).

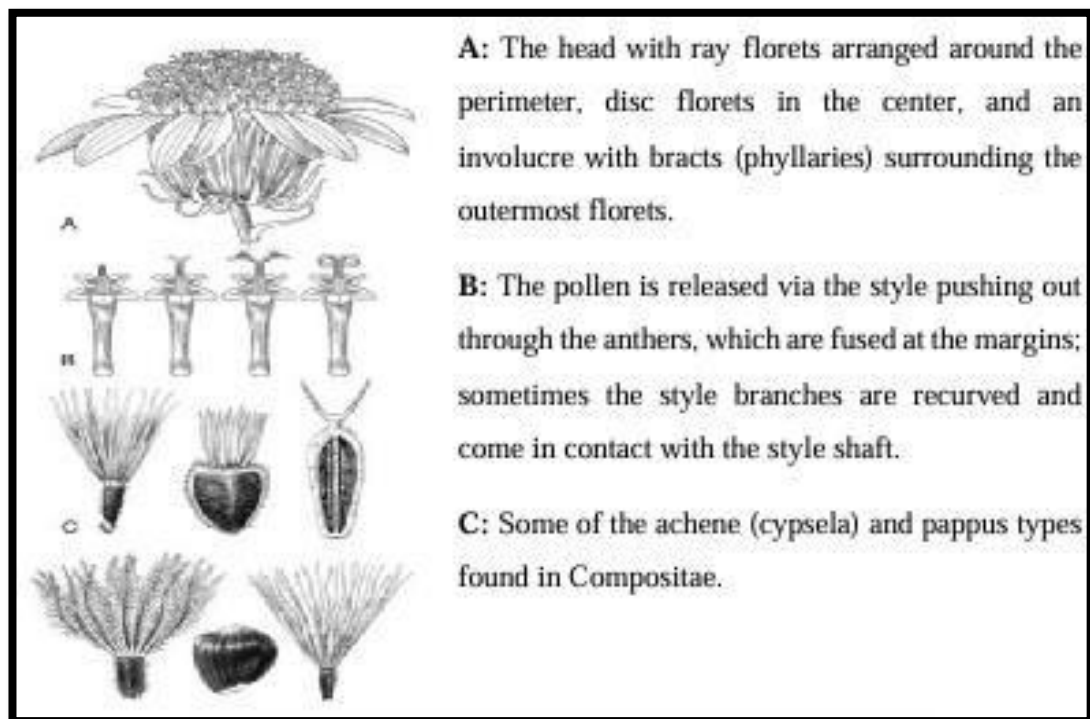


Figure2 : Caractères des Asteraceae (Paneroetal.,2003).

1.2. *Atractylis delicatula*

Le genre *Atractylus* appartient à la famille des Astéracées. Il comprend une trentaine d'espèces qui sont présentes sur les rivages et les îles de la Méditerranée. Parmi ces espèces, au moins seize sont présentes en Algérie. Parmi ces espèces, *Atractylus gummifera* se distingue par sa large distribution géographique et sa capacité à former souvent des populations denses (Benbouziane et Beneddra, 2016). C'est une plante vivace mesurant entre 20 et 30 cm de hauteur, avec une tige étalée à la base et des feuilles inférieures.

- **Les feuilles** sont toutes très épineuses, dotées d'épines d'un rouge vermillon éclatant.
- **Les fleurs** sont de couleur blanc-rosé. un genre de plantes très épineuses à forte valeur ajoutée (Chehma ,2006).

L'Atractylis delicatula, une espèce appartenant à la famille des Asteraceae, se distingue par son apparence particulière qui en fait un sujet d'étude intéressant pour les botanistes et les chercheurs. Cette plante, originaire des zones arides et montagneuses du bassin méditerranéen, se caractérise par son adaptation écologique aux conditions défavorables, mettant en évidence la diversité morphologique observable dans les phases de développement

Végétatif. Ses feuilles, lancéolées et enroulées avec des épines, représentent une stratégie défensive contre les herbivores, tandis que sa tige dressée et robuste lui confère une résistance aux intempéries. En explorant le contexte écologique d'*Atractylis delicatula*, on peut observer son interaction avec le sol environnant ainsi qu'avec d'autres espèces végétales, contribuant ainsi à une meilleure compréhension de l'écosystème méditerranéen(Paneroetal.,2003).

- Nom Scientifique : *Atractylis delicatula* Batt. & Chevallier
- Nom vernaculaire arabe : Sag Loghrab
- Habitat : Sols pierreux peu ensablés, lits d'oueds et dépressions.
- Répartition : Assez répandue dans le Sahara septentrional algérien.
- Période de végétation : Floraison en avril.

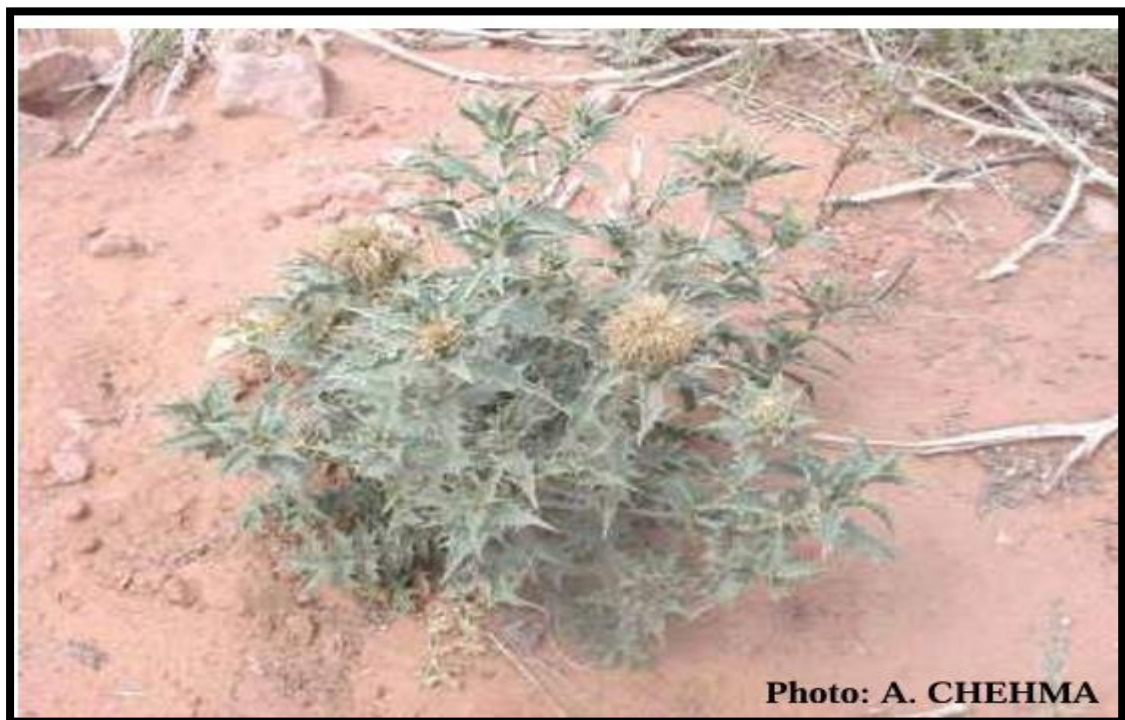


Figure 3 : *Atractylis delicatula* Batt (Chehma,2006).

1.2.1. Utilisations traditionnelles du genre *Atractylis*

Selon El Rhaffari et Zaid (2002), les utilisations traditionnelles des quatre espèces du genre *Atractylis* sont les suivantes : *A. serratuloides*, *A. delicatula*, *A. flava* et *A. babeli*. Ces plantes sont recommandées sous forme de décoction pour le traitement des diurétiques, de la

cholélithiase, des troubles circulatoires, ainsi que de l'hépatite(El-rhaffariet Azaid.,2002)Il a également été rapporté que *Atractylis lancea* est utilisée dans la médecine traditionnelle pour traiter les problèmes gastriques et intestinaux, ainsi que pour améliorer la santé gastro-intestinale(cheml et al.,2013) (GUOet al., 2013)*Atractylis gummifera* est employé dans le traitement des parasites intestinaux, des ulcères et des morsures de serpent. Elle est également recommandée sous forme de décoction ou de cataplasme pour ses effets diurétiques, dermatologiques, antipyrétiques et purgatifs, ainsi que pour le traitement de la syphilis(Ahiet *al.*, 2012).La décoction des tiges et des feuilles de la plante *Atractylis cancellata* est également utilisée en médecine populaire pour le traitement des maladies dermatologiques (Najem et al., 2018).

Le genre *Atractylis* fait l'objet de peu d'études biologiques. Cependant, des recherches sont en cours sur les espèces suivantes : ***Atractylis carduus* (*Atractylis flava*)**

Une étude biologique sur la plante ***Atractylis carduus*** poussant en Égypte a révélé que les extraits méthanoliques et hexaniques des parties aériennes de cette espèce présentent une activité antibactérienne remarquable (Rahman SMA et al ;2018).Une autre étude a indiqué que les extraits d'acétate d'éthyle et de n-butanol, préparés à partir de la plante entière *Atractylis flava*, présentent de fortes activités antioxydantes. L'extrait n-BuOH d'*Atractylis flava* a démontré un effet cytotoxique significatif contre la lignée cellulaire cancéreuse THP-1. (Akram et al.2019). Cet extrait a également révélé des activités antidiabétiques in vitro, en inhibant les enzymes α -amylase et α -glucosidase (Melekhessou , 2021),ainsi que des effets anti-inflammatoires, antipyrétiques et de toxicité aiguë in vivo(Akram et al., 2018).Une récente étude a révélé que l'extrait d'acétate d'éthyle des parties aériennes de la plante ***Atractylis serratuloides***, originaire de Tunisie, présente une activité antibactérienne contre les souches de *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli* et *Salmonella enterica* (BouazizM et al. ;2009).

Atractylis lancea : une analyse approfondie de cette plante a révélé que l'extrait éthanolique est capable d'induire l'apoptose et de restreindre la prolifération cellulaire, ce qui pourrait s'avérer bénéfique dans le traitement du cancer. Les composants clés de *Atractylis lancea* induisent l'apoptose et réduisent la prolifération des cellules cancéreuses du poumon (Guo et al., 2013).

1.1.3. Description morphologique détaillée de *Atractylis delicatula*

Atractylis delicatula Batt. Ex L. Chevall. Il s'agit d'une plante annuelle épineuse mesurant de 5 à 25 cm de haut, dressée ou en touffe. Elle se caractérise par des tiges fines, de couleur blanche, recouvertes d'un court capuchon cotonneux, souvent ramifiées à la base, ainsi que par des branches se terminant par des capitules individuels. Les feuilles, coriaces, vert pâle, avec une base lâche, mesurent de 15 à 35 mm de long sur 3 à 6 mm de large. Elles sont couvertes de poils courts et fins, avec 3 à 4 paires de lobes aigus sur les bords, qui sont bifides, avec une épine centrale de 2 à 3 mm de long. Toutes les épines sont de couleur rouge- orange, avec la base recouverte de coton au stade juvénile. Les capitules subconiques à tige courte sont entourés de feuilles externes épineuses disposées en deux rangées, ressemblant à des feuilles. La gaine mesure 8-12 x 18-22 mm de diamètre, avec des feuilles internes coriaces se terminant brusquement par une épine mince de 4 -5 mm de long, tandis que les écailles internes sont coriaces et ornementées (0,5-1 mm de long). Toutes les fleurs sont tubulaires, de couleur rose pâle, blanche ou jaune pâle, et mesurent de 8 à 12 mm de long. Les graines sont compactes, de 4 à 5 mm de long, et couvertes de longs poils soyeux (floramaroccana.,2025).

1.3. Les métabolites secondaires

Sont des molécules qui ne participent pas directement à la croissance des plantes, mais qui jouent un rôle dans la réaction aux stress biologiques et non biologiques, ou dans l'amélioration de l'efficacité de la reproduction. Il est important de noter que ces composés ne sont pas produits directement au cours de la photosynthèse, mais résultent de réactions chimiques ultérieures(bennadja, 2024).Les composés sont présents dans divers organes de la plante, notamment la racine, la tige, les feuilles, les fruits, les fleurs et les graines. Ils peuvent également être stockés dans un organe autre que celui de synthèse.

1.1.3.1. Les alcaloïdes

Les alcaloïdes sont des substances organiques azotées d'origine végétale, à caractère alcalin et présentant une structure complexe. Leur atome d'azote est inclus dans un système hétérocyclique ; les alcaloïdes possèdent une activité pharmacologique significative. On trouve des alcaloïdes, en tant que métabolites secondaires, principalement chez les végétaux, les champignons et quelques groupes animaux peu nombreux.

En règle générale,

Les alcaloïdes sont dérivés des acides aminés. Actuellement, on dénombre plus de 8 000 composés naturels identifiés comme alcaloïdes. Chaque année, les scientifiques du monde entier contribuent à élargir ce catalogue en identifiant environ une centaine de nouvelles molécules. Afin d'organiser cette vaste liste, trois types de classification des alcaloïdes ont été proposés. Afin d'assurer une gestion efficace de cette liste, il est essentiel de se concentrer sur leurs activités biologiques et écologiques. (bennadja,2024).

- Sont des composés organiques azotés qui jouent un rôle essentiel dans les fonctions physiologiques et psychologiques de l'être humain. Ces composés sont souvent dérivés de sources végétales.
- Il est à noter que l'appellation commune de ces composés se termine par le suffixe - ène.
- En outre, la taxinomie des alcaloïdes s'opère en fonction des matières premières qui sont leur source. Par exemple, la morphine, un analgésique puissant, est dérivée de la plante du pavot (*Papaver somniferum*). Cette dernière est dérivée du pavot (*Papaver somniferum*).
- La caféine, quant à elle, est extraite du caféier (*Coffea arabica*) et du théier (*Camellia sinensis*).
- De même, la nicotine, une substance psychoactive naturellement présente dans la plante de tabac (*Nicotiana tabacum*), est un alcaloïde dérivé de la nicotine.
- L'ergotamine et l'ergométrine, deux alcaloïdes naturels produits par le champignon (*Claviceps purpurea*), sont également classés dans cette catégorie.

La vinblastine, quant à elle, est extraite de la plante Vinca (espèce indéterminée). (kendil,2020).

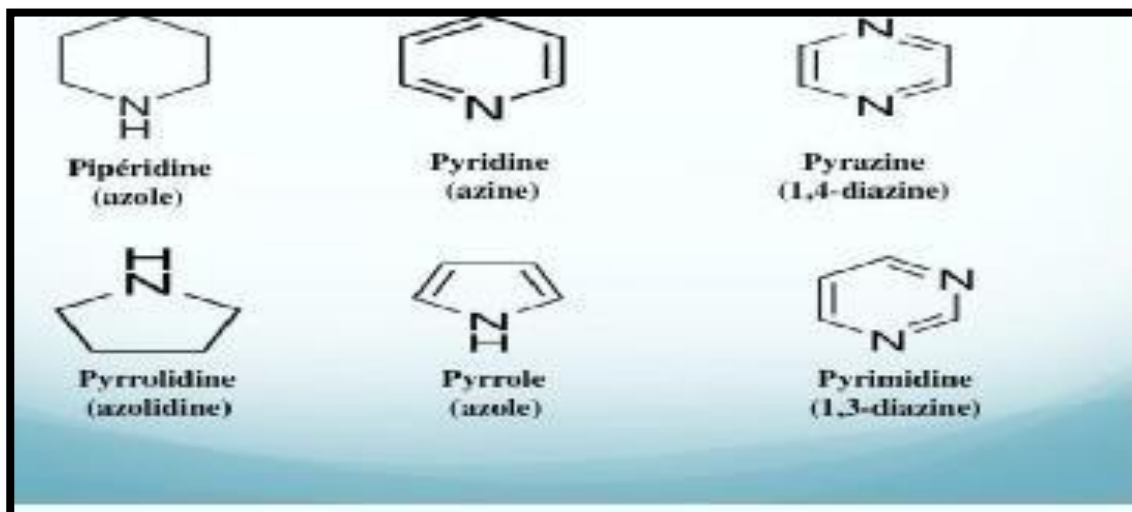


Figure4 : Structure des alcaloïdes

I.1.3.2. Flavonoïdes

Les flavonoïdes sont des substances végétales responsables des couleurs brunes, rouges et bleues des fleurs et des fruits. Certaines plantes, comme le thé, le raisin, les oignons, les pommes, le cacao, les grenades et le café, sont reconnues pour leur forte teneur en flavonoïdes. On dénombre aujourd'hui plus de 4 500 types de flavonoïdes. Ces composés remplissent de multiples fonctions, dont notamment : L'interaction entre les plantes et les animaux (par exemple, attirer les pollinisateurs grâce aux couleurs des fleurs et transporter le pollen dans les fruits).

- **Activité anti-inflammatoire**

Les flavonoïdes possèdent des propriétés anti-inflammatoires démontrées par de nombreuses études. Ils agissent en inhibant l'activité des enzymes cyclooxygénase (COX) et lipooxygénase (LOX), responsables de la transformation de l'acide arachidonique en prostaglandines et leucotriènes, des médiateurs de l'inflammation. De plus, ils préviennent la peroxydation non enzymatique des acides gras polyinsaturés, renforçant ainsi leur impact anti-inflammatoire.

- **Activité enzymatiques**

des inhibiteurs enzymatiques de premier plan Les flavonoïdes jouent un rôle crucial en tant qu'inhibiteurs enzymatiques. Ils sont capables de bloquer plusieurs enzymes impliquées dans des processus biologiques variés, comme l'histidine décarboxylase, l'élastase et la hyaluronidase. Cette action permet de préserver l'intégrité de la matrice extracellulaire, notamment au niveau vasculaire. En outre, ils peuvent interférer avec les voies de

signalisation cellulaire, comme la phospholipase C et la protéine kinase, contribuant ainsi à la prévention de la croissance tumorale.

- **Activités cardiovasculaires**

Les flavonoïdes sont considérés comme des agents veinotoniques. Ils réduisent la perméabilité des capillaires sanguins et renforcent leur résistance. Ils protègent également les lipoprotéines de basse densité (LDL) contre l'oxydation, ce qui limite la formation des plaques athérosclérotiques. De plus, ils ont un effet antithrombotique en inhibant l'agrégation plaquettaire.

- **Activité antioxydante**

Les flavonoïdes présentent une forte activité antioxydante, ce qui constitue l'un des fondements de leurs multiples effets biologiques. Ils capturent les radicaux libres grâce à leur configuration chimique unique, notamment l'arrangement des groupements hydroxyles, ce qui leur permet de neutraliser efficacement les espèces réactives de l'oxygène.⁵ Effet anticancéreux Certains flavonoïdes démontrent une activité anticancéreuse notable. La quercétine, par exemple, est capable d'inhiber la formation de tumeurs cutanées et de bloquer l'enzyme glyoxylase, impliquée dans les processus cancérigènes. Cette action permet d'envisager leur utilisation dans la prévention de certains types de cancers.

- **Activité antimicrobienne**

Les flavonoïdes présentent des propriétés antimicrobiennes diversifiées. Ils peuvent interférer avec la synthèse des protéines virales et augmenter les concentrations intracellulaires d'AMPc dans les cellules infectées. Leur efficacité a été démontrée contre divers virus, y compris les virus de l'herpès et le VIH, par inhibition de la transcriptase inverse.⁷ Activité antifongique Les études ont révélé que les flavonoïdes présentent une activité antifongique significative. Ils agissent en inhibant les enzymes extracellulaires produites par les champignons, en séquestrant les substrats nécessaires à leur croissance ou en chélatant des métaux essentiels comme le fer. En outre, ils perturbent le métabolisme des agents pathogènes fongiques, ce qui renforce leur efficacité globale (Zoughlache, 2009).

I.1.3.3. Saponines

D'une manière générale, les saponines sont des substances non volatiles et tensioactives présentes dans toute la nature, en particulier dans le règne végétal. Elles sont amplement répandues dans diverses espèces végétales et sont signalées dans près de 100 familles (Vincken, et al., 2007; Oleszek, 2002). Le terme « saponine » est dérivé du mot latin « sapo », qui se traduit par « savon », en raison de la capacité des molécules de saponine à produire des mousses semblables à du savon lorsqu'elles sont agitées avec de l'eau (Vincken et al., 2007). Chimiquement, les saponines sont des glycosides triterpéniques et stéroïdiens, qui sont tous deux dérivés des 30 atomes de carbone contenant le précurseur oxidosqualène. Ils sont composés d'aglycones couplés à une ou plusieurs moitiés monosaccharidiques (Thimmappa et al., 2014) (Vincken et al., 2007).

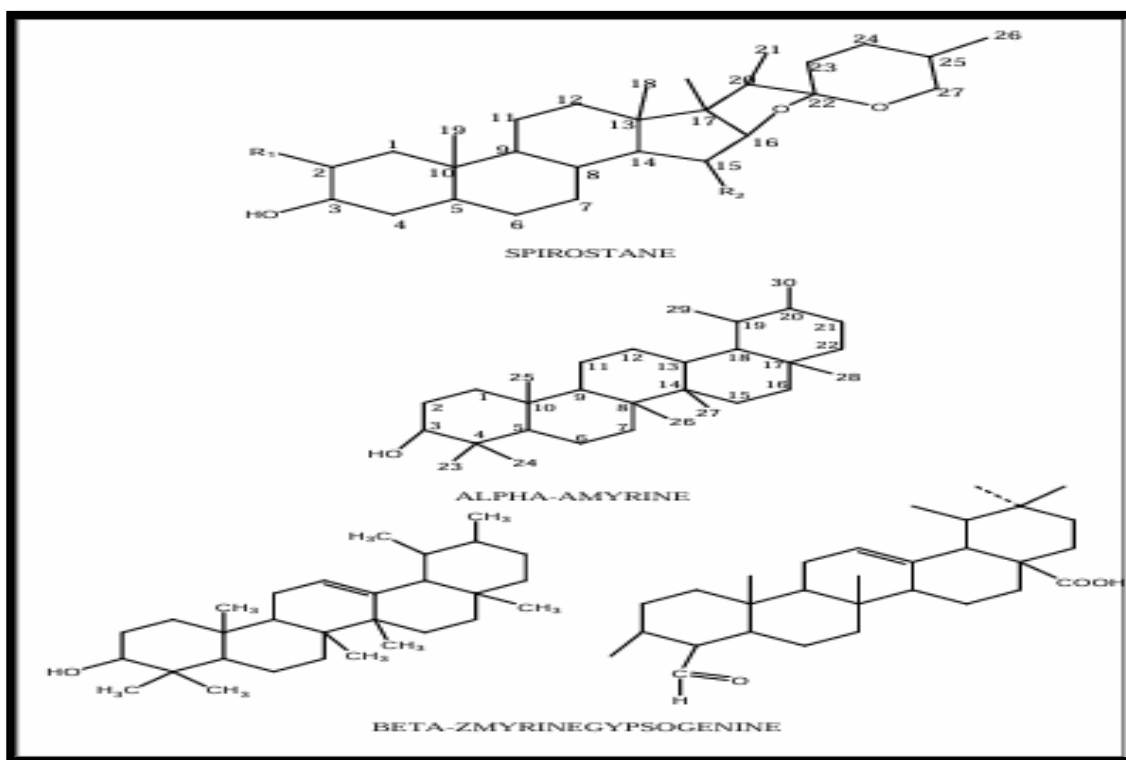


Figure 5 : Structure générale des saponines ((El aziz et al., 2019)

I.1.3. 4. Tannins

Les tannins sont des composés végétaux non azotés, constitués de composés polyphénoliques de structures diverses, tous caractérisés par leur capacité à précipiter les alcalis, la gélatine et

Les protéines. Notre analyse approfondie a permis de les classer en deux catégories distinctes, en fonction de leur structure chimique ((El aziz et al.,2019 ; staden, 2004).

I.1.3. 4.1. Tanins hydrolysables

Ces tanins sont des polyesters composés de sucres et d'acides phénoliques. Les sucres de ces tanins sont principalement du glucose et sont divisés en deux types :

- **Tannins galactiques** ; Ce sont des esters composés de sucres (glucose) et d'acides glycoliques.
- **Les tanins ellagiques** ; Sont des esters composés de sucres et d'acides ellagiques.

I.1.3. 4.1. Tanins condensés

Sont une innovation unique dans notre portefeuille de produits. Ils sont caractérisés par leur pureté, car ils ne contiennent pas de sucres dans leur molécule. De plus, ils résistent à l'hydrolyse par les acides et les tannasses, ce qui les rend uniques dans leur capacité à préserver leur intégrité moléculaire.Cependant, en présence d'acides forts ou d'agents d'oxydation, ces tanins subissent une transformation majeure en polymères de flavan-3-ols, également connus sous le nom de catéchines, et de flavan-3,4-diols, appelés aussi leucoanthocyanidines (unvi annba,2024).

I.1.3. 5. Terpénoïdes

Les terpénoïdes sont des hydrocarbonés naturels issus des plantes. Ces composés partagent une structure de base commune, représentée par l'isoprène de formule (C₅H₈). Leur classification s'effectue en fonction du nombre de répétitions de l'unité isoprène. Hémiterpènes (C₅), monoterpènes (C₁₀), sesquiterpènes (C₁₅), diterpènes (C₂₀), sesterpènes (C₂₅), triterpènes (C₃₀), tétraterpènes (C₄₀) et polyterpènes (Christianson, 2017). Ces métabolites sont responsables de l'odeur et de la couleur des plantes (piment, curies), certains ont des propriétés toxiques, répulsives ou attractives pour d'autres organismes, ce qui les rend d'excellents antiseptiques et agents antimicrobiens. Des études antérieures ont démontré que l'activité prooxydante des terpénoïdes est très efficace dans la réduction du volume tumoral par effet apoptotique et/ou nécrotique, comme ils sont capables de piéger les radicaux libres ; (Bakkali et al., 2008).

I.4. Nanoscience et Nanotechnologie

Le terme est la combinaison du mot « nano » signifiant « petit » et du mot « science ». La nanoscience est l'étude des phénomènes et de la manipulation des matériaux à différentes échelles : échelle atomique, macromoléculaire et moléculaire, où les propriétés diffèrent. Les propriétés diffèrent en effet à ces différentes échelles, atomique, macromoléculaire et moléculaire. Ces propriétés diffèrent considérablement de celles observées à plus grande échelle. (Whatmore, 2006). La nanoscience est un domaine scientifique émergent qui s'intéresse à l'étude des matériaux à l'échelle nanométrique. Les matériaux concernés sont ceux qui ont de très petites dimensions, de l'échelle nanométrique. Les nanotechnologies sont des technologies matures qui se concentrent sur l'intersection à l'échelle nanométrique. Il se concentre sur l'intersection de domaines tels que la physique, la biologie, l'ingénierie, la chimie et l'informatique à l'échelle nanométrique. (Yousafet Ali, 2008).

La nanotechnologie se réfère à la science qui s'occupe de la conception, de la fabrication et de l'utilisation de structures et d'appareils comportant une ou plusieurs composantes d'environ 100 nanomètres ou moins, en maîtrisant leur forme et leur taille. (Angélique et al., 2018.) A ces échelles, la matière acquiert des propriétés inattendues et souvent différentes de celles des mêmes matériaux à l'échelle micro ou macroscopique (Chuto G et al., 2010). Les nanotechnologies constituent aujourd'hui l'un des développements technologiques les plus prometteurs, offrant un large éventail d'applications potentielles dans divers domaines scientifiques. Il s'agit notamment des domaines médical, pharmaceutique, environnemental, énergétique, cosmétique et agricole, ainsi que du séquençage de l'ADN, du diagnostic et de la détection biomoléculaire. (Haddad, 2024)

I.4.1. Nanomatériaux

Le 18 octobre 2011, la Commission européenne a publié ses recommandations concernant la définition des nanomatériaux, établies dans la recommandation 2011/696/UE. Selon cette définition, un nanomatériau désigne un matériau, qu'il soit d'origine naturelle, issu d'un processus accidentel ou fabriqué intentionnellement, contenant des particules libres, sous forme d'agrégats ou d'agglomérats. Ces particules se distinguent par le fait qu'au moins 50 % de leur distribution numérique en fonction de la taille présente une ou plusieurs dimensions

externes comprises entre 1 nm et 100 nm. Les nanomatériaux peuvent être regroupés en deux grandes catégories principales ; **Les nano-objets et les matériaux nano structurés**

I.4.2. Nanoparticules

Une nanoparticule est constituée de plusieurs centaines à plusieurs milliers d'atomes, formant une structure dont au moins une dimension se situe entre 1 et 100 nanomètres. Ce type de nano-objet se trouve donc à l'intersection des échelles macroscopique, qui concerne les matériaux massifs, et moléculaire (Piard et al., 2016). Cette définition exclut ainsi les objets dont la plus petite dimension se situe entre 100 et 1000 nm. Bien qu'ils soient de taille nanométrique, ces particules sont qualifiées de sub-micrométriques. En comparaison avec les structures organiques naturelles, on peut noter que les nanoparticules se trouvent principalement dans une gamme de tailles similaire à celle des protéines (Goutayer, 2008)

La synthèse des nanoparticules fait appel à des méthodes chimiques, physiques et biologiques. Les procédures biologiques sont encore au stade de développement

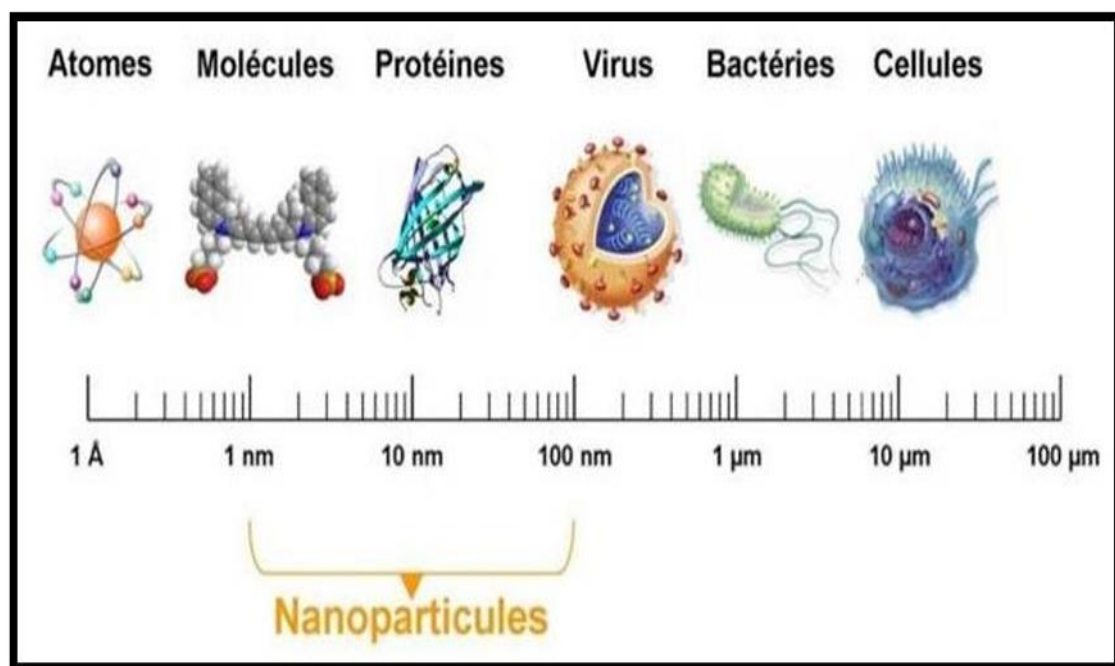


Figure 6 : Echelle comparative des nanoparticules

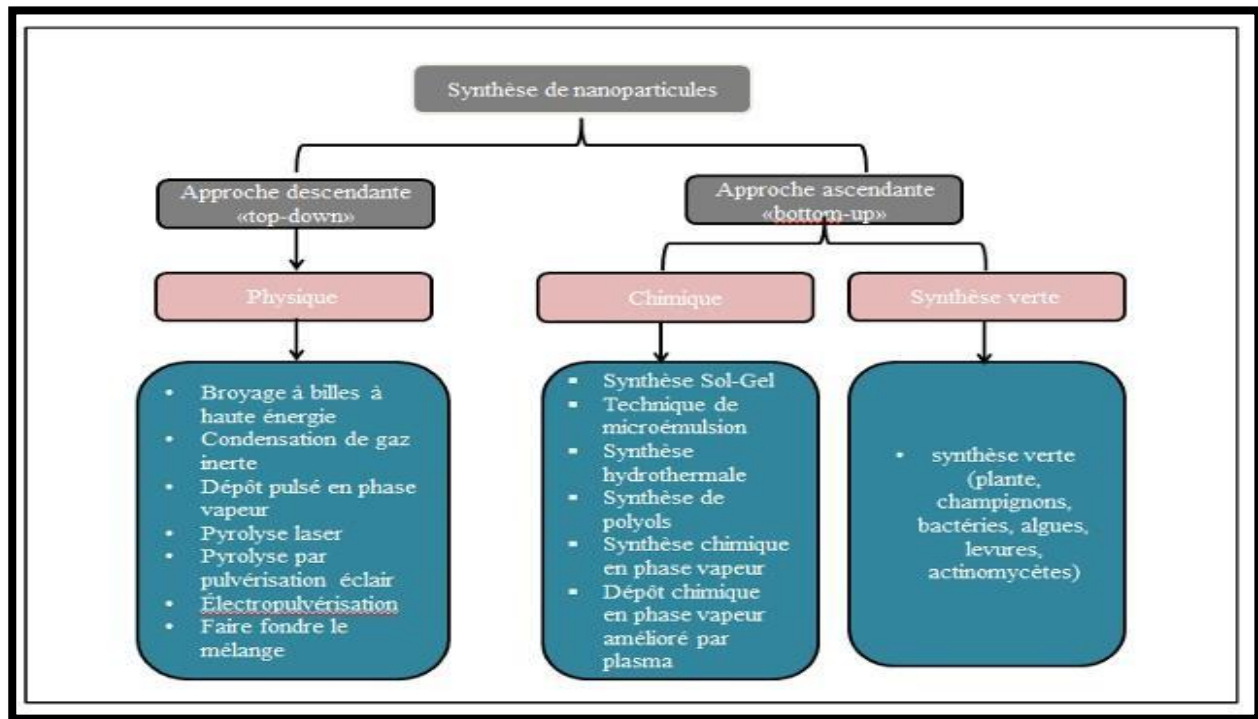


Figure 7 : Différentes méthodes de synthèse des nanoparticules (boulkoumane k, mouissi f,2021)

I.4.2.1. Propriétés des nanoparticules

Les nanoparticules, qui se situent à l'intersection de l'échelle atomique et des matériaux, présentent des caractéristiques structurales distinctives. Parmi leurs propriétés les plus notables, on peut identifier des qualités optiques, électriques, catalytiques, thermiques, magnétiques, mécaniques ainsi que biologiques (Ealias et Saravanakumar, 2017).

I.4.1.1. Application Des Nanoparticules

Parmi les divers types de nanoparticules développés par la science, on trouve les nanoparticules d'argent. Grâce à leurs propriétés antimicrobiennes, celles-ci sont largement utilisées dans de nombreux produits. Leurs applications typiques incluent le textile, notamment les doublures de vêtements, les dispositifs médicaux, la conservation des aliments, les cosmétiques, les filtres destinés au traitement de l'eau ainsi que les pharmaceutiques, comme illustré dans le (Tableau 2) (Bllatreche et Menadi, 2022).

Tableau 1. Propriétés des nanoparticules (Ealias et Saravanakumar, 2017)

Domaine d'applications	Exemples
domaine militaire	L'armure (intelligente) une veste militaire légère et fonctionnelle durcit au contact des projectiles.
Optique	La couleur de la nanoparticule. Capacités de pénétration, d'absorption et de réflexion de la lumière.
Structurel	Des structures cristallines et amorphes, des formes comme sphérique et cylindrique.
Mécanique	Elastique, ductile, de traction forces et flexibilité.
Electrique et magnétique	Conductivité, semi-conductivité et résistivité.
Biologique	La réactivité et la sensibilité aux facteurs environnementaux tels que l'air, l'humidité, la chaleur et la lumière du soleil, etc.

Tableau 2 : Différentes domaines d'applications des nanoparticules

	• Vêtement avec la plus grande tolérance aux changements de température. • Invisibilité.
Le domaine d'électronique	• Accroissement des puissances des processeurs et des mémoires. • Montrer en puissance et diminuer en taille les microprocesseurs pentium.
Le domaine de médecine	• La vectorisation des médicaments. • Les puces ADN et l'utilisation de quantum dots. • Dans traitement du cancer. • Dans la chirurgie.
Le domaine d'environnement	• La réduction des émissions de polluants. • Le traitement des effluents notamment par photo catalyse et purification des gaz. • La production d'eau ultra pure à partir d'eau de mer.
Le domaine d'industrie chimique	• Développement de : céramiques, pigments, poudres • Couches fonctionnelles (isolation thermique, antiadhésif, antistatique) • recouvrements ultra résistants et outils de coupe extrêmement durs
Le domaine d'énergie	• Amélioration des performances des systèmes de production et d'utilisation de l'énergie • Stockage de l'hydrogène • production de batteries et cellules de combustion
Le domaine agroalimentaire	• Améliorer la sécurité et la traçabilité • Eliminer les toxines dans les aliments • Augmenter la solidité des emballages

I.4.2. Synthèse verte à partir des plantes

En raison de la concentration élevée de substances chimiques toxiques et des conditions environnementales particulièrement contraignantes associées aux procédés de Synthèse physique et chimique des nanoparticules, des approches écoresponsables impliquant l'utilisation de plantes, champignons, bactéries et algues ont été privilégiées (Agrawal, S., et S., 2017).

L'utilisation d'extraits de plantes présente plusieurs avantages par rapport à d'autres approches, notamment leur accessibilité et leur manipulation sécurisée. La synthèse verte des nanoparticules (NPs) à partir d'extraits végétaux repose généralement sur une réaction entre ces extraits et des précurseurs métalliques. Dans ce processus, l'extrait végétal joue un rôle double : il agit à la fois comme agent réducteur et comme agent coiffant, réduisant le précurseur métallique, qui fonctionne comme agent oxydant, pour former des nanoparticules métalliques.

Des extraits de plantes, issus de diverses parties telles que les graines, les feuilles et les fleurs, ont été élaborés afin d'étudier leur aptitude à synthétiser des NPs. La capacité d'un extrait végétal à synthétiser les NPs réside sur la présence des composés phytochimiques dans la plante qui sont responsables de ses capacités de synthèse. Ces composés phytochimiques comprennent les flavonoïdes, les saponines, les terpénoïdes, les glucides, les protéines et les alcaloïdes. Ils sont des agents d'extinction d'oxygène, des agents réducteurs et stabilisants, des agents chélateurs de métaux et des donneurs d'hydrogène. La réduction des ions métalliques par ces substances dans les extraits végétaux conduit à la formation de nanomatériaux respectifs.

L'utilisation des plantes dans la synthèse des nanoparticules (NPs) suscite un intérêt croissant parmi les chercheurs, principalement en raison de leur capacité d'offrir un processus de biosynthèse simplifié et efficace. En effet, les plantes possèdent un large éventail de métabolites bioactifs, qui jouent un rôle crucial dans les mécanismes de réduction nécessaires à cette synthèse. Par ailleurs, les plantes se distinguent par leur aptitude à fournir une alternative supérieure pour la production de NPs, principalement parce que les procédures reposant sur des sources végétales sont exemptes de substances toxiques. De plus, elles offrent naturellement des agents de coiffage biodégradables, optimisant ainsi leur utilisation dans des protocoles respectueux de l'environnement (Boulkoumane et Mouissi, 2021).

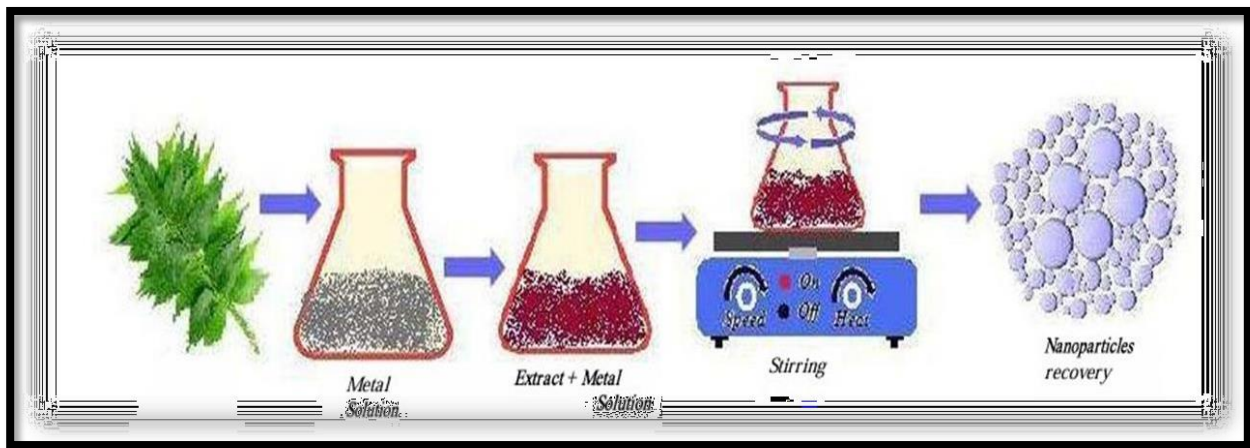


Figure8 : Production de nanoparticules à partir d'extraits végétaux (Boulkoumaneet Mouissi, 2021)

Pour la synthèse des nanoparticules (NPs), la partie de la plante destinée cette étape est d'abord lavée, puis bouillie avec de l'eau distillée. Une fois le mélange pressé et filtré, les solutions spécifiques aux nanoparticules à synthétiser sont ajoutées. À ce moment, un changement de couleur de la solution se produit, indiquant le début de la formation des NPs, qui peuvent ensuite être isolées (Boulkoumane et Mouissi, 2021).

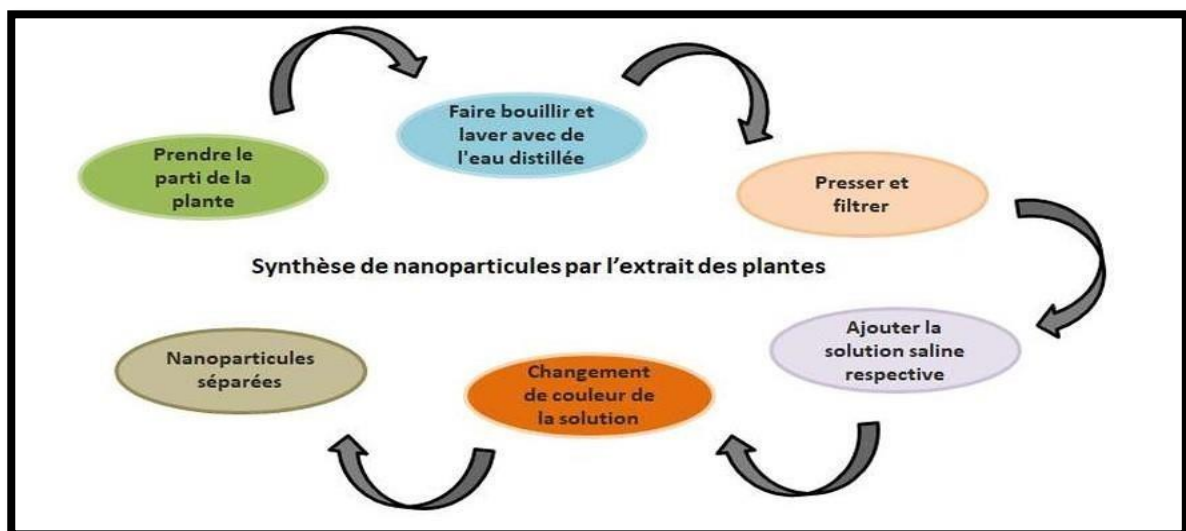


Figure 9 : Une méthode pour synthèse de nanoparticules par l'extrait des plantes (Boulkoumane et Mouissi, 2021)

1.4.3. 1. L'oxyde de zinc ZnO-NPs

L'oxyde de zinc, un composé chimique de formule « ZnO », se trouve naturellement sous forme de zincite, un minéral souvent enrichi en manganèse, ce qui lui confère une teinte allant du jaune au rouge. Classé parmi les semi-conducteurs du groupe II-VI, cet oxyde possède une largeur de bande de 3,30 eV. Il est également réputé pour ses propriétés piézoélectriques, avec le plus haut coefficient de piézoélectricité et l'énergie de liaison des excitons la plus élevée (60 MeV) parmi les semi-conducteurs. Sa transparence, due à son incapacité à absorber la lumière visible, s'accompagne d'un coefficient de transmission avoisinant les 80 % dans le spectre visible. En apparence, l'oxyde de zinc est une poudre blanche inodore, souvent désignée sous le nom de « blanc de zinc », et est insoluble dans l'eau. Pendant longtemps, ses principales applications ont concerné l'industrie chimique et pharmaceutique. Aujourd'hui, les matériaux à base de ZnO sont largement utilisés dans divers domaines. Cette popularité s'explique par des caractéristiques telles que son absence de toxicité, la flexibilité dans le contrôle de sa forme et de sa taille, son faible coût de production et sa grande disponibilité. Plusieurs paramètres influencent directement les propriétés du ZnO, notamment le temps de vieillissement de la solution initiale, la nature du solvant utilisé, la concentration de la solution aqueuse ainsi que les conditions de traitement thermique. (Zid et Guessoum, 2021).

1.4.3.1. Applications de ZnO

Grâce à ses propriétés semi-conductrices, piézoélectriques, optiques et catalytiques, l'oxyde de zinc, qu'il soit sous forme massive ou de nanoparticules, trouve de nombreuses applications. Historiquement, le ZnO a été utilisé dès les années 1920 pour son effet piézoélectrique en tant que transducteur dans les récepteurs de radio sans fil. Son utilisation a connu un essor majeur dans les années 1970, notamment dans les industries chimique et pharmaceutique, avec des produits comme les peintures et les crèmes solaires. Depuis les années 2000, une part dominante de la production mondiale d'oxyde de zinc, synthétisé sous forme de poudre nanométrique, est destinée à l'industrie du caoutchouc et des pneumatiques (57 % du marché), où il agit comme catalyseur dans le processus de vulcanisation. On le retrouve également dans les produits chimiques, les peintures pour la protection contre les UV, l'agriculture, la céramique et les cellules solaires photovoltaïques en tant que fenêtre optique. Par ailleurs, ses propriétés catalytiques font l'objet d'un intérêt croissant ces dernières années, notamment pour des applications dans la dépollution de l'eau, parmi de nombreux autres domaines d'utilisation (Zid & Guessoum, 2021).

I.4.4. Oxyde d'argent ou Nanoparticule d'argent

L'argent, un métal de transition caractérisé par sa douceur, son éclat, sa ductilité et sa malléabilité, se trouve à l'état natif sous forme de pépites. Son nom dérive du latin *Argentum*, à l'origine de son symbole chimique "Ag", et du grec ancien (*argos*), signifiant blanc ou brillant. Ce métal a également inspiré le nom de la cité antique d'Argentoratum, aujourd'hui connue sous le nom de Strasbourg. Doté d'une malléabilité et d'une ductilité remarquables, l'argent pur se distingue par ses propriétés exceptionnelles de conductivité électrique et thermique, surpassant celles de tous les autres métaux. Du point de vue isotopique, l'argent (Ag) possède deux isotopes stables : le ^{107}Ag et le ^{109}Ag , représentés respectivement par une abondance de 51,8 % et 48,2% (Bilatreche et Menadi, 2022).

I.4.4.1. Applications des nanoparticules d'argent

Les nanoparticules d'argent offrent de nombreux avantages et applications dans les domaines médical, environnemental et commercial, captivant ainsi l'attention des professionnels de la santé, des industriels et des consommateurs. Ces nanoparticules ainsi que d'autres nanomatériaux contribuent à améliorer les performances d'une multitude de produits (Benmehiema et Bensafi, 2018).

I.4.5. sélénium

Le sélénium est un élément non toxique et incolore qui, selon son état d'oxydation, sert de centre d'oxydoréduction pour plusieurs enzymes antioxydantes. Il existe dans différents états d'oxydation, notamment le sélénate (+6) et le sélénite (+4). Parmi ces derniers, le sélénite se distingue comme un composé clé dans l'activité microbienne en raison de sa haute toxicité. Les nanoparticules de sélénium possèdent des propriétés uniques qui les rendent essentielles dans de nombreuses applications (Shobana, Veena, M, Dlamini, et Ansel, 2024).

I.4.5.1. L'importance du sélénium en tant qu'antioxydant

Le sélénium constitue un micronutriment essentiel en nutrition humaine, reconnu pour ses multiples rôles biologiques, au-delà de ses propriétés antioxydantes bien établies. En effet, il intervient dans divers processus physiologiques grâce à son intégration au sein d'une famille

spécifique de protéines, appelées sélénoprotéines. Parmi ses fonctions principales, on peut noter son rôle crucial dans la protection antioxydante contre les radicaux libres responsables du stress oxydatif, souvent associé au développement de maladies chroniques. Il contribue également à la prévention de certains types de cancer ainsi qu'au bon fonctionnement du système immunitaire. Le sélénium constitue un composant clé de la glutathion peroxydase (GSH-Px), une enzyme aux propriétés antioxydantes dont l'activité est directement influencée par sa concentration au niveau cellulaire. Ainsi, pour répondre aux besoins nutritionnels en sélénium et optimiser l'efficacité plasmatique de la GSH-Px, un apport quotidien recommandé se situe actuellement entre 55 et 70 µg/jour. Cette dose assure une protection optimale contre les dommages oxydatifs et soutient les fonctions biologiques essentielles associées à cet oligo-élément (Redjimi, Guerari, et Delimi, 2022).

Chapitre II: Matériel & Méthode

II.1. Présentation de la zone d'étude de Ghardaïa



Figure10: Carte géographique de l'Algérie montrant la zone de récolte de plante étudiée Ghardaïa

La région de Ghardaïa, située au centre de l'Algérie, se caractérise par une altitude moyenne de 520 mètres. D'après) Bekenjou et al.,2007), la superficie de cette région est estimée à 86 560 km². Cette région se distingue par un climat saharien aride, caractérisé par des variations significatives de température entre le jour et la nuit, ainsi qu'entre les saisons (Sam, 2012). En premier lieu, il convient de noter que le mois de janvier est le plus froid, avec une température minimale de 6 °C. En second lieu, il a été observé que le mois de juillet est le plus chaud, avec une température maximale de 47 °C. Dans la région de Ghardaïa, les précipitations sont caractérisées par leur faible intensité, avec une moyenne annuelle de 80 mm seulement. Par ailleurs, le taux d'humidité dans l'air est également très faible, avec une valeur maximale de 55,57 % en décembre et une valeur minimale de 21,64 % en juillet (Sadine et al., 2016).

II.2. Matériel

II.2.1. Récolte et partie étudiée

Dans le cadre de la présente étude, l'espèce *Atractylis delicatula* a été récoltée le 12 janvier 2025 dans la région de la Wilaya Ghardaïa, située en(Algérie). Une fois la plante collectée, il est procédé à la séparation de ses différentes parties. Dans le cadre de cette étude, l'attention se porte sur les feuilles, qui sont l'élément retenu pour l'extraction et l'étude de leur activité biologique. La partie de la plante à étudier est soumise à un processus de déshydratation,

réalisé dans un environnement protégé de l'éclairage lumineux et à la température ambiante, comme l'indiquent) Addoun et al ., 2021). Cette étape est suivie d'un broyage minutieux à l'aide d'un mixeur électrique, une technique décrite par) Mehellou ,2015). Les différents échantillons subissent un processus de broyage, puis sont méticuleusement conservés dans des récipients hermétiques. Ces récipients sont placés dans un environnement sombre afin de préserver leur intégrité jusqu'à leur analyse ultérieure.

II.3. Méthode

II.3.1. L'importance d'étudier *Atractylis delicatula*

L'Atractylis delicatula, plante rare et peu étudiée, présente un potentiel biologique et chimique qui mérite d'être exploré. Le manque de recherches approfondies sur cette espèce représente une opportunité scientifique précieuse pour examiner sa composition chimique et envisager ses applications en médecine et dans l'industrie. L'investigation de cette plante pourrait conduire à la découverte de nouveaux composés actifs susceptibles de contribuer au développement de remèdes naturels et de traitements pour des maladies liées au stress oxydatif et à l'inflammation. L'exploration de plantes peu étudiées telles que *l'A. delicatula* favorise la biodiversité et permet d'optimiser des ressources naturelles encore méconnues.

II.3.2. Préparation de l'extrait aqueux par décoction

Dans le cadre de nos recherches, nous avons procédé à l'extraction des principes actifs des plantes en phase aqueuse. Pour ce faire, nous avons appliqué la technique de décoction selon les pratiques traditionnelles. La préparation de l'extrait aqueux s'est effectuée en mélangeant 50 g de plante avec 500 ml d'eau distillée. La température de l'eau a été portée à son point critique, puis la plante a été immergée dans un récipient hermétiquement clos et le mélange a été maintenu en agitation continue pendant une durée de quinze minutes à l'aide d'un agitateur magnétique. L'homogénéité ainsi obtenue a été filtrée à travers une mousseline, en exerçant une pression soutenue afin d'assurer une extraction optimale du liquide. Le filtrat obtenu a ensuite été soumis à une seconde filtration sur du papier Whatman n°1. Les résidus recueillis ont été transférés dans des cristallisoirs et séchés dans une étuve. Les extraits obtenus ont été conservés de manière stérile dans des bouteilles, à l'abri de la lumière, puis stockés au réfrigérateur pour une utilisation ultérieure. (Assia, 2017).

II.3.3. Calcul du rendement d'extraction

Le rendement en extrait de la plante est déterminé par le ratio entre le poids de l'extrait obtenu et le poids de la plante utilisée pour le traitement. Ce rendement, exprimé en pourcentage, a été calculé en utilisant la formule suivante **Eq. (1)**:

$$R (\%) = \frac{PEB}{PMV} \times 100 \text{ Eq. (1)}$$

Où ; R : est le rendement en %, **PEB** : Poids de l'Extrait Brut (g), et **PMV** : Poids de matière végétale (g) (Ghhemam et *al.*, 2023) .

II.3.4. Screening phytochimique

Le criblage chimique regroupe diverses méthodes et techniques dédiées à la préparation et à l'analyse des substances organiques naturelles extraites des plantes. Ces méthodes permettent d'identifier les différentes familles de métabolites secondaires présents, grâce à une série de réactions chimiques, de colorations ou de précipitations utilisant des réactifs chimiques spécifiques appliqués sur l'extrait. (Chaima et Selma, 2023).

II.3.4.1. Test des polyphénols

0,1 g de chaque extrait a été dissous dans 3 ml de son solvant d'origine. Ensuite, 5 gouttes de FeCl₃ à 2 % ont été ajoutées. La présence de composés phénoliques a été indiquée par l'apparition d'une couleur bleu-verdâtre (Zineb et al ., 2023) .

II.3.4.2. Test des flavonoïdes

On ajoute 1 ml de HCl, 1 ml d'eau distillée, et 1 ou 2 morceaux de Mg à quelques millilitres de la solution d'extrait dans un tube à essai. La présence de flavonoïdes libres est indiquée par une coloration rose orangé (flavones), rose violacé (flavonones), ou rouge cerise (flavonols) dans la couche surnageant du mélange (Chaima et Selma, 2023).

II.3.4.3. Test des tannins

À 1 ml de l'extrait brut, 0,5 ml d'une solution à 1 % de chlorure ferrique (FeCl_3) a été ajouté ; Une couleur bleu-vert ou bleu-noir indique la présence de tanins(Abid, 2023) .

II.3.4.4. Test des sucres réducteurs

Prélevez 1 ml de l'extrait et mélangez-le à 2 ml de solution de Fehling. Placez les tubes dans un bain-marie pendant 20 minutes. Une couleur rouge brique indique un résultat positif (Akram, 2018).

II.3.4.5. Test des alcaloïdes

Pour deux tubes à essai, ajoutez 1 ml de l'extrait à analyser. Acidifiez le milieu avec quelques gouttes de HCl et ajoutez le réactif de Mayer dans le premier tube. Dans le deuxième tube, ajoutez 2 gouttes de réactif de Dragendorff (réactif à l'iodobismutate de potassium). La présence d'un précipité blanc ou brun-rougeâtre indique respectivement la présence d'alcaloïdes(Zineb et al., 2023)

II.3.4.6. Test des saponosides

Les saponosides sont identifiés en préparant un mélange de 1 ml d'extrait et de 1 ml d'eau distillée. Si, après avoir agité le mélange pendant 15 secondes, une mousse persistante de plus de 1 cm apparaît, cela indique la présence de saponosides (Aida et Mbarka, 2022).

II.3.4.7. Test des terpenoïdes

La réaction est mise en évidence par la méthode suivante : 1 ml d'extrait est mélangé avec 1 ml de chloroforme (CHCl_3) et 0,5 ml d'acide sulfurique concentré (H_2SO_4). L'apparition d'une couche de couleur brun-rougeâtre à l'interface du mélange indique la présence de terpénoïdes(Aida et Mbarka, 2022) .

II.3.5. Dosage des composées phytochimique

II.3.5.1. Dosage des polyphénols totaux (PPT)

La méthode de dosage des polyphénols totaux a été réalisée par spectrophotométrie, en utilisant la méthode colorimétrique avec le réactif de Folin-Ciocalteu. Ce dosage repose sur la quantification de la concentration totale des groupements hydroxyles présents dans l'échantillon. Parallèlement, une courbe d'étalonnage a été établie dans des conditions

opérateurs identiques, en utilisant l'acide gallique à diverses concentrations (Fetni Fatma, 2022) .

- **Principe du test:**

Le réactif de Folin-Ciocalteu est un acide de couleur jaune, composé d'un mélange d'acide phosphotungstique ($\text{H}_3\text{PW}_{12}\text{O}_{40}$) et d'acide phosphomolybdique ($\text{H}_3\text{PMo}_{12}\text{O}_{40}$). Lors de l'oxydation des phénols, le réactif subit une réduction, produisant un mélange d'oxydes bleus de tungstène et de molybdène. La coloration résultante, dont l'absorption maximale se situe dans le domaine du proche infrarouge, est proportionnelle à la concentration des composés phénoliques oxydés présents dans les extraits végétaux (Mohammed et Ahlem, 2020).

- **Mode opératoire :**

Dans le cadre de l'analyse chimique, la détermination des phénols totaux constitue une étape fondamentale. La méthode de dosage des polyphénols par spectrophotométrie, selon la méthode Folin-Ciocalteu, a été employée. Pour ce faire, un volume de 200 μL de l'extrait a été introduit dans des tubes à essai, avec un volume de 800 μL de réactif de Folin-Ciocalteu (10 fois dilué par de l'eau distillée). Dans un second temps, 1 millilitre de carbonate de sodium, ou (Na_2CO_3 / 7.5%), ont été ajoutés à la solution. Dans le cadre de l'expérience, les différentes solutions ont été maintenues dans l'obscurité pendant une durée de 30 minutes (Bouabid & al, 2020). Chaque solution préparée est mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Visible de type BIOCHROM LIBRA S6, à une longueur d'onde de 765 nm, en utilisant un blanc comme référence. Les valeurs d'absorbance sont proportionnelles à la quantité de polyphénols présente dans nos extraits, et les résultats sont exprimés en mg équivalent d'acide gallique par gramme de l'extrait sec (Aya et al, 2018).

II.3.5.2. Dosage des flavonoïdes Totaux (FVT)

Les teneurs en flavonoïdes ont été mesurées en utilisant le trichlorure d'aluminium (AlCl_3) comme réactif. (Bougheouat et al, 2018)

- **Principe du test**

Les concentrations en flavonoïdes ont été déterminées selon une méthode adaptée de (Aya et al, 2018). en utilisant le chlorure d'aluminium (AlCl_3) comme réactif.

- **Mode opératoire**

Afin d'effectuer le dosage, il a été nécessaire de mélanger 1 ml de l'extrait à 1 ml d'AlCl₃, puis d'incuber le mélange à température ambiante pendant 20 minutes. L'absorbance de chaque solution préparée a été mesurée dans le même spectrophotomètre à une longueur d'onde de 430 nm, en utilisant un blanc comme référence. Les valeurs d'absorbance obtenues sont proportionnelles à la quantité de flavonoïdes présentes dans l'extrait étudié. Les résultats sont exprimés en milligrammes équivalents de quercétine par gramme de l'extrait sèche.

II.3.6. Synthèse de nanocomposites ZnO/Se-AgO

II.3.6.1. Synthèse verte des NPs d'oxyde de zinc à partir de l'extrait aqueux d'*Atractylis delicatula*(EAQ-A D)

La génération verte de nanoparticules de ZnO s'est déroulée selon la méthodologie précédemment décrite par (Zemmouli et al.,2024). Avec quelques ajustements mineurs. 0,1 M de solution aqueuse de sulfate de zinc hexahydraté a été combinée avec les extraits aqueux EAQ-A D fraîchement obtenus dans un rapport de 9 :1, puis soumise à un traitement avec quelques gouttes de solution de NaOH (1 M) (pH=10). La réaction a commencé avec les ions fournis par la solution de sulfate de zinc. Le mélange résultant a été continuellement agité à 70 °C dans l'obscurité pour éviter la photocatalyse. La présence d'une couleur blanc cassé notable indiquait la synthèse des ZnO-NPs. Après 24 heures d'incubation à température ambiante, le produit résultant a subi une purification supplémentaire par centrifugation et a ensuite été lavé séparément avec de l'eau distillée et de l'éthanol. Il a ensuite été séché à 100 °C pendant une nuit.

II.3.6.2. Synthèse des Sélénium-Silver Oxides NPs

0,01M de nitrate d'argent (AgNO₃) et 1g de métal sélénium (dissous dans une solution de NaOH 100ml/1M) ont été préparés dans un rapport de 1 pour 10. 1g de Na₂S₂O₃ a été ajouté à la solution préparée précédemment. Le pH de la solution a été ajusté à 7-8 en utilisant quelques gouttes de HCl, et le mélange a été maintenu pendant 2 heures sous agitation constante à 45 °C. La précipitation a été observée et centrifugée à 4000 tr/min pendant 10

minutes avec de l'eau pure et de l'éthanol pour éliminer les impuretés. Ensuite, les échantillons ont été calcinés à 400 °C pendant 120 minutes.

Les ZnO NPs précédemment préparés et les Se-AgONPs ont été mélangés dans 20 ml d'eau distillée et maintenus dans un bain ultrasonique pendant 5 minutes, puis incubés pendant 24 heures, puis séchés dans une étuve à 60 °C. Le nanocomposite ZnO/Se-AgO récupéré a été stocké dans une bouteille d'échantillon de couleur ambre jusqu'à son utilisation.

II.3.6.3. Caractérisation des Nano-composites ZnO/Se-AgO

Les techniques suivantes ont été utilisées pour la caractérisation des nano-composites synthétisés : UV-Vis, FT-IR, and DRX.

- **Spectroscopie d'absorption UV-visible**

La spectroscopie ultraviolette-visible (UV-vis) est utilisée pour obtenir les spectres d'absorbance d'un composé en solution ou sous forme solide. Ce qui est réellement observé spectroscopiquement est l'absorbance de l'énergie lumineuse ou du rayonnement électromagnétique, qui excite les électrons de l'état fondamental au premier état excité singulet du composé ou du matériau. La région d'énergie UV-vis pour le spectre électromagnétique couvre 1,5 à 6,2 eV, ce qui correspond à une gamme de longueurs d'onde de 800 à 200 nm.

- **Spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier (FTIR)**

FTIR signifie infrarouge à transformée de Fourier, la méthode préférée de spectroscopie infrarouge. Lorsque le rayonnement IR passe à travers un échantillon, une partie du rayonnement est absorbée par l'échantillon et une partie passe (est transmise). Le signal résultant au niveau du détecteur est un spectre représentant une « empreinte digitale » moléculaire de l'échantillon. L'utilité de la spectroscopie infrarouge vient du fait que différentes structures chimiques (molécules) produisent différentes empreintes spectrales.

- **Diffraction des rayons X**
- **Détermination de la taille des grains**

La taille moyenne des cristallites a été estimée à l'aide de l'équation de Debye-Scherrer **Eq.2** :

$$DDRX = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta} \text{ Eq. (2)}$$

Où : $DDRX$ est la taille des grains en nm, λ est la longueur d'onde du faisceau de rayon X, θ est l'angle de Bragg de diffraction, et β est la largeur à mi-hauteur exprimée en radian.

II.3.7. Evaluation de l'activité antioxydante

II.3.7.1. Réduction du radical 1,1'-diphényle-2-picrylhydrazyle (DPPH)

- **Principe du test**

Le radical 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle (DPPH) est un radical libre stable, se distinguant par sa couleur violette. La stabilité de cette molécule est attribuable à la délocalisation des électrons à l'intérieur de sa structure. Lorsqu'un agent antioxydant réduit les radicaux DPPH, cela provoque une décoloration de la solution. Cette variation de couleur peut être quantifiée par spectrophotométrie à une longueur d'onde de 517 nm. L'intensité de la couleur émise est proportionnelle à la capacité des antioxydants présents dans le milieu à céder des protons (Abekhti et Ben ahmed, 2019)

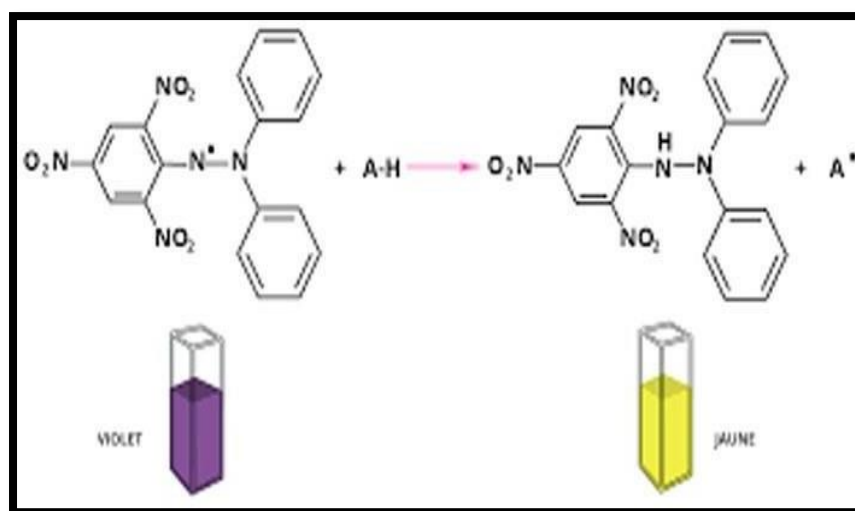


Figure 11: Réaction entre le DPPH et les composés antioxydants pour former le DPPH (Amira)

- **Mode opératoire**

Le fondement de cette méthode repose sur la réduction du DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle), qui est de couleur violette, en 2,2-diphényl-1-picrylhydrazine, qui est jaune. Le DPPH présente une absorption à 517 nm, mais cette absorption diminue lorsqu'il est réduit par un antioxydant. En résumé, une solution de DPPH à 4 mg, préparée dans 100 ml

duméthanol, a été mélangée avec 800 µl de cette solution et 200µl d'un échantillon (EAQ-AD ou Nano ZnO/Se-AgO ou L'acide ascorbique) dilué dans des différentes concentrations. Après une incubation de trente minutes, l'absorbance a été mesurée à 517 nm (Akram, 2018). Une faible valeur d'absorbance du mélange indique une forte activité de piégeage des radicaux libres. La capacité de piéger le radical DPPH a été calculée selon l'équation suivante **Eq. (3)**:

$$I (\%) = \frac{(A \text{ blanc} - A \text{ échantillon})}{A \text{ blanc}} \times 100 \text{ Eq. (3)}$$

I (%) : pourcentage d'inhibition, **A blanc** : Absorbance du blanc, **A échantillon** : Absorbance de l'échantillon.

II.3.7. 2. Puissance de l'activité de la réduction ferrique (FRAP)

- **Principe du test**

Cette méthode a été conçue pour évaluer la capacité du plasma à réduire le fer ferrique (Fe³⁺) en fer ferreux (Fe²⁺). En effet, le Fe³⁺ joue un rôle dans la formation du radical hydroxyle via la réaction de Fenton. À un pH faible, le Fe²⁺ forme un complexe avec la 2,4,6 -tris(2- pyridyl) - 1,3,5-s-triazine (TPTZ), qui présente une couleur bleue et une absorption maximale à 700 nm (Aboutleb & Azzouzi, 2020)

- **Mode opératoire**

Cents microlitres (100 µl) de l'échantillon (EAQ-AD ou Nano ZnO/Se-AgO ou L'acide ascorbique) à différentes concentrations (1, 1,5, 2, 2,5 et 5 mg/l) sont mélangés avec 100 µl de tampon phosphate à 0,2 M (pH 6,6) et 100 µl de solution de potassium ferricyanure (1 %). Ce mélange est ensuite incubé à 50 °C dans un bain-marie pendant 20 minutes. Après incubation, le mélange est laissé à refroidir à température ambiante. Par la suite, 250 µl d'acide trichloroacétique (TCA) à 10 % sont ajoutés. La solution obtenue est centrifugée à 3000 rpm pendant 10 minutes, puis un volume de 250 µl est prélevé. À ce volume, on ajoute 250 µl d'eau distillée et 500 µl de solution de chlorure ferrique (FeCl₃) à 0,1 %, de manière à obtenir un volume final de 1000 µl. L'absorbance de la solution résultante est mesurée après 2 minutes à 700 nm, en utilisant un blanc préparé de la même manière, où l'extrait est remplacé par de l'eau distillée pour calibrer l'appareil (spectrophotomètre UV-VIS) (Chahinez et al.,

2023), Une augmentation de l'absorbance indique une augmentation du pouvoir réducteur des extraits testés.

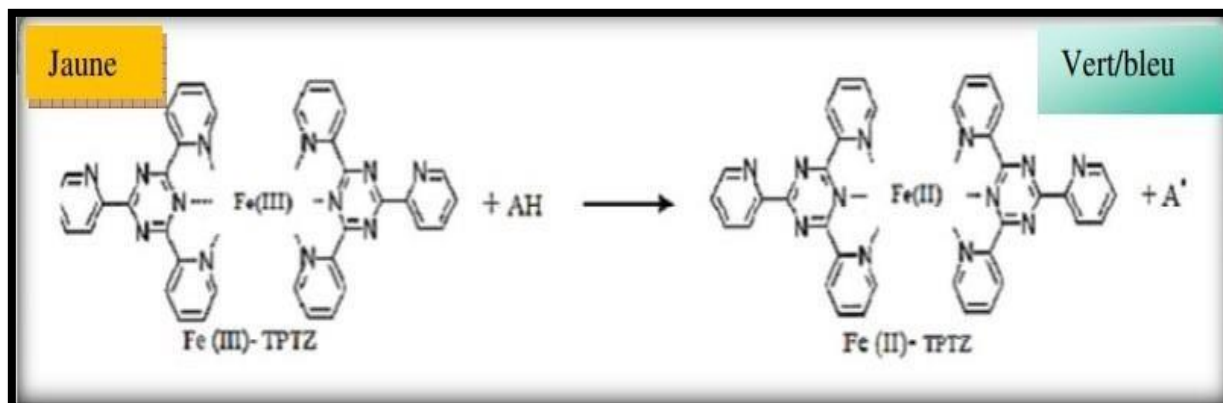


Figure 12: Mécanisme réactionnel intervenant lors du test FRAP entre le complexe tripyridyltriazine ferrique Fe (III)- TPTZ et un antioxydant (AH)(Aida & Mbarka, 2022)

II.3.7.3. Évaluation de la capacité antioxydante totale(TAC) par méthode du phosphomolybdate(PPM)

- **Principe du test**

Dans ce test, l'hydrogène et l'électron sont clairement transférés du composé réducteur (extrait antioxydant) vers le complexe oxydant (PPM). Notre expérience nous a appris que ce transfert est influencé par le potentiel redox, le pH du milieu et la structure du composé antioxydant. Le test repose sur la réduction du molybdène de l'état d'oxydation (VI) à l'état d'oxydation (V). Cette réduction se traduit par la formation d'un complexe verdâtre (phosphate/Mo (V)) dans un milieu acide. Notre méthode éprouvée permet d'évaluer avec précision la diminution de la coloration du complexe de molybdène (VI) en présence de l'antioxydant(Ramdane, 2018) .

- **Mode opératoire**

La méthodologie employée est celle détaillée par (Ramdane, 2018). Pour chaque échantillon (EAQ-AD ou Nano ZnO/Se-AgO ou L'acide ascorbique) 0,4 ml sont mélangés avec 4 ml d'un réactif composé de H_2SO_4 (0,6 M), de Na_3PO_4 (28 ml) et de molybdate d'ammonium (4 mm) dans des tubes à essai. Les tubes sont ensuite soumis à une agitation soignée, puis placés au bain-marie pendant une durée de 90 minutes à une température de 95 °C. Cette étape est

Suivie d'un refroidissement lent et contrôlé des tubes. L'absorbance est ensuite mesurée à une longueur d'onde de 695 nm. Parallèlement, une courbe standard à base d'acide ascorbique, dans une gamme de concentrations s'étendant de 20 à 100 µg/ml, est préparée selon les mêmes conditions. Les résultats obtenus sont exprimés en µg d'équivalent d'acide ascorbique par mg d'extrait. Il est à noter que l'ensemble des mesures est répété trois fois pour garantir la fiabilité des résultats.

II.3.8. L'activité anti-inflammatoire *in vitro*

- **Principe du test**

Afin d'évaluer l'activité anti-inflammatoire nous avons appliqué le test d'inhibition de la dénaturation thermique des protéines, tel que décrit par (Amira), en y apportant quelques modifications. Ce test repose sur l'inhibition de la dénaturation du BSA, induite par une température de 72 °C.

- **Mode opératoire**

Dans le cadre de cette expérience, 500 µl de chaque concentration (EAQ-AD ou Nano ZnO/Se-AgO ou L'acide ascorbique) a été mélangé avec 500 µl d'une solution de BSA à 0,2 % préparée dans du Tris HCl à pH 6,6. Le mélange a ensuite été incubé à une température de 37 °C pendant une durée de 15 minutes, puis placé dans un bain-marie à une température de 72 °C pendant 5 minutes. À la fin de l'incubation, le mélange a été agité vigoureusement, puis refroidi rapidement. La turbidité a ensuite été mesurée à 660 nm à l'aide d'un spectrophotomètre. L'absorbance a également été mesurée à 660 nm. Pour chaque concentration d'échantillon, un blanc a été préparé en combinant 500 µl d'échantillon avec 500 µl de Tris-HCl (0,05 M à pH 6,6). Cette procédure permet la soustraction de l'absorbance de l'extrait et du Tris-HCl des résultats obtenus, ce qui permet une analyse plus approfondie. Dans le cadre de cette étude, le diclofénac (50 µg/ml) a été utilisé comme référence pour l'anti-inflammatoire. L'évaluation de son activité anti-inflammatoire a été réalisée dans des conditions identiques à celles appliquées aux échantillons (Amira).

$$I(\%) = \frac{(Ac - At)}{Ac} \times 100 \text{Eq. (2)}$$

Ac : absorbance du contrôle (blanc), **At** : absorbance de l'échantillon (test).

II.3.9. Activité antibactérienne de l'extrait aqueux et Nano-composites ZnO/Se-AgO

Des expérimentations de nature antimicrobienne ont été réalisées sur des échantillons de référence de l'American Type Culture Collection (ATCC), fournis avec la permission de l'Institut Pasteur d'Algérie. Ces souches ont été sélectionnées en raison de leur forte pathogénicité et de leur résistance multi-résistante. Dans le cadre de la taxinomie des micro-organismes, les bactéries sont classifiées en deux grandes catégories en fonction de leur réaction à l'un des deux colorants, le Gram : les espèces Gram négatives et les espèces Gram positives. Parmi ces dernières, certaines sont pathogènes, c'est-à-dire qu'elles sont vectrices de maladies pour l'organisme hôte. Les souches suivantes sont concernées :

Dans le cadre de l'étude menée sur les micro-organismes, trois espèces ont été identifiées : *Staphylococcus aureus* ATCC 2592, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853, *Escherichia coli* ATCC 25922. Dans le cadre de l'expérimentation, les bactéries faisant l'objet de l'analyse ont été méticuleusement ensemencées sur des boîtes de Pétri. Ces boîtes de Pétri ont été préalablement préparées en incluant des milieux sélectifs spécifiquement adaptés aux caractéristiques des souches bactériennes concernées. Ensuite, les boîtes de Pétri ont été incubées avec soin à une température de 37 °C pendant une durée de 24 heures. Cette étape a pour objectif d'assurer l'obtention de colonies jeunes et parfaitement isolées, prêtes à être étudiées. Une fois le processus d'incubation achevé, l'échantillonnage bactérien se compose de 1 à 2 colonies bactériennes distinctes, parfaitement identiques et isolées. Ces dernières sont prélevées avec précision à l'aide d'une anse de platine, puis émulsionnées dans un tube contenant 10 ml d'eau physiologique. Cette étape est suivie d'une agitation au vortex, permettant une homogénéisation optimale des éléments. La concentration du milieu de culture a été ajustée à une densité de 0,5 Mc Farland, soit une mesure standardisée de 10⁸ unités formant une colonie (UFC) par millilitre. Les souches bactériennes ont été conservées à

la température ambiante dans des tubes contenant 3 ml de milieu incliné (gélose de conservation).

- **Méthodologie des tests antibactériens**

L'étude de la sensibilité des bactéries a été réalisée par la méthode de disque ou aromatogrammes. Cette technique est semblable à l'antibiogramme standard. Le principe de cette méthode repose sur le pouvoir de diffusion des extraits à étudier (EAQ-AD et Nano-composites ZnO/Se-AgO) sur milieu solide. Des disques de papiers buvard ou papier Watman 3° imprégnés des antibiotiques, des EAQ-AD ou Nano-composites ZnO/Se-AgO à tester sont déposés à la surface d'un milieu gélosé préalablement ensemencé avec une culture pure (Figure5). Après l'incubation (18h à 24h à 37°C), on observe autour des disques une zone circulaire indemne de colonies, appelée zone d'inhibition. Plus le diamètre de cette zone est grand, plus la souche est sensible à l'antibiotique, à l'EAQ-AD ou Nano ZnO/Se-AgO. Plus il est petit, plus la bacteria est résistante.

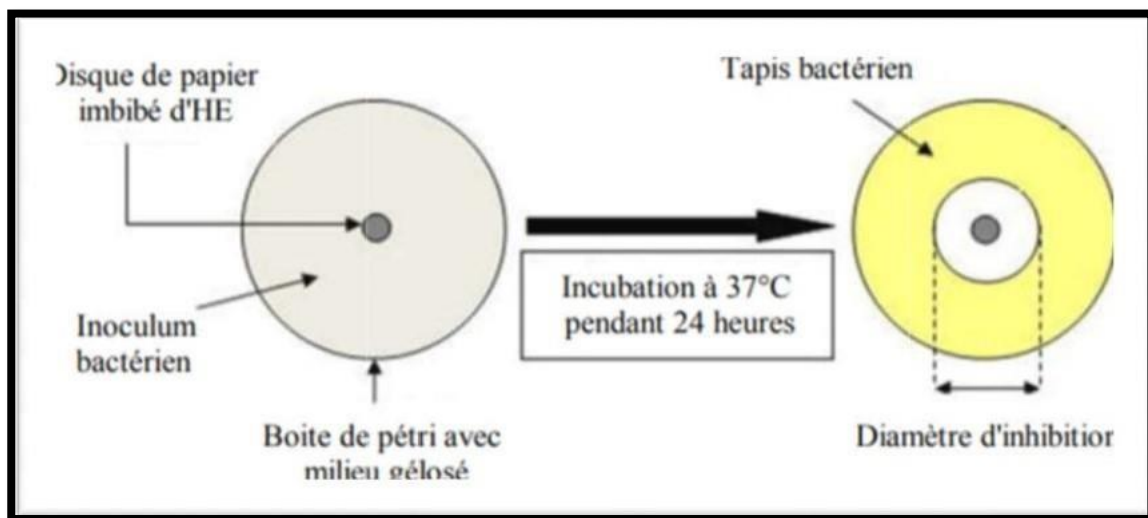


Figure 13: Principe de la méthode de la diffusion sur disque.

- **Ensemencement**

Vingt millilitres (20ml) de l'agar de Muller Hinton sont coulés dans des boîtes pétri, Après solidification du milieu de culture, 100 µl de la suspension microbienne à tester (10^8 UFC/ml) sont étalés en surface du milieu.

- **Dépôt des disques**

Pour effectuer les tests d'antibiogramme, des disques stériles sont imprégnés à l'aide d'une pince flambée au bec Bunsen. Les disques sont déposés sur la surface d'une boîte de Pétri contenant de la gélose de Mueller-Hinton (MH) préalablement préparée. Les disques sont imprégnés avec 10 µl de solutions du mélange à tester : Extraits aqueux à des concentrations de (50 mg), (25 mg) et (12,5 mg). Nanocomposites à des concentrations de (200 µg) et (100 µg). Le diméthylsulfoxy de (DMSO) à 10 % est utilisé comme contrôle négatif. Les antibiotiques suivants sont utilisés comme témoins positifs : l'Amoxicilline (AMX) à 25 µg et le Gentamicine 15 µg (GEM). Une fois les disques déposés à égale distance sur la surface de la gélose MH, les boîtes sont maintenues à température ambiante pendant 30 minutes pour permettre une pré-diffusion homogène des solutions. Ensuite, elles sont incubées à 37°C pendant 24 heures. Les essais sont réalisés en trois répétitions pour garantir la fiabilité des résultats. Les zones d'inhibition formées autour des disques sont mesurées en millimètres pour évaluer l'efficacité des substances testées.

Conclusion Générale

Au cours de ce travail, nous avons entrepris une série d'activités scientifiques structurées, allant de la collecte et la préparation de la plante *Atractylis delicatula*, à l'analyse phytochimique préliminaire visant à identifier les métabolites secondaires présents, en passant par la quantification des polyphénols et flavonoïdes. Nous avons ensuite utilisé l'extrait aqueux pour la synthèse verte de nanocomposites ZnO/Se-AgO-NPs, suivie par leur caractérisation à l'aide de techniques spectroscopiques et structurales. Ces matériaux ont été soumis à des tests biologiques afin d'évaluer leurs activités antioxydantes, anti-inflammatoires et antibactériennes.

Les résultats obtenus confirment le potentiel bioactif de cette espèce, notamment à travers l'efficacité antimicrobienne marquée des nanocomposites, en particulier contre *Staphylococcus aureus*. Ces résultats ouvrent la voie à des applications potentielles dans le domaine biomédical comme alternative naturelle aux agents antimicrobiens classiques. De plus, l'activité antioxydante et anti-inflammatoire observée chez l'extrait aqueux appuie son utilisation possible dans des formulations pharmaceutiques ou cosmétiques à base de plantes.

Sur la base de ces résultats, nous proposons les recommandations suivantes :

Approfondir l'analyse structurale des composés actifs par des techniques avancées (HPLC, LC-MS/MS).

Évaluer la toxicité aiguë et chronique des extraits et des nanocomposites pour assurer leur innocuité.

Étendre les essais à des modèles *in vivo* pour confirmer l'efficacité biologique.

Explorer des applications industrielles et environnementales des nanomatériaux, notamment dans le traitement des eaux ou la lutte contre la contamination microbienne.

En conclusion, cette étude aspire à valoriser une plante saharienne peu étudiée en montrant son intérêt scientifique, thérapeutique et technologique. Nous espérons qu'elle constituera un socle pour de futurs travaux visant à conjuguer savoir traditionnel, innovation et durabilité.

Références Bibliographiques

1. Abekhti, C., & Ben ahmed, R. (2019). Activités biologiques des polysaccharides hydrosolubles de deux plantes spontanées du sahara algérien. 32. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, El OUED: Université Echahid Hamma Lakhdar-.
2. Abid, A. (2023). Étude phytochimique et évaluation des activités biologique de *Atractylis aristata*). 56. Faculté des Mathématiques et des Sciences de la matière, Ouargla: Université Kasdi Merbah-Ouargla.
3. Aboutleb, A., & Azzouzi, A. (2020). Analyse des études sur l'activité antioxydant des extraits polaires de quelques plantes des genres *Smilax* et *Atractylis*. 31. FACULTE DES SCIENCES, LAGHOUAT: UNIVERSITE AMAR TELIDJI.
4. Agarwal, H., S., K. V., & S., R. (2017). A review on green synthesis of zinc oxide nanoparticles– An eco-friendly approach. 406-413. (3(4), Ed.) Resource-Efficient Technologies.
5. Ahid, S., et al. *Atractylis gummifera*: de l'intoxication aux méthodes analytiques. in Annales de Biologie Clinique. 2012.
6. Aichaoui, S. (2022).Extraction, séparation et identification des métabolites secondaires d'une plante médicinale (Mémoire de master académique, Université Kasdi Merbah de Ouargla). Spécialité : Chimie des produits naturels.
7. Aida, K., & Mbarka, H. (2022). Activité biologique (antioxydante et anti microbienne) des sirops de dattes. 17. FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE, OUARGLA: UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA.
8. Aida, K., & Mbarka, H. (2022). Activité biologique (antioxydante et anti microbienne) des sirops de dattes. 17. FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE, OUARGLA: UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA.
9. Akram, M. M. (2018). Évaluation des activités biologiques des extraits de la plante : *Atractylis flava* Desf. 33. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Batna: UNIVERSITE MUSTAFA BEN BOULAID - BATNA 2 -.
10. Albano, S. M., & Miguel, M. G. (2010). Biological activities of extracts of plants grown in Portugal. Industrial Crops and Products.
11. Amayar, K., Benredjem, I., & Machtri, M. (2023).Une enquête ethnobotanique sur les plantes médicinales utilisées dans le traitement des troubles neurologiques à Guelma, Algérie (Mémoire de master, Université de Guelma). Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie, Filière : Sciences Biologiques, Spécialité : Biochimie appliquée.

12. Amira, B. (s.d.). Toxicités et activités biologiques d'une plantes médicinales « *Atractylis gummifera* ». 28. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Sciences de la Terre et de l'Univers, Guelma: Université 8 Mai 1945 Guelma.
13. Amzel, C., & Bouzebra, S. (2023). Crème cicatrisante naturelle à base de la plante *Atractylis* (Screening phytochimique, évaluation de l'activité antimicrobienne et cicatrisante). Constantine, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie : Université Frères Mentouri Constantine 1 .
ANTIMICROBIENNE. Faculté des Sciences et Technologies , Ghardaïa: Université de Ghardaïa.
- AQUEUX ET METHANOLIQUE DE *Satureja calamintha* ssp.(*Nepeta*) briq. 2 , 1-7.
14. Ardestani, A., & Yazdanparast, R. (2007). Antioxidant and free radical scavenging potential of *Achillea santolina* extracts. 21–29. Institute of Biochemistry and Biophysics, The University of Tehran.
15. Asiminicesei, D.-M., Ionela Fertu, D., & Gavrilescu, M. (2024). Impact of Heavy Metal Pollution in the Environment on the Metabolic Profile of Medicinal Plants and Their Therapeutic Potential. <https://doi.org/10.3390/plants13060913>. (P. Jeyakumar, Ed.) Plants.
16. Assia, B. (2017). L'ulcère gastroduodéal à *Helicobacter pylori* : Aspects épidémiologique et phytothérapeutique traditionnel en Nord-Est Algérien. 110. (Assia, Éd.) Sétif, Sétif : Université Ferhat Abbas Sétif 1.
17. ATHAMENA Souad. (2009). ETUDE QUANTITATIVE DES FLAVONOÏDES
18. Badaoui, M. I., Magid, A. A., Benkhaled, M., Bensouic, C., Harakat, D., Nazabadioko, L. V., et al. (2021). Pyrroloquinolone A, a new alkaloid and other
19. Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., & Idaomar, M. (2008). Biological effects of essential oils—a review. *Food and chemical toxicology*, 46(2), 446-475.
20. Beddek, M., & Hedjar, L. (2018). Etude phytochimique et activités biologiques d'une plante médicinale du bassin méditerranéen le romarin « *Rosmarinus officinalis* L ». Tizi-Ouzou, Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques: Université Mouloud Mammeri.
21. Belmahi, M. H. (2020). TOXICOLOGIE DU CHARDON A GLU « *Atractylis*
22. Ben kahla, O., Guermit, O. E., Manane, N., Salhi, K., & Zidi, S. (2023). Etude bibliographique des nanocomposites et de leurs applications . El Oued, Faculté de Technologie:

23. Benalia, H., & Naili, D. (2020). Evaluation de l'activité antioxydant de l'extrait des feuilles d'olivier. Burj Bouaririg, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers: Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi- B.B.A.
24. Benbouziane, F. Z., & Benedd, F. Z., & Beneddra, M. (2016). Contribution à une étude botanique et chimique du chardon à glu du chardon à glu, *Atractylis gummifera* L., famille des Asteraceae* (Mémoire de master, Université Abou Bekr Belkaïd, Faculté de Médecine, Département de Médecine, Département de Pharmacie).
25. Benmehiema, Y., & Bensafi, N. (2018). SYNTHÈSE VERTE DES NANOPARTICULES D'ARGENT APPLICATION À LA DÉGRADATION DU
26. Bennur, P. L., O'Brien, M., Fernando, S. C., Doblin, M. S., & Doblin. (2025). Improving transformation and regeneration efficiency in medicinal plants: insights from other recalcitrant species. 76 , 52–75. (J. o. Botany, Ed.) Rainer Melzer, University College Dublin, Ireland.
27. Benyoub, A., Beraghta, M., & Chirouf, A. (n.d). Toxicités et activités biologiques d'une plantes médicinales « *Atractylis gummifera* ». Guelma, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Sciences de la Terre et de l'Univers: Université 8 Mai 1945 Guelma.
28. Bllatreche, R., & Menadi, C. (2022). EVALUATION DE L'ACTIVITÉ BIOLOGIQUE DES NANOPARTICULES MÉTHALLIQUES BIOSYNTHÉTIQUES
29. Bouabid, K., & al, e. (2020). Phytochemical investigation, in vitro and in vivo antioxidant properties of aqueous and organic extracts of toxic plant: *Atractylis gummifera* L. Morocco: Journal of ethnopharmacology.
30. Bouabid, K., Lamchouri, F., Hamid, T., & My El Abbes, F. (2020). Phytochemical investigation, in vitro and in vivo antioxidant properties of aqueous and organic extracts of toxic plant: *Atractylis gummifera* L. Journal of ethnopharmacology.
31. Bouaziz, M., Dhouib, A., Loukil, S., Boukhris, M., & Sayadi, S. (2009). Polyphenols content, antioxidant and antimicrobial activities of extracts of some wild plants collected from the south of Tunisia. (8 (24) , 7017-7027. Tunisie: African Journal of Biotechnology.
32. BOUCHEMAL, H., & BOUHALI, S. (2019). Etude de l'activité anti- oxydante in vitro des

extraits de deux plantes spontanées du diplôme de Master . Laghouat, Faculté des Sciences : Université Amar Telidji - Laghouat.

33. Bouchria, s., & Bougrine, k. (2018). Etude de l'activité antioxydante des extraits de quelques plantes médicinales locales. . LAGHOUAT , FACULTE DES SCIENCES: UNIVERSITE AMAR TELIDJI LAGHOUAT.

34. bougandoura, N., & bendimerad, N. (2013). Evaluation de l'activité antioxydante des extraits aqueux et méthanolique de *Satureja calamintha* ssp. *Nepeta* (L.) Briq. 9 , 14 à 19. Nature & Technologie ». B- Sciences Agronomiques et Biologiques.

35. BOUGANDOURAN, & B. N. (2012). EFFET ANTIFONGIQUE DES EXTRAITS

36. Bougheouat, A., & al, e. (2018). Étude in vitro de l'activité inhibitrice des extraits de quelques plantes locales sur l' α -amylase. 18. FACULTE DES SCIENCES, LAGHOUAT: UNIVERSITE AMAR TELIDJI.

37. Bougheouat, A., & Rabhi, B. D. (2018.). Étude in vitro de l'activité inhibitrice des extraits de quelques plantes locales sur l' α -amylase. LAGHOUAT, FACULTE DES SCIENCES: UNIVERSITE AMAR TELIDJI LAGHOUAT.

38. Boulguendoul, M., & Remouche, C. (2024). Enquête ethnobotanique quantitative sur les plantes médicinales utilisées dans la ville de Constantine (Mémoire de master, Université Constantine 1 Frères Mentouri). Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie, Filière : Sciences Biologiques, Spécialité : Biochimie Appliquée.

39. Boulkoumane, K., & Mouissi, M. F. (2021). Synthèse des nanoparticules d'argent par méthode biologique pour des applications antibactériennes et photocatalytiques. OUARGLA , Faculté des sciences appliquées : UNIVVRSITÉ KASDI MERBAH.

40. Chabani, S., Haba, H., Lavaud, C., Benkhaled, M., & Harakat, D. (2013). Flavonoid glycosides and triterpenoids from *Atractylis flava*. 6(1), 9-13. Phytochemistry Letters.

41. Chahinez, C., & al, e. (2023). Étude des effets antioxydants des polysaccharides hydrosolubles de *Plantago albicans* L. (Plantaginaceae). 35. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, El OUED: Université Echahid Hamma Lakhdar.

42. Chaima, A., & Selma, B. (2023). Crème cicatrisante naturelle à base de la plante *Atractylis* (Screening phytochimique, évaluation de l'activité antimicrobienne et cicatrisante). Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Constantine: Université frères mentouri constantine 1.

43. Chakou, F. Z., & Boual, Z. (2021). Pharmacological Investigations in Traditional Utilization of *Alhagi maurorum* Medik. in Saharan Algeria: In Vitro Study of Anti- Inflammatory and Antihyperglycemic Activities of Water-Soluble Polysaccharides Extracted from the Seeds. Plants : HAL.
44. Chehma A., 2006. Catalogue des plantes spontanée du Sahara septentrional algérien
45. Christianson, D. W. (2017). Structural and chemical biology of terpenoid cyclases. Chemical reviews, 117(17), 11570-11648.
46. Dabouz, C., & Miziani, D. (2022). Métabolites secondaires du genre *Centaurea* diplôme de Master . Constantine, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie: Université Frères Mentouri, Constantine 1.
47. Dahmani, M. M. (2019). Evaluation de l'activité biologique des polyphénols de *Carthamus caeruleus* L (Asteraceae). BOUMERDES, Faculté des Sciences : UNIVERSITE DE M'HAMED BOUGUERA.
48. Debuigne, G. (1974). Plante médicinales et forme d'utilisation en phytothérapie. Thèse de doctorat en pharmacie. Université of Lorraine.
49. Djemai Zouglache, S. (2009). Étude de l'activité biologique des extraits du fruit de *Zizyphus lotus* L. (Mémoire de Magister, Université El Hadj Lakhdar - Batna, Faculté des Sciences, Département de Biologie). Option : Biochimie Appliquée.
50. Ealias, A. M., & Saravanakumar, M. P. (2017). A review on the classification, characterisation, synthesis of nanoparticles and their application. IOP Conf Materials Science and Engineering.
51. El Rhaffari, L. and A. Zaid, Pratique de la phytothérapie dans le sud-est du Maroc (Tafilalet): Un savoir empirique pour une pharmacopée rénovée. Des sources du savoir aux médicaments du futur, 2002. 1: p. 293-318.
52. El-Behery, R. R., El-Sayed, E.-S. R., & El-Sayyad, G. S. (2023). Gamma rays- assisted bacterial synthesis of bimetallic silver-selenium nanoparticles: powerful antimicrobial, antibiofilm, antioxidant, and photocatalytic activities. 2 -18. El-Behery et al. BMC Microbiology.
- EXTRAITS AQUEUX ET METHANOLIQUE DE *Satureja calamintha* ssp.(*Nepeta*) briq. 2 , 1-7.
53. Farah, R. (2018). Contribution à l'étude des activités biologiques de quelques plantes médicinales du Sahara algérien: *Nauplius graveolens*, *Zizyphus lotus* et *Capparis spinosa*. 45-55.

54. Fetni Fatma, Z. (2022). Caractéristique physicochimiques et biologique de *Psyllium* issus de *Plantago ciliata* récolté dans la région de Zelfana. 39. Faculté des Sciences de nature et de la vie, OUARGLA: UNIVERSITÉ KASDI MERBAH.

55. Filleul, E., Les Astéracées: description botanique, biologique et étude de plantes médicinales et toxiques, 2019.

56. Franci, G., Falanga, A., Galdiero, S., Palomba, L., Rai, M., Morelli, G., et al. (2015). Silver Nanoparticles as Potential Antibacterial Agents. 20, 8856-8874. Academic Editor: Peter J. Rutledge.

57. Ghemam hamed, Z., Ben mansour, K., Souadkia, C., & Sayad, F. (2023). Contribution à l'etude phytochimique et les activités biologiques "in vitro et in vivo" de l'extrait aqueux de *Pituranthos chloranthus* (Ghezze). El Oued, Faculté des sciences de la nature et de la vie: Université Echahid Hamma Lakhdar .

58. Ghhemam, Z. h., Ben mansour, K., Souadkia, C., & Sayad, F. (-2023). Contribution à l'etude phytochimique et les activités biologiques "in vitro et in vivo" de l'extrait aqueux de *Pituranthos chloranthus* (Ghezze). Faculté des sciences de la nature et de la vie , El Oued: Université Echahid Hamma Lakhdar .

59. Ghhemam, Z. h., Ben mansour, K., Souadkia, C., & Sayad, F. (-2023). Contribution à l'etude phytochimique et les activités biologiques "in vitro et in vivo" de l'extrait aqueux de *Pituranthos chloranthus* (Ghezze). Faculté des sciences de la nature et de la vie , El Oued: Université Echahid Hamma Lakhdar .

60. Gulcin, I., & Alwasel, S. H. (2023).DPPH radical scavenging assay. Processes, MDPI, page 5. Department of Chemistry, Faculty of Sciences, Atatürk University, Erzurum, Turkey; Department of Zoology, College of Science, King Saud University, Riyadh, Saudi Arabia.

gummifera L. »Etude analytique, toxicocinétique et évaluation in vivo et in vitro du principe actif « Atractyloside ». CONSTANTINE, FACULTE DE MEDECINE: UNIVERSITE DE CONSTANTINE 3 .

61. Guo, W.-Q., et al., Anti-proliferative effects of *Atractylis lancea* (Thunb.) DC. via down-regulation of the c-myc/hTERT/telomerase pathway in Hep-G2 cells. Asian Pacific Journal of Cancer Prevention, 2013. 14(11): p. 6363-6367.

62. Hayouni, E. A., Abedrabba, M., Bouix, M., & Hamdi, M. (2007). The effects of solvents and extraction method on the phenolic contents and biological activities in vitro of Tunisian

Quercus coccifera L. and *Juniperus phoenicea* L. fruit extracts. 105- 1126–1134. Food Chemistry .

63. Hoyouni. (2007).

64. <https://www.floramaroccana.fr/a.-delicatula.html>

65. Iserin P. ;2001 - Larousse des plantes médicinales, identification, préparation, soins. 287 p.

66. Kendil, W. (2020). Contribution à l'étude phytochimique et activité antioxydante du rhizome d'*Atractylis gummifera* (Mémoire de master, Université Abou Bekr Belkaïd – Tlemcen, Algérie).

67. KHOLKHAL, W. (2015). Etude phytochimique, Activité antimicrobienne et Activité antioxydante d'*Atractylis humilis*, d'*Eryngium maritimum* et de *Salvadora persica*. Faculté Des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la Terre et de l'Univers: Université Abou Bekr Belkaïd .

68. Kholkhal, W. (2015). Étude phytochimique, activité antimicrobienne et activité antioxydante d'*Atractylis humilis*, d'*Eryngium maritimum* et de *Salvadora persica* (Thèse de doctorat, Université Abou Bekr Belkaïd, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la Terre et de l'Univers, Département de Biologie, Laboratoire de Recherche « Produits Naturels » - LAPRONA). Option : Substances Naturelles : Activités Biologiques et Synthèse.

l'extraction des composés phénoliques de différentes parties de la fleur d'artichaut (*Cynara scolymus* L.) . B- Sciences Agronomiques et Biologiques,: Nature & Technologie.

69. LAD, W. (2008). The in vitro Anti-denaturation Effects Induced by Natural Products and Non-steroidal Compounds in Heat Treated (Immunogenic) Bovine Serum Albumin is Proposed as a Screening Assay for the Detection of Anti-inflammatory Compounds, without the use of Animal . Early Stages of the Drug Discovery Process

70. LAD, W. (2008). The in vitro Anti-denaturation Effects Induced by Natural Products and Non-steroidal Compounds in Heat Treated (Immunogenic) Bovine Serum Albumin is Proposed as a Screening Assay for the Detection of Anti- inflammatory Compounds, without the use of Animal . Early Stages of the Drug Discovery Process . West Indian Med J.

71. Linlin, W., & Chen Hu, L. S. (2017). The antimicrobial activity of nanoparticles: present situation and prospects for the future. 2 , 1227–1249. International Journal of Nanomedicine.

72. M'cili, M., & Melghid, I. (2020). Le rôle des plantes médicinales dans la prévention contre les dommages oxydatifs. Constantine, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie: Université des Frères Mentouri .

73. MAHMOUDI, S., KHALI, M., & MAHMOUDI, N. (2013). Etude de l'extraction
74. Melakhessou, A. M. (2018). Évaluation des activités biologiques des extraits de la plante : *Atractylis flava* Desf THESE DE DOCTORAT . BATNA, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie : UNIVERSITE MUSTAFA BEN BOULAID BATNA 2 -.
75. Mellouk. (2013). Étude des activités antioxydante et antimicrobienne des flavonoïdes et des fractions flavoniques de la partie aérienne de *Pituranthos chloranthus* (Guezzeh) de la région de Biskra. Mémoire pour obtenir le grade de master académique en biologie moléculaire et cellulaire.: Université abou bekr belkaid-tlemcen.
76. Mihaylova, D., & Lante, A. (2019). Water an Eco-Friendly Crossroad in Green Extraction: An Overview. 13 , 155-162. (T. O. Journal, Ed.) The Open Biotechnology Journal.
77. Moghaddam, M., & Mehdizadeh, L. (2017). Chemistry of Essential Oils and Factors Influencing Their Constituents. Soft Chemistry and Food Fermentation.
78. Mohammed, M. H., & Ahlem, B. (2020). synthese, caracterisation des nanoparticules d'argent a base d'extrait des feuilles de plantes et evaluation de leur activite antioxydante et antimicrobienne. Faculté des Sciences et Technologies , Ghardaïa: Université de Ghardaïa.
79. Ngezahayo, E., Komariah, K., & Masykuri, M. (2025). The climate change influence on Indonesia medicinal plants. (<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202560503062>, Ed.) E3S Web of Conferences 605, 03062.
80. Oumelkhir, D., & Ibtiham, B. (2021). Recherche des composés à activité biologique dans les dattes et activité antimicrobienne de leurs extraits. 28 -29. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, OUARGLA: UNIVERSITE KASDI MERBAH.
81. Oves, M., Aslam, M., Rauf, M. A., Qayyum, S., Qari, H. A., Shahnawaz Khan, M., et al. (2018). Antimicrobial and anticancer activities of silver nanoparticles synthesized from the root hair extract of *Phoenix dactylifera*. C 89 429–443. Materials Science & Engineering.
82. Ozenda, 1991. Flore et végétation du Sahara, 3ème édition,. PARIS: du CNRS. PAR DES MICROORGANISME . Faculté de la Science : Université Yahia Farès de Médéa phytochemicals from *Atractylis cancellata* L. with antioxidant and anticholinesterase activities. 35(18), 2997-3003. . Natural product research,.
83. Puja, A. M., Eshrat Jahan, R., Kim, e. J., & Deok-ChunYang. (2023). Medicinal Plant Enriched Metal Nanoparticles and Nanoemulsion for Inflammation Treatment: A Narrative Review on Current Status and Future Perspective. (<https://www.mdpi.com/journal/immuno>, Ed.)

84. Quzel et Santa, 1962-1963. Nouvelle flore de l'Algérie et des régions. C.N.R.S., éd. Paris,: 2 vol..
85. RAINA, H., Garima, S., Nupur J, A., Neelam, S., & Navneeta, B. (2014). Phytochemical importance of medicinal plants as potential sources of anticancer agents. (J. o. Botany<https://journals.tubitak.gov.tr/botany/vol38/iss6/1>, Ed.) Department of Biotechnology, Delhi Technological University, Delhi, India.
86. Ramdane, F. (2018). Contribution à l'étude des activités biologiques de quelques plantes médicinales du Sahara algérien: *Nauplius graveolens*, *Ziziphus lotus* et *Capparis spinosa*. 54-55. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, OUARGLA: UNIVERSITE KASDI MERBAH.
87. Redjimi, R., Guerari, A., & Delimi, D. R. (2022). Rôle du sélénium dans l'atténuation du stress oxydant. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Constantine: Université Frères Mentouri, Constantine 1.
88. Ribeiro, S., Barbosa, L. C., Queiroz, J., Kno'dler, M., & Schieber, A. (2008). Phenolic compounds and antioxidant capacity of Brazilian mango (*Mangifera indica* L.) varieties. 620–626, 110. Food Chemistry.
89. Saadoun, S. R., Saifi, I., & Ziane, M. (2018). **Évaluation** des activités biologiques des extraits d'une plante algérienne appartenant au genre *Mentha* (Mémoire de master, Université des Frères Mentouri Constantine). Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie, Filière : Sciences Biologiques, Spécialité : Biochimie appliquée.
90. Sangeetha, M., & Kousalya, K. (2011). In-vitro Anti-inflammatory and Anti- arthritic Activity of Leaves of *Cleodendron Inerme*. Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences.
- secondary metabolites in hydroponically grown medicinal plants.
91. Shigenori, K., Hamasaka, T., & Nakayama, T. (2004). Antioxidant activity of propolis of various geographic origins. Food Chemistry.
92. Shobana, S., Veena, S., M, M., Dlamini, Z., & Ansel, L. V. (2024). Selenium Nanoparticles: A Comprehensive Examination of Synthesis Techniques and Their Diverse Applications in Medical Research and Toxicology Studies. 29, 801. (X. Wu, Ed.) Molecules .
93. Sifouane, S., Benabdelaziz, I., Benkhalel, M., -Ruiz, S. G., Carralero, S., & Haba, H. (2020). Anewaryl tetralin lignan and other phytoconstituents from *Atractylis humilis*. 90,

104018. Biochemical Systematics and Ecology.

94. Sources du savoir aux médicaments du futur, 2002. 1: p. 293-318. Chen, L.-Y., A. Hu, and C.-J. Chang, The degradation mechanism of toxic atractyloside in herbal medicines by decoction. *Molecules*, 2013. 18(2): p. 2018-2028.

95. Su, X., Duan, J., Jian, Y., Shi, J., & Kakuda, Y. (2006). Effects of soaking conditions on the antioxidant potentials of oolong tea. *Journal of Food Composition and Analysis*.

96. Ulukuş, D., Mirza, S., Hussaini, A. A., Öztürk, T., Toprak, A., Uysal, A., et al. (2025). Green Synthesis of Selenium-Doped Nanocomposites for Photocatalytic Degradation of Dyes, Antibiotics, and Antibacterial Activities. <https://doi.org/10.1007/s10904-025-03773-w>: *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*.

97. Venkatasai, N. N., Devija N., S., Chigateri M., V., Mahendran, S., Annamalai, M., & Padmalatha S., R. (2025). A comprehensive review of factors affecting growth and

98. Zemouli, N., Ramdane, F., & Guezoun, N. (2024). Exploring the Antioxidant, Anti-Inflammatory, and Antibacterial Properties of Green-Synthesized ZnO Nanoparticles Using *Juniperus phoenicea* L. *Chemistry Africa*.

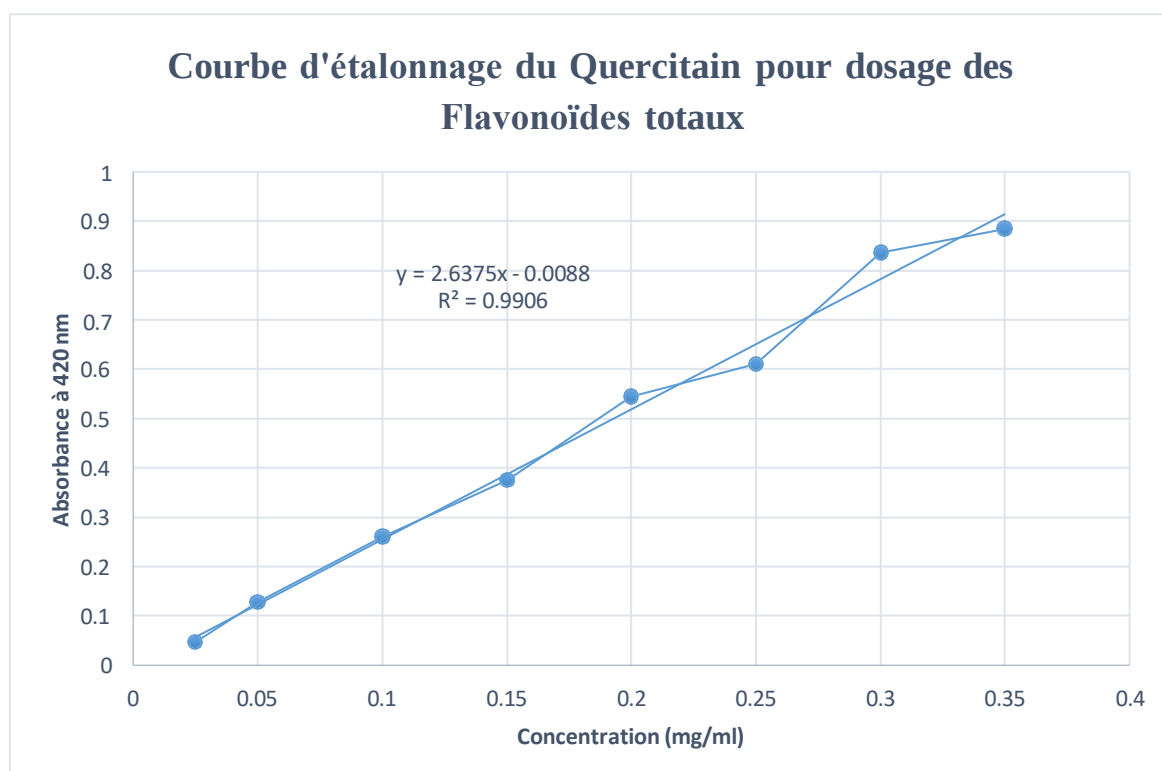
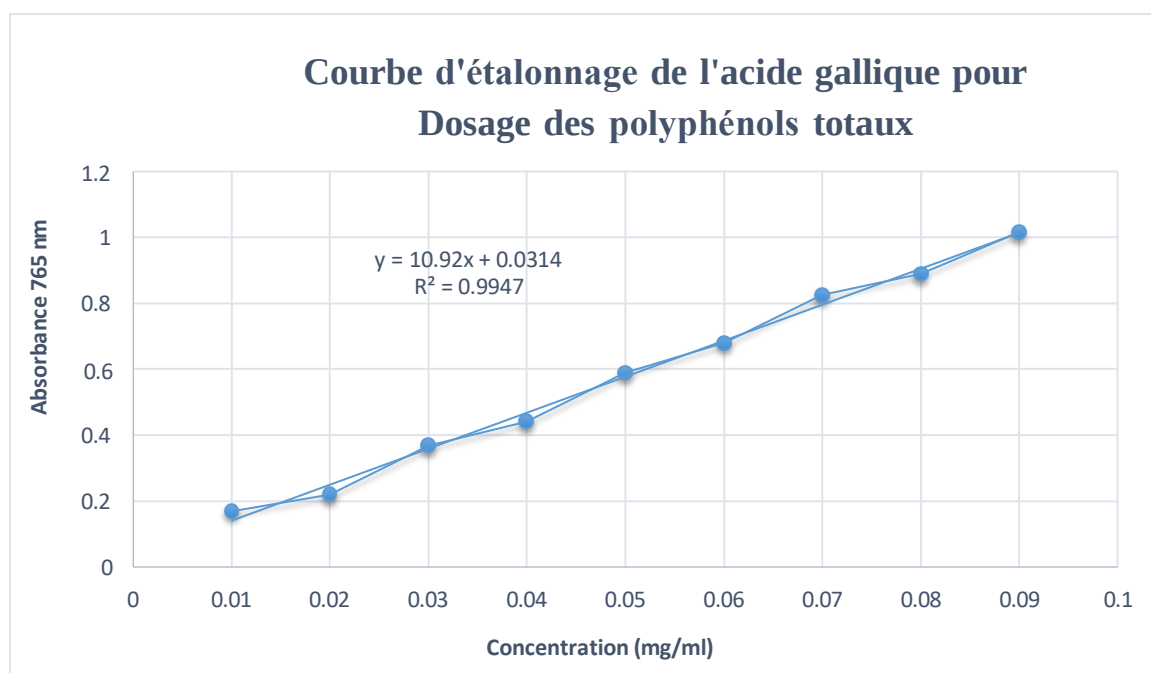
99. Zid, N., & Guessoum, N. (2021). Elaboration et caractérisation des nanoparticules à partir d'extrait aqueux d'une plante aromatique . Faculté des sciences appliquées : UNIVERSITÉ KASDI MERBAH OUARGLA.

100. Zineb, G. H., & al, e. (2023). Contribution à l'étude phytochimique et les activités biologiques "in vitro et in vivo" de l'extrait aqueux de *Pituranthus chloranthus* (Ghezze). 50. Faculté des sciences de la nature et de la vie, El Oued: Université Echahid Hamma Lakhdar.

101. Green Synthesis of Selenium-Doped Nanocomposites for Photocatalytic Degradation of Dyes, Antibiotics, and Antibacterial Activities. <https://doi.org/10.1007/s10904-025-03773-w>: *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*.

102. Zemouli, N., Ramdane, F., & Guezoun, N. (2024). Exploring the Antioxidant, Anti-Inflammatory, and Antibacterial Properties of Green-Synthesized ZnO Nanoparticles Using *Juniperus phoenicea* L. <https://doi.org/10.1007/s42250-024-01109-8>, Ed.) *Chemistry Africa*

Annexes



Courbe d'étalonnage de l'acide ascorbique pour la détermination de capacité antioxydante totale

