



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Université de Echahid Hamma Lakhdar El-Oued

Département de Biologie cellulaire et moléculaire



Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Science biologique

Spécialité : Biochimie appliquée

Thème:

Exploration du genre *Atractylis* :
Potentiel pharmacologique des huiles fixes extraites
d' *Atractylis aristata*

Présenté par :

TALBI Aicha

TOUAHRIA Safa

LIMANE Nesrine

Soutenu publiquement

29/05/2025

Devant le jury

Président	MEDJOUR Abdelhak	Professeur. Univ. El-Oued
Encadreur	MEKHADMI Nour Elhouda	MCA. Univ. El-Oued
Co-encadreur	Asma Abid	Dr. Univ. El-Oued
Examineur	Touati Said	Professeur. Univ. El-Oued

Année universitaire :2024/2025

Résumé

Cette étude évalue le potentiel pharmacologique de *Atractylis aristata* à travers l'analyse de son extrait hydroéthanolique et de son huile fixe. Les rendements d'extraction obtenus sont de 5,62 % pour l'extrait et de 3,17 % pour l'huile, témoignant d'une bonne efficacité d'extraction des composés bioactifs. L'analyse phytochimique a révélé des teneurs modérées en polyphénols, flavonoïdes et tanins condensés, reconnus pour leurs propriétés antioxydantes et thérapeutiques. Les tests antioxydants (DPPH, TAC, ABTS, FRAP) ont confirmé une capacité significative de piégeage des radicaux libres pour l'extrait, tandis que l'huile a montré une activité limitée. L'évaluation anti-inflammatoire par inhibition de la dénaturation de l'albumine (BSA) a révélé une activité dose-dépendante : l'huile est très efficace à faibles concentrations (comparable au diclofénac), et l'extrait devient plus actif à fortes doses. Le test de cytotoxicité sur *Saccharomyces cerevisiae* a indiqué que l'extrait est faiblement toxique uniquement à 20 mg/mL, tandis que l'huile s'est avérée totalement non toxique à toutes les concentrations. L'activité antidiabétique, évaluée par l'inhibition de l' α -amylase, a montré une efficacité modérée pour les deux extraits, l'huile étant légèrement plus active que l'extrait, mais inférieure à celle de l'acarbose. L'activité antibactérienne a révélé une forte inhibition de *Staphylococcus aureus* par l'extrait, une activité modérée contre les bactéries Gram négatif à forte concentration, et une efficacité très limitée de l'huile.

En conclusion, *Atractylis aristata* constitue une source naturelle prometteuse de composés bioactifs dotés de propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires, antidiabétiques et antibactériennes, justifiant des recherches approfondies pour des applications pharmaceutiques et thérapeutiques.

Mots clés : *Atractylis* , *Atractylis aristata* , , huile fixe , extrait, composés phénoliques, activité biologique.

Abstract

This study explores the pharmacological potential of *Atractylis aristata* through the evaluation of its hydroethanolic extract and fixed oil. The extraction yields were 5.62% for the extract and 3.17% for the oil, reflecting efficient recovery of bioactive compounds. Phytochemical analysis revealed moderate levels of polyphenols, flavonoids, and condensed tannins, known for their antioxidant and therapeutic properties. Antioxidant assays (DPPH, TAC, ABTS, FRAP) confirmed a significant radical scavenging capacity of the extract, while the oil showed limited activity. Anti-inflammatory evaluation using BSA denaturation inhibition demonstrated dose-dependent effects, with the oil showing high efficacy at low concentrations, close to diclofenac, and the extract showing increasing activity at higher doses. Cytotoxicity assays on *Saccharomyces cerevisiae* indicated that the extract was safe at moderate concentrations, with slight toxicity at 20 mg/mL, while the oil was non-toxic at all tested doses. The antidiabetic potential, assessed via α -amylase inhibition, revealed moderate activity for both the extract and oil, with the oil outperforming the extract but remaining less effective than acarbose. Antibacterial screening showed strong activity of the extract against *Staphylococcus aureus*, moderate activity against Gram-negative bacteria at high doses, and weak antibacterial potential for the oil. Overall, *Atractylis aristata* appears to be a promising natural source of bioactive compounds with antioxidant, anti-inflammatory, antidiabetic, and antibacterial properties, justifying further investigation for pharmaceutical and therapeutic applications.

Keywords: Atractylis, Atractylis aristata, fixed oil, extract, phenolic compounds, biological activity.

ملخص

تستكشف هذه الدراسة الإمكانيات الدوائية لنبات **Atractylis aristata** من خلال تقييم مستخلصه الهيدروإيثانولي والزيت الثابت المستخلص منه. بلغت نسب الاستخلاص 5.62% للمستخلص و3.17% للزيت، مما يعكس فعالية جيدة في استخراج المركبات النشطة بيولوجياً. كشفت التحاليل الكيميائية النباتية عن وجود مستويات متوسطة من البوليفينولات والفلافونويدات والتانينات المكثفة، المعروفة بخصائصها المضادة للأكسدة والعلاجية.

أكدت اختبارات النشاط المضاد للأكسدة (FRAP ، ABTS ، TAC ، DPPH) قدرة عالية للمستخلص على التفاعل مع الجذور الحرة، في حين أظهر الزيت نشاطاً محدوداً في هذا الجانب. أظهر التقييم المضاد للالتهابات باستخدام اختبار تثبيط تحلل بروتين مصّل الألبومين البقري (BSA) تأثيراً يعتمد على الجرعة، حيث أظهر الزيت فعالية عالية بتركيزات منخفضة تقارب فعالية دواء ديكلوفيناك، في حين ازدادت فعالية المستخلص مع زيادة الجرعة.

أظهرت اختبارات السمية الخلوية على **Saccharomyces cerevisiae** أن المستخلص آمن عند التركيزات المتوسطة، مع ظهور سمية طفيفة عند تركيز 20 ملغ/مل، بينما لم يُظهر الزيت أي سمية في جميع الجرعات المختبرة. أما فيما يخص النشاط المضاد لمرض السكري، والذي تم تقييمه من خلال تثبيط إنزيم **α -amylase** ، فقد أظهر كل من المستخلص والزيت نشاطاً متوسطاً، مع تفوق الزيت على المستخلص، لكنه بقي أقل فعالية من دواء **acarbose**

أما الفحص المضاد للبكتيريا، فقد أظهر نشاطاً قوياً للمستخلص ضد **Staphylococcus aureus**، ونشاطاً متوسطاً ضد البكتيريا Gram⁻ عند الجرعات العالية، بينما أظهر الزيت نشاطاً ضعيفاً كمضاد للبكتيريا.

بشكل عام، يبدو أن نبات **Atractylis aristata** يشكل مصدراً واعداً طبيعياً للمركبات النشطة بيولوجياً ذات خصائص مضادة للأكسدة، ومضادة للالتهاب، ومضادة للسكري، ومضادة للبكتيريا، مما يبرر إجراء المزيد من الدراسات لاستخدامه في التطبيقات الصيدلانية والعلاجية.

الكلمات المفتاحية : Atractylis ، Atractylis aristata ، زيت ثابت، مستخلص، مركبات فينولية، النشاط البيولوجي.

Dédicace

Nous n'avons entamé ce parcours que par Sa grâce, et nous n'en avons atteint la fin que par Son aide.

Je dédie ce succès d'abord à moi-même, puis à tous ceux qui ont cheminé à mes côtés tout au long de cette aventure.

À ceux dont le front a été perlé de sueur, et qui m'ont appris que la réussite ne vient qu'avec la patience et la persévérance.

À la lumière qui a éclairé mon chemin, et à la flamme éternelle qui brille dans mon cœur.

À celui qui a tout sacrifié et en qui j'ai puisé ma force et ma fierté...

Mon père, Salah.

À celle dont le paradis repose sous ses pieds, celle qui, par ses prières, a allégé les épreuves de ma vie,

À cette femme exceptionnelle qui a toujours rêvé de voir ce jour se réaliser...

Ma mère, Saïda.

À mon pilier et refuge, à ceux qui ont renforcé mon bras et m'ont été des sources inépuisables de soutien,

À la crème de mes jours : mes frères **Mostapha** et **Ala**, et ma chère sœur **Khadidja.**

À celui qui partage mes jours, qui m'a insufflé force et confiance, et m'a soutenue sans relâche pour que j'atteigne ce que je suis aujourd'hui...

Mon fiancé.

À mes camarades espiègles **Safa** et **Nesrine**, mes compagnes de lutte et de persévérance sans vérité, travail et volonté, nous n'en serions jamais arrivées là.

Et enfin, louange à Dieu qui nous a permis d'atteindre les portes de la fin de ce parcours..

Louange à Dieu, par Sa grâce s'accomplissent les bonnes choses

Dédicace

Le début de la pluie est une goutte, et le début d'un voyage de mille kilomètres commence par un seul pas. Me voici maintenant, ouvrant la voie, voyant mon espoir à sa fin briller de lumière. Mon début vers ce rêve a commencé ici, à partir de cette page qui a été écrite avec le cœur, pas avec la plume. Dans ce carnet se trouve un voyage de diligence écrit par des plumes dont les pages rassemblent l'histoire d'un érudit assidu pendant plus de dix-huit années consécutives. Me voici, terminant une histoire qui a commencé par un rêve et s'est terminée par un accomplissement, d'une enfant à une jeune femme ambitieuse... Le temps ne nous fera pas oublier le chemin qui nous a amené à ce seuil. Premièrement Je dédie ma remise de diplôme à moi-même qui ai été patient et qui ai porté le fardeau et le poids des jours, à mes yeux qui étaient lourdement cernés de khôl, à mon cœur qui a beaucoup supporté et défié les difficultés. À mon père, à ma mère et à ma famille qui m'ont encouragé à chaque étape pour arriver là où je suis maintenant, merci. Le succès n'est possible que grâce à vous et l'obtention du diplôme n'est possible que grâce à vous. Que Dieu te garde comme un soutien et une fierté pour moi aussi longtemps que je vivrai... À mes amies Aicha Talbi, Safa Touahariya et au reste des collègues qui ont porté le fardeau du voyage avec moi et qui ont été le meilleur soutien pour moi, je vous souhaite du succès et des conseils. À tous mes professeurs qui m'ont enseigné depuis mon premier jour, grâce à vous tous, j'ai l'honneur de réussir et cette casquette de fin d'études. Au revoir cette étape et bienvenue dans un avenir radieux que nous nous efforçons d'atteindre...

Nesrin

Dédicace

Entre un rêve qui a occupé mon cœur et un effort qui a épuisé mes pas, aujourd'hui,
je vois se réaliser ce que je croyais autrefois inaccessible.

Je dédie le fruit de cet effort, d'abord et avant tout, à ceux qui ont joué un rôle
essentiel après Dieu :

À mes parents, la lumière qui a éclairé mon chemin et les prières qui m'ont
accompagné à chaque étape... Merci pour tout ce que vous avez fait pour moi.

À mes frères et sœurs, mes soutiens dans la vie et compagnons de route... Vous avez
toujours été mon aide et ma consolation dans les moments difficiles.

À ma famille bien-aimée, à ceux qui m'ont soutenu par un mot ou une prière... Vous
êtes mon abri et mon refuge.

À mes amis, ceux avec qui j'ai partagé les moments de travail et de joie... Mes
remerciements ne sauront rendre ce que vous m'avez offert, vous êtes une
bénédiction inestimable.

Dans le silence de l'effort et l'ombre de la persévérance, je me dois aussi un merci...
Merci de ne pas avoir abandonné, merci pour chaque fois où tu es tombée et t'es
relevée, merci pour ta patience, ta force et tout ce que tu as enduré en silence. Tu
l'as fait .

Safa

Liste des figures

Liste des figures	page
Figure 1 : Répartition de la famille des Astéracées dans le monde	3
Figure 2 : Différents types de fleurons	4
Figure 3 : Photo de la plante <i>Atractylis aristata</i>	6
Figure 4 : différents partie de <i>Atractylis aristata</i>	8
Figure 5 : Distribution géographique d' <i>Atractylis aristata</i>	10
Figure 6 : Structure de lignan d' <i>Atractylis humilis</i>	15
Figure 7 : Représentation schématique illustrant les relations entre les métabolites primaires et secondaires.	17
Figure 8 :Structures chimiques de glucides courants chez les plantes.	19
Figure 9 :La structure chimique générale des huiles fixes.	21
Figure 10 : Structure chimique de la morphine, un alcaloïde extrait du pavot somnifère.	28
Figure 11 : Photo de la plante <i>Atractylis aristata</i> (09/11/2024)	31
Figure 12 : Schéma des protocoles d'extraction de l'extrait hydroéthanolique et de l'huile fixe d' <i>Atractylis aristata</i>	34
Figure 13 : Forme réduite du radical DPPH.	36
Figure14 :Courbe d'étalonnage de l'acide gallique pour la quantification des polyphénols totaux	44
Figure15 :Courbe d'étalonnage de la quercétine pour la quantification des flavonoïdes totaux.	44
Figure16 : Courbe d'étalonnage de la catéchine pour la quantification des tanins condensés.	45
Figure 17 : Effet de différentes huiles et extraits végétaux sur l'inhibition de la dénaturation des protéines (BSA). L'aspirine et Diclofenac a été utilisée comme témoin.	49
Figure 18 : Évaluation cytotoxique de l'extraï à l'aide d'un test ponctuel sur <i>Saccharomyces cerevisiae</i> : analyse dose-dépendante de 20 mg/mL à 0,625 mg/mL par rapport au témoin non	50
Figure 19 : Évaluation cytotoxique de l'huile à l'aide d'un test ponctuel sur <i>Saccharomyces</i>	50

<i>cerevisiae</i> : analyse dose-dépendante de 20 mg/mL à 0,625 mg/mL par rapport au témoin	
Figure 20: Activité inhibitrice de l' α -amylase d'extrait et l'huile d' <i>Atractylis aristata</i> .	51
Figure 21: Corrélation entre les composés phénoliques et les activités antioxydantes. A. Carte thermique (heatmap) des coefficients de corrélation de Pearson. B. Diagramme de cordes illustrant l'intensité des corrélations entre les contenus phénoliques et les indices d'activité antioxydante.	54
Figure 22: Matrice de corrélation entre les composés phénoliques (TPC, TFC, CTC) et l'activité antibactérienne des extraits hydroéthanoliques.	55
Figure 23: Matrice de corrélation entre l'activité antibactérienne de l'huile (50 mg – 25 mg) et les antibiotiques (Gentamicine et Amoxicilline) contre <i>Escherichia coli</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> et <i>Staphylococcus aureus</i> .	56

Liste des tableaux

Liste des tableaux	page
tableaux 01 :: La classification systématique de <i>Atractylis aristata</i>	9
Tableau 2 : Utilisations économiques et thérapeutiques des espèces d'Atractylis.	11
Tableau 3 : Structure des flavonoïdes non glycosylés isolés du genre Atractylis	13
Tableau 4 : Structure des composés phénoliques isolés du genre Atractylis	15
Tableau 5 : Structures chimiques des principaux composés phénoliques et leurs sources.	24
Tableau 6 : Exemples représentatifs des principales classes de terpènes	27
Tableau 7 : Rendement d'extraction de l'extrait brut hydroalcoolique et de l'huile fixe d' <i>Atractylis aristata</i>	43
Tableau 8 : Résultats des composés chimiques extraits <i>Atractylis Aristata</i>	45
Tableau 9 : Activité antioxydante de l'extrait hydroéthanolique et de l'huile d' <i>Atractylis aristata</i> évaluée par les tests DPPH, TAC, ABTS et FRAP.	46
Tableau 10 : Test ponctuel pour déterminer les effets de l'extrait et de l'huile sur la viabilité et la mortalité cellulaires	50
Tableau 11 :Évaluation de l'activité antibactérienne de l'extrait (50 mg – 25 mg – 12,5 mg)	52
Tableau 12 :Évaluation de l'activité antibactérienne de l'huile (50 mg – 25 mg)	53

Table de matière

ملخص

RESUME

ABSTRACT

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

Introduction.....1

Synthèse bibliographique

I. Famille des Astéracées, genre *Atractylis*

1 Caractères botaniques de la famille Asteraceae 3

1.1. Caractères botaniques distinctifs des Astéracées.....4

1.2. Types de capitules chez les Astéracées.....5

2. Genre *Atractylis*.....5

3. L'espèce d'étude :*Atractylis aristata*.....6

3.1. Rappel botanique7

3.2. La classification systématique.....8

3.3. Distribution géographique9

3.4. Utilisations traditionnelles du genre *Atractylis*.....10

4. Composition phytochimique du genre *Atractylis*.....12

4.1. Composés flavonoïdes12

4.2. Composés Diterpenes.....14

4.3. Composés Alkaloids.....14

4.4. Composés Lignans.....14

4.5. Composés phénoliques.....15

II : Métabolites primaires et secondaires.....16

II.1. Métabolites primaires des plantes : rôle, structures et applications.....18

II.1.1. Glucides.....18

II.1.2. Protéines.....19

II.1.3. Lipides.....	20
II. 2. Métabolites secondaires.....	21
II.2.1. Composés phénoliques.....	22
II.2.1.1. Les phénols simples ou acides phénoliques.....	22
II.2.1.2. Les flavonoïdes.....	23
II.2.1.3. Les tanins.....	23
II.2.2. Terpènes.....	25
II.2.2.1. Les Terpénoïdes.....	25
II.2.2.2. Les Monoterpènes.....	26
II.2.2.3. Les Sesquiterpènes.....	26
II.2.2.4. Les Caroténoïdes.....	26
II.2.3. Composés azotiques (alcaloïdes).....	27
III. Activités biologiques.....	29
III.1. l'activité antioxydante.....	29
III.2. Test de Cytotoxiques	29
III.3. Test Antidiabétique	30
III.4. Test Anti-inflammatoire	30
III.5. Test Antibactérien.....	30

Matériel et Méthodes

1. Récolte et identification botanique de l'espèce <i>Atractylis aristata</i>	31
2. Chimie Extractive : Préparation de l'Extrait Hydroéthanolique et de l'Huile Fixe.....	31
2.1. Préparation de l'Extrait Hydroéthanolique.....	31
2.1.1. Séchage et broyage.....	32
2.1.2. Macération avec solvant hydroalcoolique.....	32
2.1.3. Filtration et concentration.....	32
2.1.4. Calcul du rendement en extrait brut.....	32
2.2. Préparation de l'Huile Fixe (Extraction Lipidique).....	32
2.2.1. Préparation de l'échantillon.....	33
2.2.2. Montage de l'appareil de Soxhlet.....	33
2.2.3. Principe de l'extraction.....	33
2.2.4. Récupération de l'huile.....	33

2.2.5. Calcul du rendement en huile fixe.....	33
3. Analyses quantitatives des composés bioactifs phénoliques dans les extraits végétaux....	34
3.1. Quantification des composés phénoliques totaux (CPT).....	34
3.2. Quantification des flavonoïdes totaux.....	35
3.3. Quantification des tanins condensés.....	35
4. L'activité antioxydante.....	36
4.1. Évaluation de l'activité antioxydante par la méthode du radical DPPH.....	36
4.2. Évaluation de l'activité antioxydante par la méthode ABTS ⁺	37
4.3. Évaluation de l'activité antioxydante par le test FRAP	38
4.4. Évaluation de la capacité antioxydante totale (TAC).....	38
5. Activité anti-inflammatoire.....	39
5.1. Essai d'inhibition de la dénaturation des protéines à l'aide d'albumine sérique bovine et d'huile végétale.....	39
5.2. Inhibition de la dénaturation de l'albumine sérique bovine (BSA) d'extrait.....	40
6. Évaluation de la Cytotoxicité des Extraits Végétaux et des Huiles Végétales	41
7. Évaluation de l'activité inhibitrice de l'α-amylase.....	41
8. Activité antibactérienne.....	42

Résultats et Discussions

1. Le rendement de l'extraction.....	43
2. Quantification des composés phénoliques, flavonoïdiques et taniniques.....	43
3. Résultats de l'activité antioxydante.....	46
4. Résultats d'Activité anti-inflammatoire.....	48
5. Résultats de l'évaluation de la cytotoxicité.....	49
6. Antidiabétique alpha amylase.....	51
7. Résultats de l'activité antibactérienne	52
7.1 Résultats de l'activité antibactérienne de l'extrait éthanolique (D1, D2, D3).....	52
7.2 Résultats de l'activité antibactérienne de l'huile fixe (D1, D2).....	52
8. Corrélation entre les paramètres étudiée	53

Conclusion

Conclusion	54
------------------	----

<i>Références bibliographiques.....</i>	<i>56</i>
---	-----------

Introduction general

Introduction

Depuis les débuts de l'humanité, les plantes ont occupé une place essentielle dans la vie quotidienne, servant à la fois de source de nourriture, de matériaux, et surtout de remèdes. L'usage médicinal des plantes remonte à plusieurs millénaires et constitue l'une des premières formes de soins de santé développées par l'homme. Les civilisations anciennes, telles que celles de l'Égypte, de la Grèce, de la Chine ou encore de l'Inde, ont toutes laissé des traces d'un savoir botanique empirique, dans lequel les plantes étaient utilisées pour traiter divers maux et améliorer la santé (Gurib-Fakim 2006).

Aujourd'hui, malgré les avancées considérables de la médecine moderne, les plantes médicinales conservent un rôle fondamental. Elles restent au cœur de la pharmacopée traditionnelle dans de nombreuses régions du monde, notamment dans les pays en développement où elles représentent parfois la seule ressource thérapeutique disponible (Iserin, et al. 2007). De plus, l'industrie pharmaceutique moderne continue de s'inspirer des plantes pour le développement de nouveaux médicaments, grâce à l'étude de leurs composés bioactifs. Par ailleurs, ces plantes sont également utilisées dans les secteurs des cosmétiques, de l'agroalimentaire et de la parfumerie, ce qui témoigne de leur importance économique et scientifique (Vieira, et al. 2024).

Parmi les nombreuses familles botaniques d'intérêt médicinal, la famille des Astéracées (ou Composées) occupe une place de choix. Il s'agit de l'une des plus grandes familles du règne végétal, regroupant plus de 23 000 espèces réparties dans le monde entier (Filleul 2019). Cette famille se distingue par sa diversité morphologique et écologique, ainsi que par la variété de ses usages : médicinaux, alimentaires, ornementaux, voire industriels. Plusieurs espèces d'Astéracées sont connues pour leurs effets thérapeutiques, notamment pour leurs propriétés anti-inflammatoires, antimicrobiennes, antioxydants ou digestives (Funk, et al. 2009).

Dans le contexte saharien, et plus particulièrement dans le Sahara algérien, les Astéracées représentent l'une des familles végétales les plus dominantes. L'Algérie possède une flore particulièrement riche, avec environ 3000 espèces végétales répertoriées, dont de nombreuses espèces endémiques adaptées aux conditions arides (Quezel et Santa 1963). Cette biodiversité constitue un gisement précieux pour la recherche de nouvelles molécules à potentiel thérapeutique.

C'est dans cette perspective que s'inscrit le présent travail, consacré à l'étude d'une espèce appartenant à cette famille : *Atractylis aristata*. Cette plante, encore peu étudiée sur le plan pharmacologique, est endémique de certaines zones sahariennes et traditionnellement utilisée dans la médecine populaire locale. Le choix de cette espèce repose sur plusieurs critères scientifiques : sa richesse supposée en métabolites secondaires, son adaptation à un milieu extrême (ce qui peut indiquer une chimie particulière), ainsi que son intérêt ethnobotanique.

Objectifs du travail

Ce travail vise à contribuer à la valorisation de la flore saharienne algérienne à travers l'étude approfondie du potentiel pharmacologique des huiles fixes extraites d'*Atractylis aristata*. Plus spécifiquement, il s'agira de:

Réaliser l'extraction et la caractérisation des huiles fixes de la plante;

Évaluer leurs principales activités biologiques, notamment:

- Antioxydant,
- Antibactérienne,
- Anti-inflammatoire,
- Cytotoxique,
- Antidiabétique.

Ce mémoire est structuré en deux grandes parties :

- Une revue bibliographique présentant les connaissances actuelles sur les plantes médicinales, la famille des Astéracées, et l'espèce *Atractylis aristata*.
- Une partie expérimentale dédiée à l'extraction, la caractérisation chimique et l'évaluation des activités biologiques d'huile fixe de la plante étudiée.

Synthèse bibliographique

I. Famille des Astéracées, genre *Atractylis*

1. Caractères botaniques de la famille Astéracée

Le nom de la famille des Astéracées (anciennement appelées Compositae) dérive du mot grec *aster*, signifiant « étoile », en référence à la forme caractéristique de leur inflorescence (Harkati and Akkal 2011). Il s'agit de la plus vaste famille de plantes à fleurs (angiospermes), regroupant plus de 23000 espèces réparties dans environ 1600 genres (Funk, Susanna et al. 2009). Cette diversité remarquable s'explique notamment par leur grande capacité d'adaptation à des environnements variés. Les Astéracées se distinguent principalement par la structure de leur inflorescence, appelée capitule. Il s'agit d'un regroupement dense de fleurs (ou fleurons), insérées sur un réceptacle commun, souvent convexe, situé à l'extrémité d'un rameau ou d'une tige. Le capitule est entouré d'un ensemble de bractées formant un involucre, qui joue un rôle protecteur (Ozenda 1991).

Cette disposition florale donne l'illusion d'une seule fleur, bien que le capitule contienne en réalité plusieurs fleurs individuelles, généralement de deux types : des fleurons tubulés au centre (fleurs hermaphrodites) et des fleurs ligulées périphériques (souvent stériles ou femelles). Les Astéracées sont une famille cosmopolite, présente sur tous les continents à l'exception de l'Antarctique (Funk, et al. 2009). Toutefois, leur diversité est particulièrement importante dans les régions arides ou semi-arides, comme le bassin méditerranéen, l'Afrique du Sud, le Mexique, l'Amérique du Sud et le sud-ouest des États-Unis (Filleul 2019). Cette large distribution témoigne de leur adaptabilité écologique, notamment grâce à des mécanismes de résistance à la sécheresse et à des stratégies de reproduction efficaces (Figure 1).



Figure 1: Répartition de la famille des Astéracées dans le monde.

1.1. Caractères botaniques distinctifs des Astéracées

La famille des **Astéracées**, également connue sous le nom de **Compositae**, se distingue par deux caractères botaniques majeurs :

- le **regroupement des fleurs en capitules** (ou têtes florales),
- la **soudure des anthères des étamines**, formant un tube autour du style (Ozenda 1977).

Les **capitules** représentent une forme particulière d'inflorescence, où les **fleurs (ou fleurons)** sont serrées les unes contre les autres sur un **réceptacle commun**, généralement dépourvues de pédoncules individuels. Ce réceptacle est situé à l'extrémité d'une tige ou d'un rameau, et est entouré par un **involucre**, une structure en forme de coupe ou de collerette constituée de **bractées** protectrices. Cette configuration florale donne l'illusion d'une seule fleur, bien que chaque fleuron soit morphologiquement distinct. Les fleurons peuvent être **stériles, unisexués** ou **hermaphrodites**, et sont caractérisés par une particularité anatomique notable : la **soudure des anthères** qui forment un tube au sein duquel le style grandit (**Figure 2**). Par ailleurs, les ovules des Astéracées présentent une **position basale** dans l'ovaire (Judd, et al. 1999).

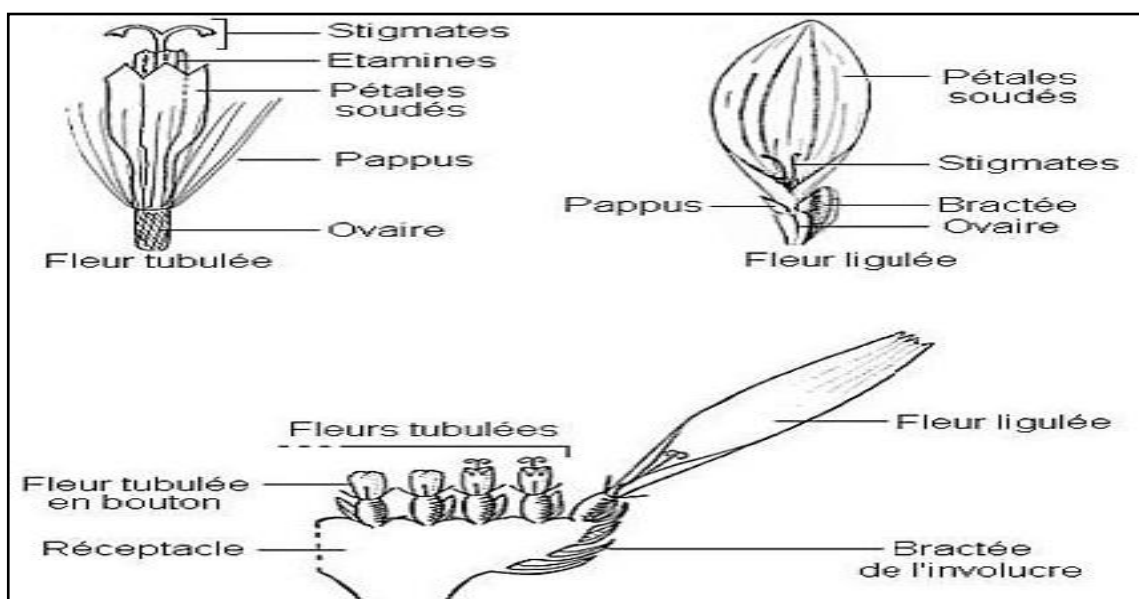


Figure 2: Différents types de fleurons

1.2. Types de capitules chez les Astéracées

La morphologie des Asteraceae est également très variée. Certaines espèces sont des arbres atteignant plus de 30 m, beaucoup d'autres sont des arbustes, comme les broussailles ou les arbres à rosettes, et la plupart sont des herbes vivaces ou moins annuelles, dont la taille varie de 1 à 3 m (Bohm et Stuessy 2013). Le fruit des Astéracées est un akène indéhiscent, couronné, ou non, par le limbe du calice (Ozenda 1991). La graine exalbuminée est dressée et son tégument est souvent soudé avec l'ovaire. Cette vaste famille est économiquement importante, elle fournit des plantes alimentaires, ornementales et plusieurs espèces sont utilisées traditionnellement et en pharmacie. Selon la morphologie des fleurs composant le capitule, les Astéracées peuvent être classées en trois grands groupes:

- ✓ **Les Tubuliflores:** leurs capitules sont exclusivement constitués de fleurs tubuleuses régulières. Les tubes floraux se terminent par des lobes peu distincts ou bien ouverts en cinq segments (exemples : chardon, centaurée).
- ✓ **Les Liguliflores:** ces espèces possèdent uniquement des fleurons ligulés, c'est-à-dire des fleurs dont la corolle est transformée en une ligule (ou languette) aplatie. Cette ligule est formée par la soudure de cinq pétales, reconnaissables par la présence de dents à l'extrémité (exemples : laitue, chicorée).
- ✓ **Les Radiées:** les capitules sont composés de deux types de fleurs : des fleurons tubuleux au centre (le « disque ») et des fleurs ligulées à la périphérie, disposées en forme de couronne. Ce type est le plus fréquent et comprend des espèces ornementales bien connues comme la marguerite ou l'aster.

2. Genre *Atractylis*

Le genre *Atractylis*, appartenant à la famille des Astéracées, est un groupe frère des genres *Atractylodes* et *Carlina*, tous classés dans la sous-tribu des *Carlininae* (Peng, et al. 2012). Ce genre regroupe environ une trentaine d'espèces, principalement distribuées autour du bassin méditerranéen, du Maroc jusqu'au Moyen-Orient. En Algérie, au moins seize espèces y sont recensées, ce qui témoigne de l'importance floristique du genre dans ce pays (Hammiche, et al. 2013). Les plantes du genre *Atractylis* sont généralement herbacées, très épineuses, et peuvent être annuelles, bisannuelles ou vivaces. Leur morphologie évoque celle des petits chardons, ce qui leur permet de s'adapter à des milieux arides et rocheux (Ozenda 1991). Certaines espèces, comme *Atractylis gummifera*, sont utilisées en médecine traditionnelle pour leurs propriétés thérapeutiques, notamment digestives et anti-inflammatoires, bien que

leur toxicité liée à la présence d'atractyloside nécessite une vigilance particulière (Larabi, et al. 2012). En plus de leur intérêt médicinal, ces espèces jouent un rôle écologique non négligeable dans la préservation des sols en zones sèches. En Algérie, plusieurs espèces comme *Atractylis phaeolepis*, *Atractylis polycephala*, *Atractylis serratuloides* et *Atractylis aristata* ont été identifiées, cette dernière étant particulièrement notable pour sa présence dans le Sahara central (Hamdy et Hassan 2025).

3. L'espèce d'étude : *Atractylis aristata*

L'espèce retenue pour cette étude est *Atractylis aristata* Batt., une plante appartenant au genre *Atractylis* de la famille des Astéracées. Elle est endémique du Sahara central algérien, où elle pousse dans des conditions environnementales particulièrement arides. Cette espèce se distingue par sa morphologie adaptée aux milieux désertiques, notamment ses feuilles réduites, ses tiges robustes et ses inflorescences épineuses, qui lui permettent de résister à la sécheresse et aux fortes températures. Malgré sa discrétion botanique, *A. aristata* revêt un intérêt écologique et ethnobotanique non négligeable. Elle est parfois utilisée dans la médecine traditionnelle locale, bien que peu de travaux scientifiques aient jusqu'ici exploré ses propriétés chimiques ou pharmacologiques. Son étude pourrait ainsi contribuer à une meilleure compréhension de la flore saharienne et au potentiel médicinal des espèces endémiques. La **Figure 3** illustre son apparence dans son habitat naturel.



Figure 3: Photo de la plante *Atractylis aristata*

3.1. Rappel botanique

Atractylis aristata est une espèce vivace appartenant à la famille des Astéracées, couramment trouvée dans les régions arides et semi-arides d'Afrique du Nord, notamment dans le Sahara algérien. Cette plante se développe en touffes denses à port hémisphérique (**Figure 4a**), avec une racine robuste et profondément ancrée dans le sol (**Figure 4b**), ce qui lui permet de capter l'humidité résiduelle dans les environnements désertiques. La tige (**Figure 4c**), courte, rigide et épaisse, soutient la plante tout en réduisant les pertes en eau, ce qui est essentiel pour sa survie dans des conditions climatiques extrêmes. Les feuilles, lancéolées et molles, sont recouvertes d'une pubescence grise dense sur les deux faces (**Figure 4d**), leur conférant une teinte argentée et limitant l'évaporation. Elles présentent également des marges épineuses, caractéristiques des espèces adaptées à des environnements arides. Les capitules solitaires et cylindriques de *Atractylis aristata* sont entourés d'un involucre composé de bractées étroites, ciliées et aristées, et les fleurs, de couleur jaune ou violacée, sont disposées à l'intérieur de ces capitules (**Figure 4e**). Les fruits, ou akènes, sont de grande taille, surmontés d'un pappus plus court que les fleurons, facilitant ainsi leur dispersion. En plus de ses caractéristiques botaniques intéressantes, *Atractylis aristata* suscite un intérêt pharmacologique en raison de sa richesse en métabolites secondaires. Bien que les recherches sur cette espèce soient limitées, elle est utilisée dans certaines pratiques médicinales traditionnelles locales. L'étude de ses huiles fixes pourrait permettre d'explorer ses propriétés biologiques, telles que des activités antioxydantes, antibactériennes et anti-inflammatoires, offrant ainsi une opportunité pour la valorisation de la flore saharienne et l'exploration de nouvelles ressources thérapeutiques (Ozenda 1991)(Quezel and Santa 1963).

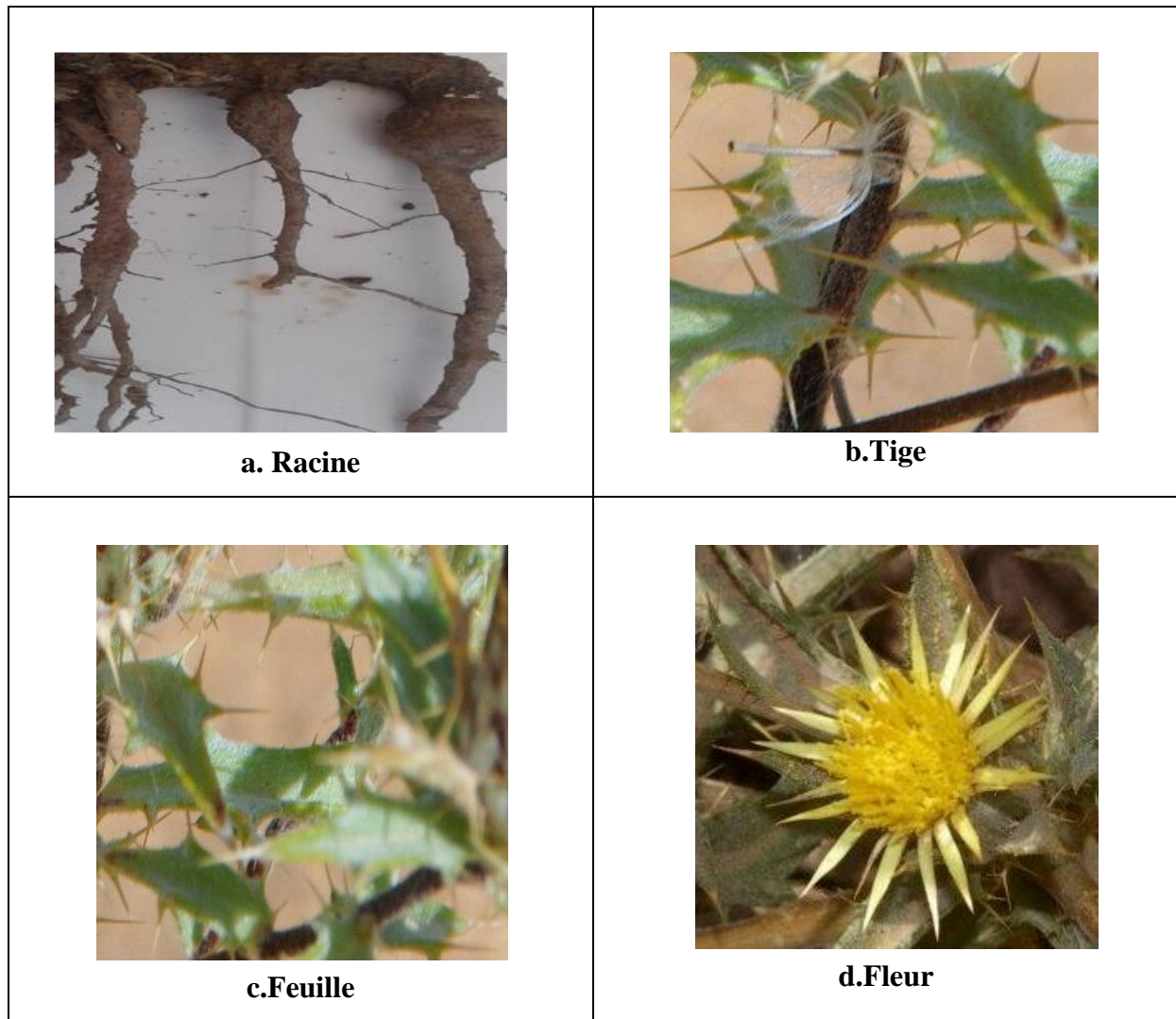


Figure 4 : différents partie d'*Atractylis aristata*

3.2. La classification systématique

Avant d'aborder la classification botanique d'*Atractylis aristata*, il est important de noter que cette dernière est présentée de manière détaillée dans le **Tableau 1** ci-dessous. Ce tableau expose la classification systématique de la plante, en la situant dans le contexte plus large des familles et des genres végétaux, ce qui permet de mieux comprendre ses caractéristiques taxonomiques et sa place au sein de la flore mondiale.

Tableau 1 : La classification systématique d'*Atractylis aristata*

La classification systématique des plantes	
Règne	Plantae
Branche	Spermaphytes
Classe	Dicotylédone
Ordre	Aster
Famille	Asteraceae
Sous-famille	Carduoideae
Tribu	Cardueae
Sous-tribu	Carlininae
Genre	<i>Atractylis</i> L
Espèce	<i>Atractylis aristata</i>

3.3. Distribution géographique

La distribution géographique d'*Atractylis aristata* est principalement confinée aux déserts du sud de l'Algérie, notamment dans la région de Tamanghasset, au cœur du massif de l'Ahaggar. Cette espèce est particulièrement adaptée aux conditions arides et semi-arides de cette zone, où elle évolue dans des sols pauvres et secs, typiques des environnements sahariens. Pour mieux clarifier la distribution de cette plante, la **Figure 5** présente une carte de la zone concernée, mettant en évidence les régions désertiques de l'Algérie, notamment la région de Tamanghasset et le massif de l'Ahaggar. Cette carte permet de mieux visualiser l'étendue de son habitat naturel et son adaptation aux conditions climatiques extrêmes de ces territoires.

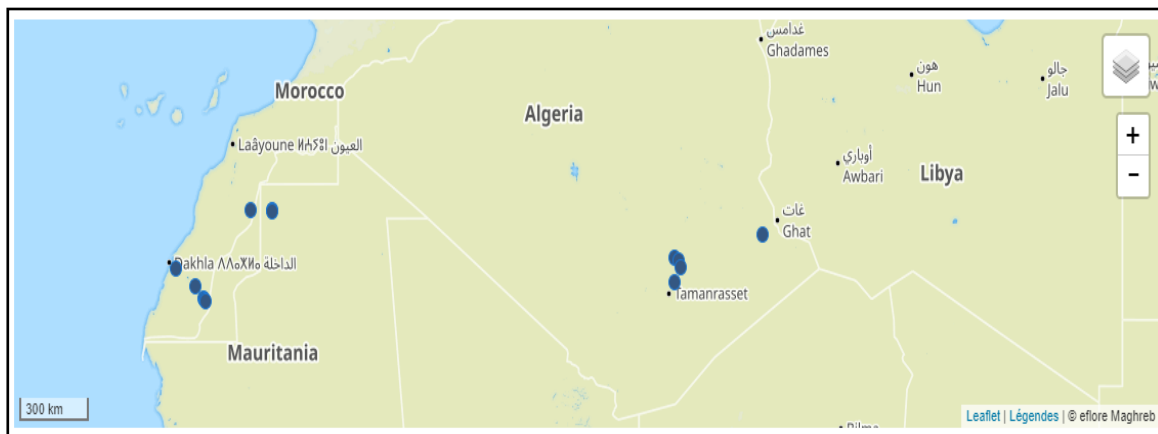


Figure 5 : Distribution géographique d'*Atractylis aristata*

3.4. Utilisations traditionnelles du genre *Atractylis*

Le genre *Atractylis* comprend un grand nombre d'espèces qui présentent une importance économique et thérapeutique considérable. Certaines sont cultivées pour leurs usages alimentaires ou ornementaux, tandis que plusieurs espèces sont traditionnellement utilisées à des fins médicinales, notamment dans les pharmacopées locales. En Algérie, les plantes médicinales occupent une place essentielle dans la médecine traditionnelle, notamment dans les zones rurales ou d'accès limité aux soins modernes. Au cours des dernières décennies, la phytothérapie s'est largement répandue dans la population pour le traitement de nombreuses affections, allant du diabète aux douleurs rhumatismales, en passant par les troubles digestifs, la perte de poids, voire certaines maladies dites incurables. Ces plantes sont ainsi largement intégrées dans les pratiques de santé alternatives et complémentaires (Benhouhou, et al. 2005). Dans ce contexte, plusieurs espèces du genre *Atractylis* sont reconnues pour leurs propriétés médicinales et leur potentiel thérapeutique. Le **Tableau 2** ci-dessous présente quelques exemples notables d'espèces du genre, accompagnés de leurs principales utilisations économiques et médicinales.

Atractylis aristata joue un rôle notable dans la médecine traditionnelle locale, où elle est utilisée en traitement interne, notamment sous forme d'infusion des parties aériennes, pour soulager les coliques, les troubles gastriques, les spasmes intestinaux, ainsi que la fièvre (Hammiche and Maiza 2006).

Tableau 2: Utilisations économiques et thérapeutiques des espèces d'Atractylis.

Espèces	Utilisations et Propriétés
<i>Atractylis gummifera</i>	<p>Parmi les utilisations les plus anciennes documentées, la racine de certaines espèces du genre <i>Atractylis</i> était déjà reconnue pour ses vertus thérapeutiques dans l'Antiquité. Théophraste, l'un des premiers botanistes grecs, mentionnait son efficacité dans le traitement de la lèpre (Theophrastus et Arthur 1916). Plus tard, Galien recommanda son usage uniquement par voie externe, mettant en garde contre une utilisation interne potentiellement toxique (Gattefossé 1921). D'autres sources rapportent également que l'inhalation des vapeurs de racines brûlées était utilisée en médecine populaire pour soulager les vertiges et les céphalées (Capdevielle et Darracq 1980).</p>
<i>Atractylis lancea</i>	<p>Par ailleurs, certaines espèces du genre <i>Atractylis</i> sont également utilisées en médecine traditionnelle pour traiter les troubles gastriques et intestinaux, notamment pour soulager les douleurs abdominales, faciliter la digestion, et améliorer l'état général du système gastro-intestinal. Ces usages populaires, transmis de génération en génération, soulignent l'importance de ce genre végétal dans les pratiques phytothérapeutiques traditionnelles, en particulier dans les régions rurales d'Afrique du Nord et du bassin méditerranéen (Chen Liang Yu, et al. 2013); (Guo, et al. 2013).</p>
<i>Atractylis cancellata</i>	<p>En plus de ses usages gastro-intestinaux, <i>Atractylis</i> est également utilisée en médecine populaire pour le traitement des affections dermatologiques. Certaines préparations traditionnelles à base de racine ou de parties aériennes sont appliquées en usage externe pour traiter des maladies de la peau telles que les éruptions cutanées, les plaies, les infections superficielles ou encore les inflammations dermiques. Ces pratiques témoignent du rôle multifonctionnel de cette plante dans les soins traditionnels, et justifient l'intérêt pour une évaluation scientifique de ses propriétés antimicrobiennes et anti-inflammatoires (décoction des tiges et des feuilles) (Najem, i et al.</p>

2018).

Atractylisflava *Atractylis flava* est particulièrement reconnue pour ses effets diurétiques. Elle est traditionnellement utilisée pour favoriser l'élimination rénale et traiter certains troubles liés à la rétention d'eau ou aux affections urinaires. Cet usage, rapporté dans diverses pharmacopées locales, témoigne du potentiel thérapeutique diversifié des espèces du genre *Atractylis* (El Rhaffari et Zaid 2002).

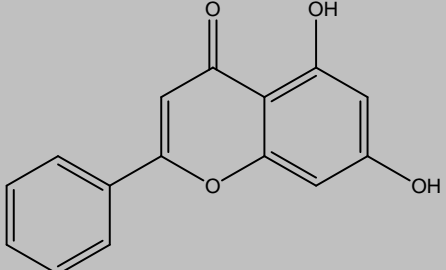
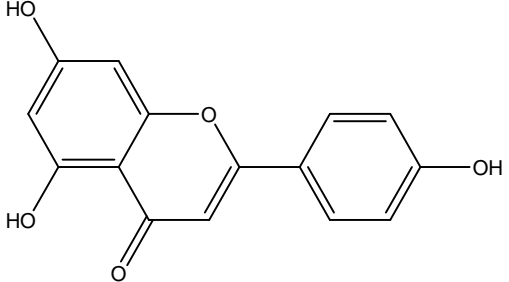
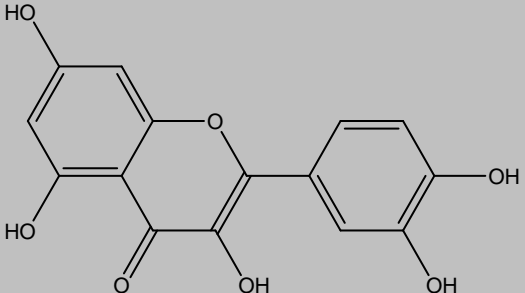
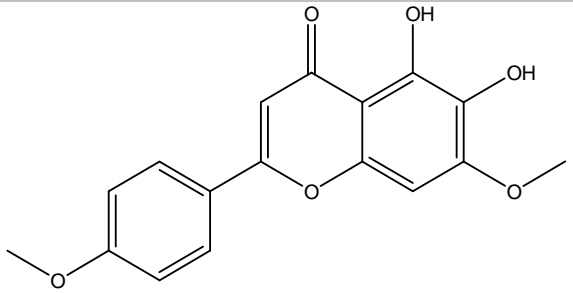
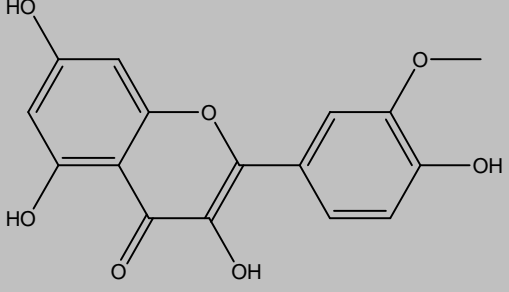
4. Composition phytochimique du genre *Atractylis*

Les résultats des analyses phytochimiques réalisées sur différentes espèces du genre *Atractylis* — notamment *A. gummifera*, *A. flava*, *A. cancellata* et *A. humilis* — confirment leur richesse en composés bioactifs, en particulier en triterpènes et flavonoïdes, qui sont des métabolites secondaires majeurs de la famille des Astéracées. En plus de ces composés dominants, le genre *Atractylis* renferme également une diversité de substances telles que des diterpènes, des alcaloïdes, des composés acétyléniques, des acides phénoliques ainsi que des lignanes.

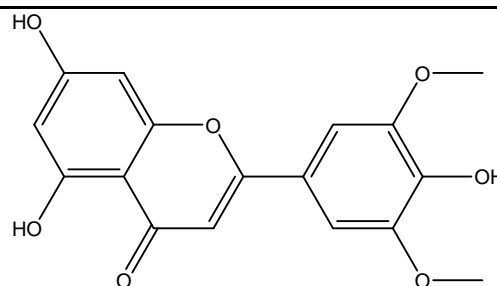
4.1. Composés flavonoïdes

Les études chimiques approfondies menées sur les extraits de plusieurs espèces du genre *Atractylis* ont permis d'isoler divers flavonoïdes, souvent sous forme osidique, à partir des extraits à l'acétate d'éthyle et au n-butanol. C'est notamment le cas pour *A. flava* (Chabani, et al. 2013), *A. cancellata* (Chabani, et al. 2016), *A. humilis* et *A. gummifera*. Parmi les composés identifiés, six flavonoïdes non glycosylés ont été isolés et caractérisés : chrysin, apigénine, quercétine, ladanéine, isorhamnétine et tricine. Ces flavonoïdes sont connus pour leurs propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires et antimicrobiennes, ce qui soutient les usages traditionnels de ces plantes et renforce leur potentiel en tant que sources naturelles d'agents thérapeutiques. Le **Tableau 3** ci-dessous montre la structure chimique des flavonoïdes non glycosylés isolés du genre *Atractylis*, ainsi que les espèces sources de ces composés et les références des études associées.

Tableau 3: Structure des flavonoïdes non glycosylés isolés du genre *Atractylis*

Flavonoïde	Espèces	Structure chimique
Chrysin	<i>A. Flava</i> <i>A. Cancellata</i>	
Apigénine	<i>A. Flava</i> <i>A. Cancellata</i>	
Quercétine	<i>A. Flava</i> <i>A. Cancellata</i>	
Ladanéine	<i>A. Flava</i>	
Isorhamnétine	<i>A. Flava</i>	

Tricine

A. Cancellata

4.2. Composés Diterpenes

Les investigations phytochimiques menées sur l'extrait méthanolique d'*Atractylis gummifera* ont permis d'isoler deux diterpènesglycosylés : l'atractyloside et la carboxyatractyloside. Ces deux composés sont bien connus pour leur forte toxicité. En effet, plusieurs études biologiques ont confirmé la dangerosité de ces composés, en particulier leur capacité à provoquer des effets indésirables graves lorsqu'ils sont administrés à des doses élevées (Chen Liang Yu, et al. 2013) (Danieli, et al. 1972).

4.3. Composés Alcaloïdes

Une étude récente menée par Badaoui et al. (2019) a rapporté pour la première fois la présence d'alcaloïdes dans le genre *Atractylis*. À partir de l'extrait au n-butanol de *Atractylis cancellata*, deux composés alcaloïdiques ont été isolés et identifiés, dont un nouvel alcaloïde nommé Pyrroloquinolone A (Badaoui, et al. 2021).

4.4. Composés Lignans

Une étude menée par Sifouane et al. (2020) a révélé pour la première fois la présence de lignanes dans le genre *Atractylis*. À partir des extraits à l'acétate d'éthyle et au n-butanol de *Atractylis humilis*, deux cyclolignanes ont été isolés, dont un nouveau lignanearyl-tétralin, identifié comme (8R,7'S,8'S)-9'-β-D-glucopyranosyl-3,4',9-trihydroxy-3',4,5,5'-tétraméthoxy-2,7'-cyclolignane (**Figure 6**) (Sifouane, et al. 2020).

(8R,7'S,8'S)-9'- β -D-glucopyranosyl-
3,4',9-trihydroxy-3',4,5,5'-
tétraméthoxy-2,7'-cyclolignane

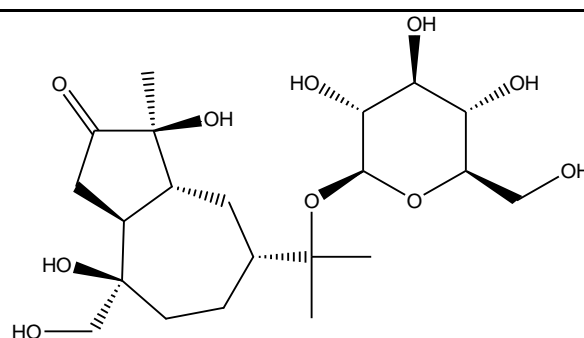


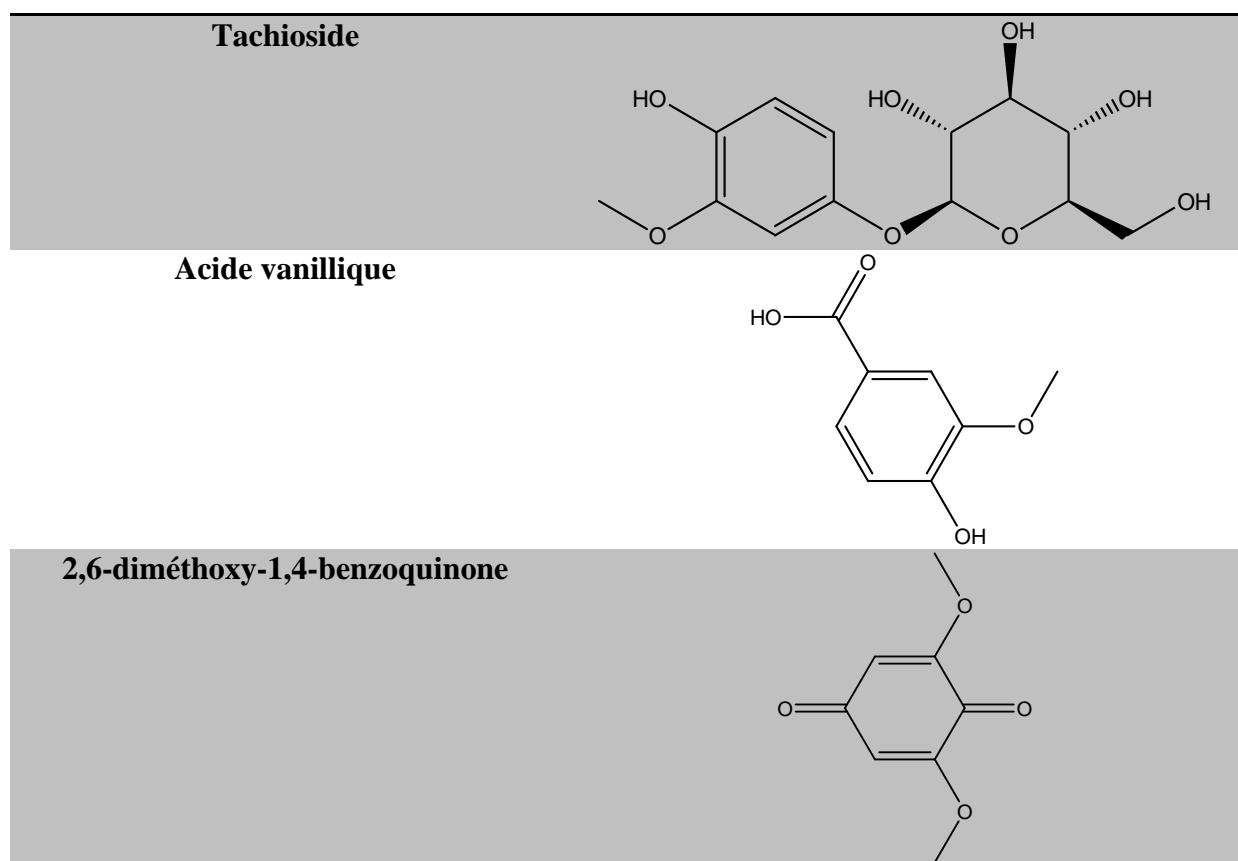
Figure 6 : Structure de lignan d'*Atractylis humilis*

4.5. Composés phénoliques

Une étude menée sur les extraits à l'acétate d'éthyle et au n-butanol de *Atractylis humilis* a permis d'isoler et d'identifier cinq composés phénoliques. Parmi ces derniers figurent le 2,5-dihydroxyéthyl cinnamate, le 3,4,5-triméthoxyphénol 1-O- β -D-glucopyranoside, le tachioside, l'acide vanillique ainsi que la 2,6-diméthoxy-1,4-benzoquinone. Ces composés sont connus pour leurs activités antioxydantes et leur potentiel pharmacologique dans divers domaines thérapeutiques (Sifouane, et al. 2020) (**Tableau 4**).

Tableau 4: Structure des composés phénoliques isolés du genre *Atractylis*

Composé phénolique	Structure
2,5-dihydroxyéthyl cinnamate	
3,4,5-triméthoxyphénol 1-O- β -D-glucopyranoside	



II : Métabolites primaires et secondaires

Une plante médicinale est définie comme une plante dont une ou plusieurs parties (racines, tiges, feuilles, fleurs, fruits ou graines) possèdent des propriétés thérapeutiques, préventives ou curatives, et dont l'efficacité est démontrée lorsqu'elle est utilisée à des doses précises et de manière contrôlée (Li, et al. 2020).

Depuis l'Antiquité, les plantes médicinales occupent une place essentielle dans les pratiques thérapeutiques traditionnelles à travers le monde. Leur importance repose sur leur richesse en composés chimiques naturels, appelés métabolites, qui sont à l'origine de leurs diverses activités pharmacologiques. On distingue deux grandes catégories de métabolites : les métabolites primaires et les métabolites secondaires (Twaij et Hasan 2022).

Les métabolites primaires, tels que les glucides, lipides, protéines et acides nucléiques, sont présents dans toutes les cellules végétales et interviennent dans les fonctions vitales de la plante, telles que la croissance, la respiration et la reproduction. En revanche, les métabolites secondaires ne sont pas directement impliqués dans le métabolisme de base, mais jouent un rôle fondamental dans la défense de la plante contre les agressions biotiques et abiotiques, ainsi que dans ses interactions avec l'environnement (pollinisateurs, plantes voisines, etc.).

Ces métabolites sont souvent spécifiques à certaines espèces et comprennent des classes chimiques variées telles que les terpènes, les composés phénoliques, les saponines, les alcaloïdes, ainsi que les hétérosides cardiotoniques et cyanogéniques(Hopkins 2003).

De nos jours, ces substances naturelles suscitent un intérêt croissant dans les domaines de la pharmacognosie et de la recherche pharmaceutique, en tant que sources potentielles de nouvelles molécules thérapeutiques. Les plantes forment des métabolites ayant diverses fonctions au sein de la plante(Atanasov, et al. 2021).

Les métabolites primaires et secondaires sont intimement liés dans le métabolisme global des plantes. Alors que les premiers participent directement aux fonctions vitales telles que la photosynthèse, la respiration, ou la biosynthèse des protéines et des lipides, les seconds sont issus de dérivés de ces voies primaires et jouent un rôle crucial dans la défense de la plante, la résistance aux stress environnementaux et les interactions écologiques (Pichersky et Gang 2000). Comprendre cette relation permet de mieux explorer les propriétés bioactives des composés naturels végétaux. La **Figure 07** illustre de manière schématique les principales connexions métaboliques entre les métabolites primaires et secondaires, soulignant leur interdépendance dans le métabolisme végétal.

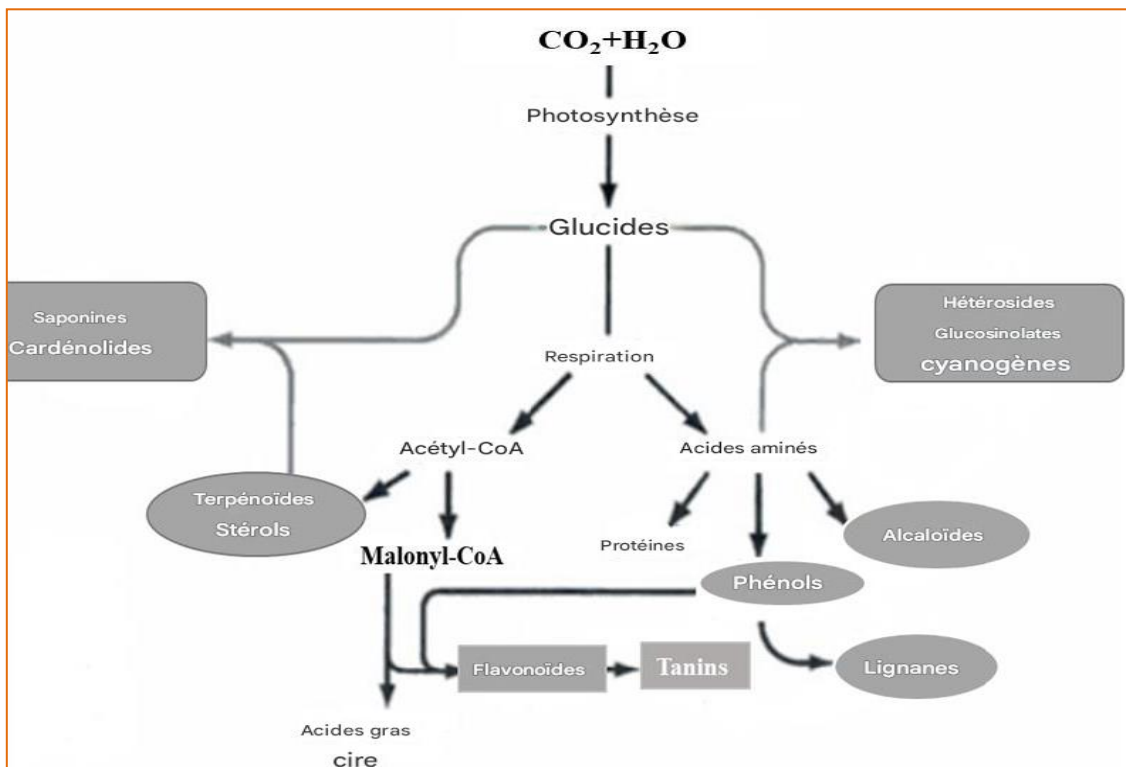


Figure 7: Représentation schématique illustrant les relations entre les métabolites primaires et secondaires.

II.1. Métabolites primaires des plantes : rôle, structures et applications

Les métabolites primaires sont des composés essentiels au développement, à la survie et au fonctionnement normal des plantes. Ils sont impliqués dans des processus fondamentaux tels que la croissance, la reproduction, la photosynthèse, la respiration cellulaire et la synthèse des protéines. Ces métabolites sont universellement présents dans toutes les plantes et sont produits lors des phases de croissance active (trophophase) en présence de nutriments adéquats(Elshafie, et al. 2023).

❖ II.1.1. Glucides

Les glucides, ou hydrates de carbone, sont les biomolécules les plus abondantes dans les organismes vivants, représentant environ 70 % du poids sec des plantes en saison de croissance maximale. Ils sont essentiels à la photosynthèse, un processus dans lequel l'énergie lumineuse est convertie en énergie chimique, ainsi qu'à la respiration cellulaire, qui libère de l'énergie pour le fonctionnement cellulaire. Les glucides se présentent sous forme de simples sucres tels que le glucose, le fructose et le galactose, ou sous forme de macromolécules complexes comme l'amidon et la cellulose. Les monosaccharides naturels ont généralement cinq ou six atomes de carbone.

Structures chimiques des glucides :

- Glucose ($C_6H_{12}O_6$) : un hexose, principal sucre de réserve chez les plantes.
- Fructose ($C_6H_{12}O_6$) : un cétose, présent dans de nombreux fruits.
- Cellulose : polysaccharide formé de chaînes linéaires de glucose, constituant majeur des parois cellulaires végétales.

Ainsi, les hydrates de carbone apparaissent soit sous forme de simples sucres tels que le glucose soit sous forme de mats complexes comme l'amidon et la cellulose(Barnes, et al. 2003). Les glucides sont nécessaires à la photosynthèse, un processus dans lequel l'énergie lumineuse est convertie en énergie chimique, ainsi que pour la respiration cellulaire, qui libère de l'énergie pour le recouvrement par une cellule de quelque chose. Des quantités de carbone à un nombre allant de trois à neuf d'un niveau à un autre Ces sucres simples, aussi décrits comme hydrates de carbone, sont des monosaccharides ode. La plupart des monosaccharides naturels ont cinq ou six atomes de carbone. Un autre exemple d'un hexose est le fructose.

oligosaccharides et les polysaccharides(Nahar et Sarker 2019).Ces structures chimiques sont représentées dans la Figure 8, qui illustre les principales formes glucidiques présentes dans les plantes.

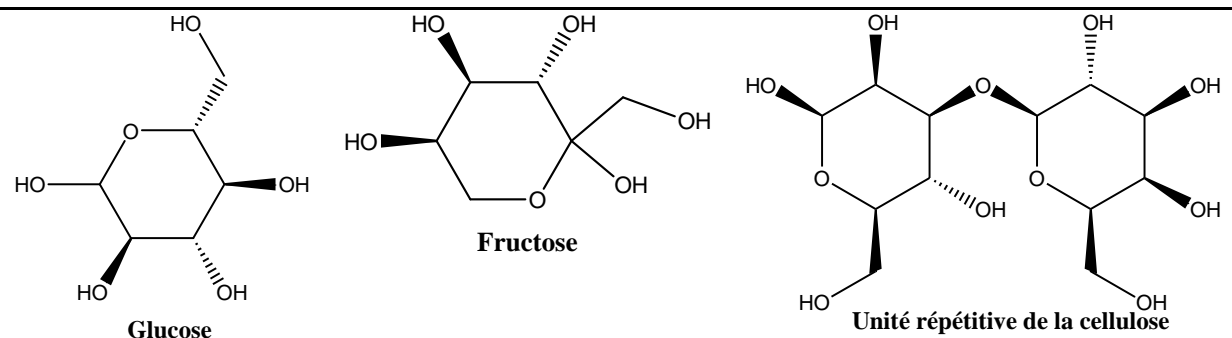


Figure 8 :Structures chimiques de glucides courants chez les plantes.

❖ II.1.2. Protéines :

Les protéines sont des macromolécules biologiques essentielles, formées par la liaison séquentielle de plusieurs acides aminés reliés entre eux par des liaisons peptidiques. Cette chaîne linéaire d'acides aminés se replie ensuite en structures tridimensionnelles spécifiques, qui déterminent la fonction de chaque protéine. Ces structures peuvent être secondaires (hélices α , feuillets β), tertiaires (repliement spatial) ou quaternaires (assemblage de plusieurs chaînes polypeptidiques)(Nelson, et al. 2008).Les protéines remplissent un large éventail de fonctions biologiques :

- Fonction structurelle (collagène, kératine),
- Fonction enzymatique (catalyse biochimique),
- Fonction de transport (ex : hémoglobine),
- Fonction de défense (anticorps),
- Rôle hormonal ou signalétique.

Elles sont indispensables à la nutrition humaine et animale, et se retrouvent dans les plantes, les animaux et les micro-organismes unicellulaires. Elles sont également impliquées dans la régulation des processus cellulaires, la transmission des signaux et la réponse immunitaire .Les acides aminés sont les unités de base des protéines(Nahar et Sarker 2019). Chaque acide aminé possède :

- un groupe amine (-NH₂),
- un groupe carboxyle (-COOH),
- un atome d'hydrogène,
- un groupement latéral R (chaîne variable qui définit l'identité de l'acide aminé), tous liés à un carbone α central.

La liaison entre deux acides aminés forme une liaison peptidique, aboutissant à la formation d'un dipeptide, puis d'un polypeptide.

❖ II.1.3. Lipides:

Les lipides sont des molécules organiques naturelles hydrophobes ou amphiphiles, composées principalement de carbone (C), hydrogène (H) et oxygène (O). Ils se caractérisent par leur insolubilité dans l'eau et leur solubilité dans des solvants organiques apolaires tels que le chloroforme, l'éther ou le benzène. Les lipides jouent un rôle crucial dans les organismes vivants, notamment en tant que réserves énergétiques, composants structuraux des membranes cellulaires, précurseurs hormonaux, et isolants thermiques (Ben Salem 2015)

Structure chimique des lipides

Les lipides sont souvent des esters d'acides gras et d'un polyol, généralement le glycérol. Les acides gras sont des chaînes d'hydrocarbures avec un groupe carboxyle (-COOH) à une extrémité. Leur longueur varie généralement de 4 à 40 atomes de carbone, et ils se classent en deux catégories:

- Acides gras saturés : sans doubles liaisons entre les atomes de carbone.
- Acides gras insaturés : avec une ou plusieurs doubles liaisons, ce qui peut être cis ou trans, influençant leur fluidité et leur point de fusion.

Les huiles fixes, également appelées huiles végétales, sont des triglycérides formés par la réaction d'un glycérol avec trois acides gras. Ces huiles sont principalement d'origine végétale, non volatiles et non évaporables, et se distinguent par les types d'acides gras qui les composent. Elles sont chimiquement similaires aux graisses animales, mais diffèrent par leur état physique à température ambiante (Ali, et al. 2016). Ces huiles jouent un rôle crucial dans l'industrie pharmaceutique (excipients, solvants), cosmétique (émollients, agents hydratants), et alimentaire. La structure chimique générale des huiles fixes est représentée dans la **Figure**

9, montrant un exemple de triglycéride formé par la liaison de trois acides gras à un squelette de glycérol.

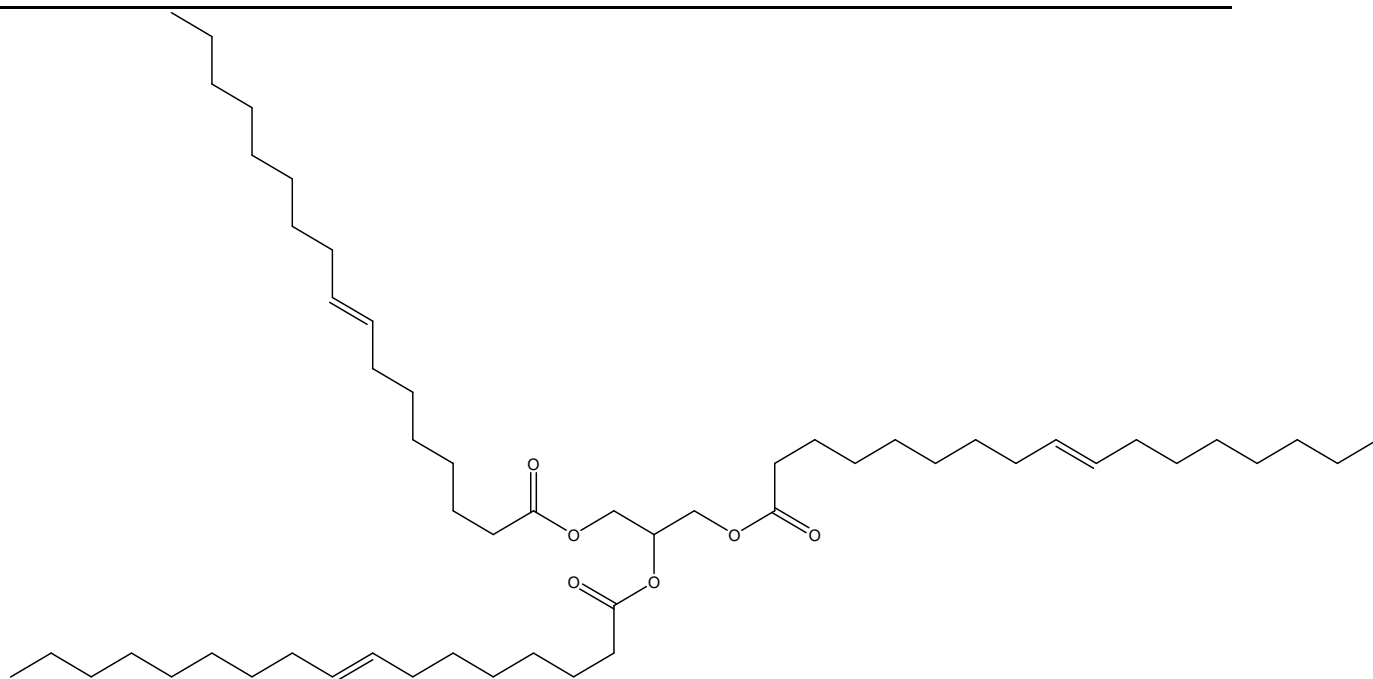


Figure 9: La structure chimique générale des huiles fixes.

II. 2. Métabolites secondaires

Les métabolites secondaires sont des composés organiques produits par les plantes, qui ne sont pas directement impliqués dans les processus de croissance, de développement ou de reproduction. Contrairement aux métabolites primaires, ces substances n'ont pas de rôle vital pour la survie de la plante mais jouent un rôle crucial dans sa défense contre les herbivores, les pathogènes et dans l'interaction avec d'autres organismes. Bien que ces composés ne soient pas essentiels au métabolisme végétal de base, ils possèdent des fonctions écologiques, telles que la protection contre les rayonnements UV, la régulation de la croissance d'autres plantes et la lutte contre les parasites. De plus, un grand nombre de métabolites secondaires ont des applications thérapeutiques et sont utilisés dans les domaines pharmaceutiques, cosmétiques et agroalimentaires (Guillaume et Charrouf 2005). Ces produits ont des structures chimiques souvent complexes et comprennent des milliers de composés, avec plus de 30 000 structures déjà identifiées. Les métabolites secondaires sont classés

principalement en trois grandes familles chimiques : les composés phénoliques, les terpènes, et les composés azotés (alcaloïdes).

❖ **II.2.1. Composés phénoliques**

Les composés phénoliques, également appelés polyphénols, sont un groupe de substances chimiques naturellement présentes dans le règne végétal. Ces composés sont largement étudiés en raison de leurs multiples activités biologiques et de leurs rôles cruciaux dans la défense des plantes, la régulation de la croissance et leurs applications thérapeutiques. Les composés phénoliques sont caractérisés par la présence d'un ou plusieurs cycles aromatiques (cycles benzéniques) portant un ou plusieurs groupes hydroxyles (OH), une caractéristique qui est à l'origine de leurs propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires et antimicrobiennes (Langlade 2010). Le **Tableau 5** présente les structures chimiques de différents composés phénoliques, qui sont des éléments essentiels des plantes. Chaque composé est classé selon sa catégorie chimique (acides phénoliques simples, flavonoïdes et tanins) et est accompagné de ses principales sources végétales. Ces structures sont responsables des nombreuses propriétés biologiques des composés, telles que leurs effets antioxydants, anti-inflammatoires et antimicrobiens. Cette présentation visuelle aide à mieux comprendre la diversité chimique et fonctionnelle de ces métabolites secondaires dans le règne végétal.

Les composés phénoliques sont souvent classés en plusieurs grandes classes en fonction de leur structure chimique et de leur origine biosynthétique. La diversité de ces composés reflète leur rôle essentiel dans le métabolisme des plantes, car ils aident les plantes à se défendre contre les pathogènes, les herbivores et les stress environnementaux. Ces composés contribuent également à la couleur, au goût et à l'amertume de divers fruits, légumes et herbes (Macheix, et al. 2005). Voici les principales classes de composés phénoliques :

✓ **II.2.1.1. Les phénols simples ou acides phénoliques:**

Les acides phénoliques sont des composés phénoliques simples caractérisés par un seul cycle benzénique relié à un groupe carboxyle (-COOH) et un groupe hydroxyle (-OH) à différentes positions sur le cycle. Les deux sous-types principaux d'acides phénoliques sont les acides benzoïques et les acides cinnamiques. Des exemples courants incluent l'acide caféique et l'acide gallique, qui se retrouvent largement dans les plantes et ont des activités antioxydantes, anti-inflammatoires et anticancéreuses (Di Carlo, et al. 1999).

Acide Caféique : Un acide phénolique largement étudié, connu pour ses propriétés antioxydantes. Il se trouve dans le café, les fruits et les légumes et montre un potentiel pour réduire le stress oxydatif et prévenir les maladies chroniques.

Acide Gallique : Un puissant antioxydant présent dans de nombreuses plantes, notamment les raisins et le thé. Il joue un rôle dans la protection des cellules contre les dommages causés par les radicaux libres.

✓ **II.2.1.2. Les flavonoïdes:**

Les flavonoïdes forment un groupe important de composés polyphénoliques présents dans presque toutes les plantes et sont responsables des couleurs vives des fleurs, des fruits et des feuilles. Ils jouent également un rôle important dans la protection des plantes contre les radiations UV, les pathogènes et les herbivores. Les flavonoïdes sont largement étudiés pour leurs effets anticancéreux, antiviraux, anti-inflammatoires et antioxydants. La structure de base des flavonoïdes est constituée de deux cycles benzéniques reliés par un pont à trois atomes de carbone (Bruneton 1993).

Quercétine : Un flavonoïde bien connu trouvé dans de nombreux fruits et légumes. Il possède de puissantes propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires, et est également connu pour son rôle potentiel dans la réduction du risque de maladies cardiovasculaires (Bruneton 1993).

Catéchines : Un type de flavonoïde trouvé dans le thé, particulièrement dans le thé vert. Les catéchines ont démontré des propriétés antioxydantes et anticancéreuses significatives.

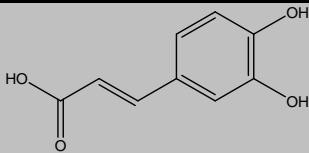
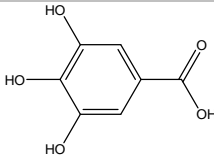
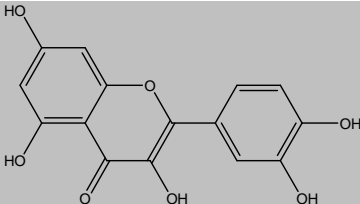
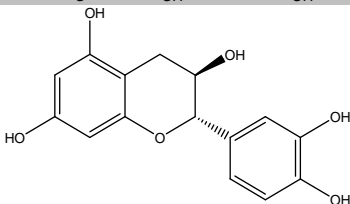
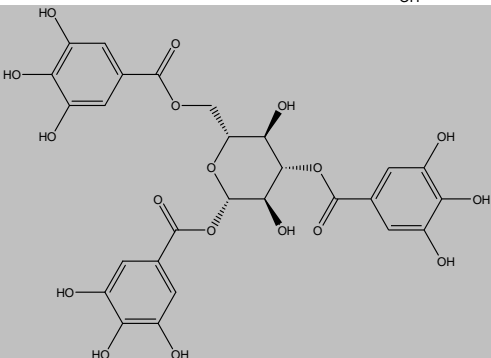
✓ **II.2.1.3. Les tanins:**

Les tanins sont des composés phénoliques complexes qui se forment par la polymérisation des flavonoïdes. Ils sont généralement solubles dans l'eau et ont un poids moléculaire variant entre 500 et 3000 Dalton. Grâce à leur structure chimique, les tanins ont une forte capacité à se lier à des molécules telles que les alcaloïdes, la gélatine, les polysaccharides et surtout les protéines. Les tanins sont présents dans de nombreuses plantes et sont responsables de l'amertume et de l'astringence de certains aliments. Ils sont également reconnus pour leurs propriétés antimicrobiennes, antivirales et anti-inflammatoires (Cowan 1999).

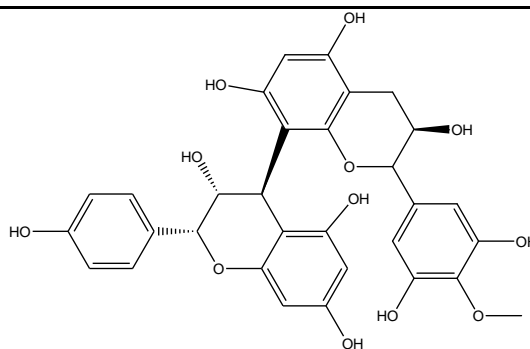
Gallotannins : Un type de tanin hydrolysable que l'on trouve dans le chêne et le thé. Les gallotannins sont connus pour leurs capacités antioxydantes et pour réduire la croissance des bactéries pathogènes (Cowan 1999).

Proanthocyanidines : Un type de tanin condensé trouvé en grande quantité dans les raisins, les baies et le cacao. Ces composés sont associés à une amélioration de la santé cardiovasculaire et ont montré des propriétés anticancéreuses significatives.

Tableau 5 : Structures chimiques des principaux composés phénoliques et leurs sources.

Composé Phénolique	Classe	Structure Chimique	Sources Exemple	Références
Acide Caféique	Acides Phénoliques Simples		Café, fruits, légumes	(Di Carlo, et al. 1999)
Acide Gallique	Acides Phénoliques Simples		Thé, raisins, feuilles de chêne	(Di Carlo, et al. 1999)
Quercétine	Flavonoïdes		Pommes, oignons, thé	(Bruneton 1993)
Catéchines	Flavonoïdes		Thé vert, pommes	(Bruneton 1993)
Gallotannins	Tanins		Chêne, feuilles de thé	(Cowan 1999).

Proanthocyanidines Tanins

Raisins, (Cowan
baies, 1999).
cacao

❖ II.2.2. Terpènes:

Les terpènes représentent l'un des groupes les plus vastes de métabolites secondaires présents dans les végétaux, notamment chez les plantes supérieures, mais également dans d'autres formes de vie telles que les algues, les mousses, les champignons et les insectes (Krief 2003). Les terpènes sont des composés organiques dérivés de l'unité de base isoprène, et leur structure chimique varie selon le nombre d'unités isopréniques qu'ils contiennent, ce qui donne une grande diversité de structures et de fonctions biologiques. Les terpènes sont notamment connus pour leurs propriétés aromatiques, leur rôle dans les mécanismes de défense des plantes, ainsi que pour leurs effets pharmacologiques bénéfiques. Ils se divisent principalement en quatre classes, chacune ayant des propriétés et des applications distinctes. Le **Tableau 6** met en évidence un exemple représentatif pour chacune des principales classes de terpènes, illustrant leur diversité chimique et fonctionnelle. Ces composés sont classés selon le nombre d'unités isopréniques qui les constituent, ce qui influence directement leur structure et leurs propriétés biologiques. Des monoterpènes aux caroténoïdes, chaque molécule présentée joue un rôle écologique essentiel pour la plante, tout en ayant des applications variées dans les domaines pharmaceutique, cosmétique, alimentaire et thérapeutique. Ce tableau synthétique permet ainsi de mieux comprendre l'intérêt croissant porté à ces métabolites secondaires dans les recherches actuelles.

✓ II.2.2.1. Les Terpénoïdes

Les terpénoïdes sont des terpènes auxquels sont attachées une ou plusieurs fonctions chimiques telles que des groupes hydroxyles, des aldéhydes, des cétones, ou des acides (Krief 2003). Ces fonctions chimiques ajoutent de la complexité et de la diversité aux terpénoïdes, qui sont utilisés dans de nombreux secteurs, de la pharmacie à l'aromathérapie.

✓ **II.2.2.2. Les Monoterpènes**

Les monoterpènes sont constitués de deux unités isopréniques et peuvent avoir différentes structures en fonction de leur agencement:

- Acycliques : comme le myrcène et l'ocymène,
- Monocycliques : tels que le terpinène et le p-cymène,
- Bicycliques : tels que le pinène et le sabinène.

Ces terpènes sont souvent associés à des substances comme des alcools (géraniol, menthone), des aldéhydes (géranial, citronellal), des cétones (carvone, menthone, β -vétinone) et des esters (acétate de géranyle, acétate de linalyle) (Krief 2003). Les monoterpènes jouent un rôle important dans la protection des plantes contre les agents pathogènes et les herbivores, tout en ayant des applications aromatiques et médicinales.

✓ **II.2.2.3. Les Sesquiterpènes**

Les sesquiterpènes sont la classe de terpènes la plus variée, comprenant plus de 3000 molécules distinctes. Ils contiennent trois unités isopréniques et se trouvent dans des plantes médicinales, des huiles essentielles et des résines. Quelques exemples incluent:

- β -caryophyllène,
- β -bisabolène,
- α -humulène,
- α -bisabolol,
- Farnesol (Bruneton, 1999).

Les sesquiterpènes possèdent une grande diversité d'activités biologiques, incluant des propriétés anti-inflammatoires, antimicrobiennes, et antioxydantes.

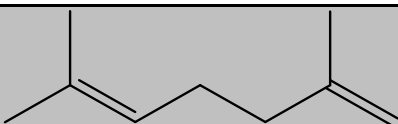
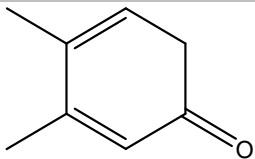
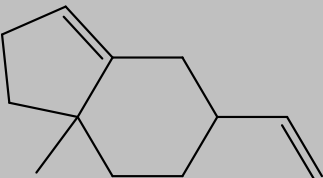
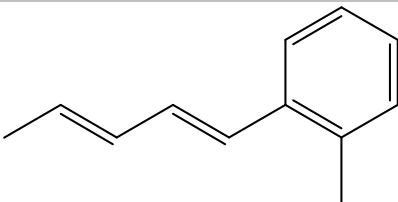
✓ **II.2.2.4. Les Caroténoïdes**

Les caroténoïdes sont des molécules tétra-terpéniques formées par la condensation de huit unités isopréniques, ce qui leur donne une structure distincte avec des propriétés chromatiques caractéristiques, notamment une couleur jaune, orange ou rouge due à la présence de nombreuses doubles liaisons conjuguées. Les caroténoïdes sont importants dans les plantes pour la photosynthèse et la protection contre laphotodommage. Ils sont largement utilisés

dans le secteur agro-alimentaire comme colorants naturels. En outre, les caroténoïdes jouent un rôle dans la prévention des dommages causés par les radiations UV, et sont recommandés pour traiter les photodermatoses (Krief 2003).

Les terpènes et leurs dérivés jouent donc un rôle crucial dans la survie des plantes et ont des applications variées allant de la médecine traditionnelle aux industries agroalimentaire et cosmétique. Leurs propriétés biologiques et pharmacologiques continuent d'être un sujet de recherche pour de nouvelles découvertes thérapeutiques.

Tableau 6 : Exemples représentatifs des principales classes de terpènes

Classe	Nom du composé	Structure chimique	Origine / Fonction
Monoterpène	Myrcène		Huiles essentielles (laurier, houblon) – arôme, antimicrobien
Terpénoïde	Carvone		Menthe verte – arôme, digestion
Sesquiterpène	β -Caryophyllène		Clou de girofle – anti-inflammatoire
Caroténoïde	β -Carotène		Carotte – pigment, antioxydant, provitamine A

❖ II.2.3. Composés azotiques (alcaloïdes):

Les alcaloïdes constituent une famille très diversifiée de métabolites secondaires azotés, naturellement produits par de nombreuses espèces végétales. Chimiquement, ce sont des molécules organiques hétérocycliques, caractérisées par la présence d'au moins un atome d'azote dans leur structure, souvent sous forme d'un cycle complexe. En plus du carbone, de l'hydrogène et de l'azote, certains alcaloïdes peuvent également contenir de l'oxygène, voire

du soufre, ce qui augmente leur complexité et leur réactivité chimique (Bruneton et Pharmacognosie 1999). Ces composés se distinguent généralement par une saveur amère et une forte activité biologique, ce qui en fait des armes chimiques efficaces dans les mécanismes de défense des plantes contre les prédateurs, les insectes herbivores et les pathogènes. Sur le plan pharmacologique, les alcaloïdes sont d'un grand intérêt pour la médecine moderne : ils sont à l'origine de nombreux médicaments aux propriétés analgésiques, antipaludiques, anticancéreuses ou stimulantes (Djahra, et al. 2013).

Parmi les exemples les plus connus, on peut citer la morphine, un alcaloïde isoquinoléique extrait du pavot (*Papaver somniferum*), utilisé depuis des siècles pour ses puissantes propriétés analgésiques et sédatives. Sa structure chimique est illustrée dans la **Figure 10** complexe lui permet d'agir sur les récepteurs opioïdes du système nerveux central, soulageant efficacement la douleur intense. Ainsi, les alcaloïdes illustrent parfaitement la manière dont les plantes peuvent produire des composés à haute valeur ajoutée, à la fois pour leur propre survie et pour des usages thérapeutiques majeurs chez l'humain.

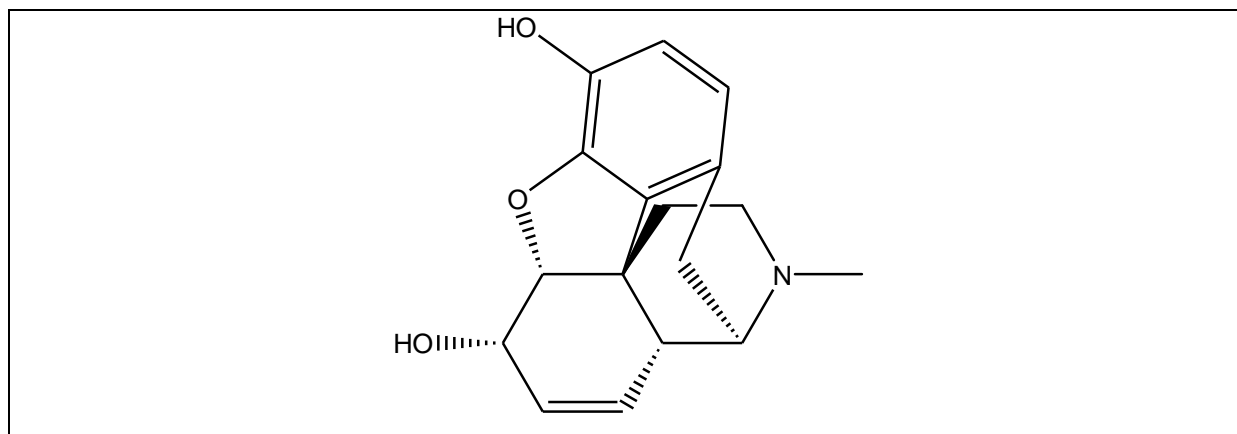


Figure 10 : Structure chimique de la morphine, un alcaloïde extrait du pavot somnifère.

III. Activités biologiques:

Les composés bioactifs d'origine végétale suscitent un intérêt croissant en raison de leurs multiples activités pharmacologiques. Les extraits de plantes, riches en métabolites primaires et secondaires, sont évalués selon différents modèles biologiques pour mettre en évidence leurs effets potentiels sur la santé humaine. Plusieurs types d'essais permettent ainsi de caractériser ces propriétés, notamment l'activité antioxydante, cytotoxique, antidiabétique, anti-inflammatoire et antibactérienne.

❖ III.1. L'activité antioxydante:

Les antioxydants naturels, notamment les polysaccharides d'origine végétale, jouent un rôle essentiel dans la protection des cellules contre le stress oxydatif. Ces composés ont la capacité de neutraliser les radicaux libres, molécules instables responsables de dommages cellulaires, et sont donc considérés comme des agents protecteurs contre le vieillissement cellulaire, les maladies cardiovasculaires, le cancer et les troubles neurodégénératifs. Des études récentes ont montré que certains polysaccharides peuvent inhiber efficacement la peroxydation lipidique, augmenter l'activité des enzymes antioxydantes endogènes (comme la SOD, la catalase) et améliorer la capacité globale de l'organisme à éliminer les radicaux libres (Wang, et al. 2017). Cette activité antioxydante confère aux extraits végétaux un intérêt majeur dans le développement de compléments alimentaires et de médicaments à base de plantes.

❖ III.2. Test de Cytotoxiques :

Les tests cytotoxiques permettent d'évaluer la capacité d'un composé à provoquer des effets délétères sur des cellules vivantes, en altérant leur métabolisme, leur prolifération, ou en induisant l'apoptose. Ces tests sont essentiels dans le cadre du criblage pharmacologique de nouvelles substances actives, notamment pour identifier d'éventuelles propriétés anticancéreuses ou pour évaluer la toxicité de composés naturels. Les essais sont généralement réalisés sur des lignées cellulaires in vitro (humaines ou animales), et les effets sont mesurés via des indicateurs de viabilité cellulaire (MTT, trypanbleu, etc.) (MASENGO, et al. 2023)

❖ III.3. Test Antidiabétique

L'activité antidiabétique des extraits végétaux repose sur leur capacité à moduler les enzymes impliquées dans le métabolisme des glucides, telles que l' α -amylase et l' α -glucosidase. En inhibant ces enzymes digestives, les composés naturels peuvent ralentir l'absorption du glucose au niveau intestinal, contribuant ainsi à une meilleure régulation de la glycémie postprandiale. Ces propriétés sont particulièrement recherchées pour le développement de thérapies alternatives au diabète de type 2, avec des effets secondaires moindres que ceux des antidiabétiques conventionnels (Rahmi and Arcot 2023).

❖ III.4. Test Anti-inflammatoire

Les tests anti-inflammatoires visent à évaluer la capacité d'un extrait ou d'un composé à réduire la production ou l'activité de médiateurs inflammatoires tels que les prostaglandines, les interleukines ou le facteur de nécrose tumorale (TNF- α). Les modèles in vitro les plus utilisés incluent l'inhibition des enzymes clés de l'inflammation, notamment la cyclooxygénase (COX-1 et COX-2), ou l'évaluation de la libération de NO (oxyde nitrique) dans les macrophages activés. Ces études permettent d'identifier des principes actifs potentiellement intéressants pour le traitement des pathologies inflammatoires chroniques (Ferrandiz and Alcaraz 1991).

❖ III.5. Test Antibactérien :

Les tests antibactériens visent à déterminer l'efficacité d'un extrait ou d'une molécule isolée à inhiber la croissance de bactéries pathogènes. Les méthodes couramment utilisées comprennent la méthode de diffusion en disque, la méthode de dilution en milieu liquide et la détermination de la concentration minimale inhibitrice (CMI). Cette activité est d'un intérêt majeur face à la recrudescence de la résistance bactérienne aux antibiotiques classiques. De nombreuses plantes médicinales ont montré une action contre des souches Gram-positives (*Staphylococcus aureus*) et Gram-négatives (*Escherichia coli*), ouvrant la voie à de nouvelles alternatives antimicrobiennes (Wikler 2006).

Matériel et Méthodes

1. Récolte et identification botanique de l'espèce *Atractylis aristata*

L'espèce *Atractylis aristata* a été récoltée dans son habitat naturel, précisément dans la région de Ternant, située à Tamanrasset dans le Sahara algérien (22°47'13"N, 5°31'38"E). La collecte a eu lieu durant la saison hivernale, en février 2019. L'identification botanique de la plante a été réalisée par le Professeur Abdelmalek Regani, spécialiste en botanique à l'Université de Tamanrasset. Une photographie représentative de l'espèce *Atractylis aristata* dans son habitat naturel est présentée à la **Figure 11**.



Figure 11: Photo de la plante *Atractylis aristata* (09/11/2024)

2. Chimie Extractive : Préparation de l'Extrait Hydroéthanolique et de l'Huile Fixe

Dans cette section, nous décrivons les protocoles suivis pour l'obtention de deux types de produits extraits d'*Atractylis aristata* : un extrait hydroéthanolique (riche en composés polaires) et une huile fixe (riche en composés lipophiles). Ces extraits seront utilisés pour des analyses phytochimiques et biologiques ultérieures. La **Figure 11** illustre de manière schématique les protocoles d'extraction de l'huile fixe par Soxhlet ainsi que de l'extrait hydroéthanolique d'*Atractylis aristata*, utilisés au cours de cette étude.

❖ 2.1. Préparation de l'Extrait Hydroéthanolique

L'extraction hydroéthanolique permet de récupérer une grande variété de métabolites secondaires hydrosolubles et alcoolosolubles présents dans la plante. Étapes du protocole:

✓ **2.1.1. Séchage et broyage :**

La plante a été soigneusement séchée dans un environnement aéré, sec, et à l'abri de la lumière pour préserver ses constituants actifs. Une fois sèche, la plante entière a été broyée. Une masse de 30,02 g de poudre végétale a été utilisée.

✓ **2.1.2. Macération avec solvant hydroalcoolique :**

Le matériel végétal a été macéré dans un mélange d'éthanol et d'eau dans un rapport volumique de 140:60 mL. Cette étape de macération a été répétée trois fois, avec renouvellement complet du solvant toutes les 24 heures, afin d'optimiser l'extraction des composés bioactifs.

✓ **2.1.3. Filtration et concentration :**

Après chaque cycle, la solution a été laissée à reposer toute une nuit avant d'être filtrée. Le filtrat a ensuite été concentré par évaporation, puis la solution résiduelle a été séchée dans un incubateur à 40°C jusqu'à obtention d'une poudre sèche.

✓ **2.1.4. Calcul du rendement en extrait brut :**

Le rendement a été déterminé par la formule suivante:

$$R (\%) = \frac{m}{m_0} * 100$$

Où:

- **m** = masse en grammes de l'extrait sec final,
- **m₀** = masse en grammes de la plante sèche initiale (**30,02 g**).

❖ **2.2. Préparation de l'Huile Fixe (Extraction Lipidique)**

L'extraction de l'huile fixe a été réalisée selon la méthode Soxhlet, qui permet d'extraire efficacement les lipides et autres composés non polaires présents dans la plante. Étapes du protocole:

✓ **2.2.1. Préparation de l'échantillon :**

42,44g de plante sèche ont été broyés en poudre fine, puis placés dans une cartouche de cellulose poreuse.

✓ **2.2.2. Montage de l'appareil de Soxhlet :**

La cartouche contenant l'échantillon a été insérée dans la chambre d'extraction d'un dispositif de Soxhlet. Un ballon contenant 350 mL d'hexane a été utilisé comme solvant d'extraction. Le montage a été chauffé à 50°C pendant 1 heure et demie.

✓ **2.2.3. Principe de l'extraction :**

L'hexane s'évapore, se condense, puis s'égoutte sur l'échantillon. Il dissout les composés lipophiles, puis retourne dans le ballon par siphonnage, dans un cycle continu.

✓ **2.2.4. Récupération de l'huile :**

À la fin de l'extraction, l'hexane est éliminé par évaporation. L'huile fixe résiduelle est récupérée, puis stockée dans des flacons en verre ambré et conservée à 4°C pour prévenir toute dégradation.

✓ **2.2.5. Calcul du rendement en huile fixe :**

Le rendement est exprimé par la formule :

$$HE (\%) = \frac{m1}{m0} * 100$$

Où :

- **m1** = masse d'huile fixe obtenue,
- **m0** = masse initiale de plante sèche (**42,44 g**).

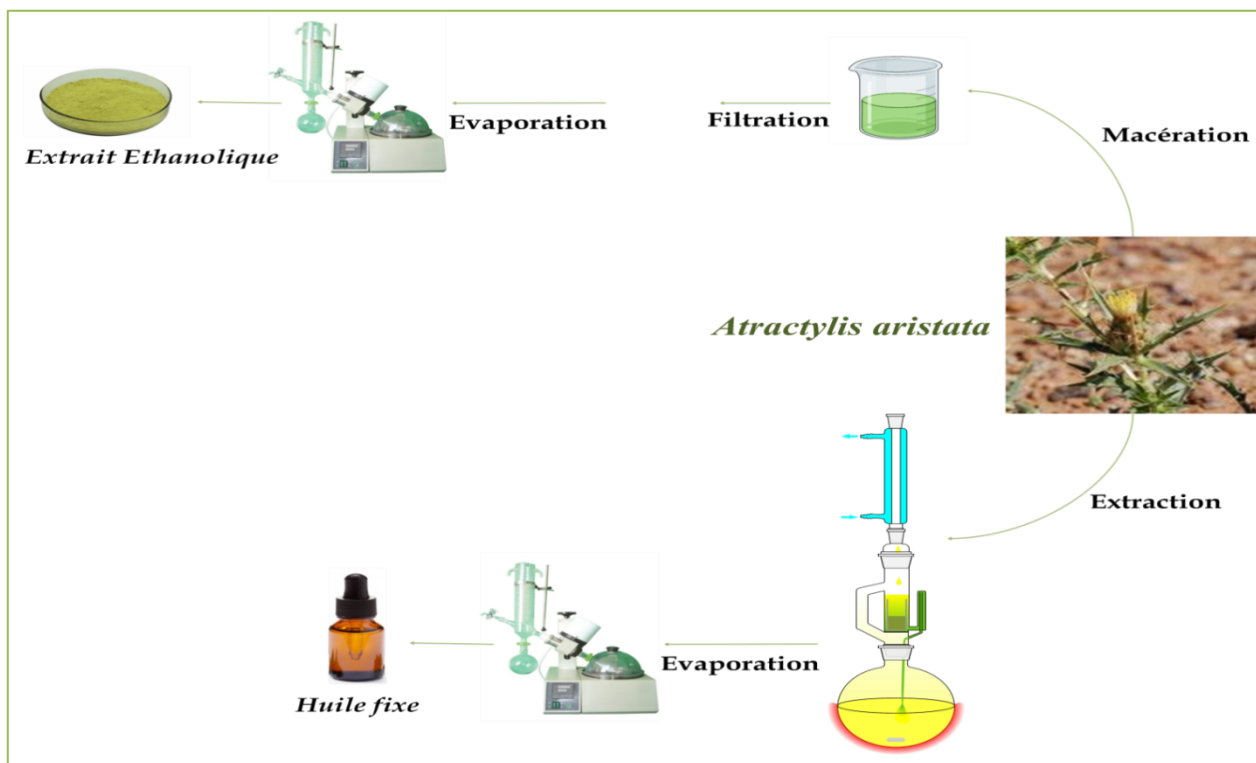


Figure 12 : Schéma des protocoles d'extraction de l'extrait hydroéthanolique et de l'huile fixe d'*Atractylis aristata*

3. Analyses quantitatives des composés bioactifs phénoliques dans les extraits végétaux

❖ 3.1. Quantification des composés phénoliques totaux (CPT)

La teneur en composés phénoliques totaux (CPT) présents dans les extraits a été déterminée par spectrophotométrie UV-Visible, selon la méthode au réactif de Folin-Ciocalteu, telle que décrite par Trease & Evans (1987). Cette méthode repose sur le transfert d'électrons en milieu alcalin des groupements phénoliques vers le réactif phosphomolybdique-phosphotungstique, produisant un complexe coloré bleu mesuré à 760 nm (Trease et Evans 1987).

Mode opératoire :

Une aliquote de 0,1 mL de l'extrait est mélangée avec 0,5 mL du réactif de Folin-Ciocalteu (préalablement dilué 10 fois). Après une incubation de 5 minutes à température ambiante, 2 mL d'une solution de carbonate de sodium (Na_2CO_3 à 20 %) sont ajoutés pour neutraliser le milieu. Le mélange est ensuite agité vigoureusement et incubé à l'obscurité pendant 30 minutes. L'absorbance est mesurée à 760 nm contre un blanc (où l'extrait est

remplacé par du méthanol). La concentration en composés phénoliques est déterminée à partir de la courbe d'étalonnage de l'acide gallique (concentrations allant de 0,03 à 0,27 mg/mL). Les résultats sont exprimés en mg d'équivalent acide gallique (EAG) par gramme de poids sec (mg EAG/g PS).

❖ 3.2. Quantification des flavonoïdes totaux

La teneur en flavonoïdes a été déterminée par la méthode colorimétrique à l' AlCl_3 , selon le protocole modifié de Singleton, Orthofer et al. (1999). L'aluminium forme un complexe stable avec les groupes hydroxyles des flavonoïdes, entraînant une coloration jaune dont l'intensité peut être mesurée à 430 nm (Singleton, *et al.* 1999).

Mode opératoire :

Un volume de 1,5 mL de solution éthanolique d' AlCl_3 (2 %) est ajouté à 1,5 mL de l'extrait méthanolique. Le mélange est incubé à l'obscurité pendant 30 minutes à température ambiante. L'absorbance est ensuite mesurée à 430 nm, par rapport à un blanc (même mélange, l'extrait étant remplacé par du méthanol). La concentration en flavonoïdes est calculée à partir de la courbe d'étalonnage de la quercétine (0,003–0,03 mg/mL), et les résultats sont exprimés en mg d'équivalent quercétine (EQ) par gramme de poids sec (mg EQ/g PS).

❖ 3.3. Quantification des tanins condensés

Les tanins condensés ont été quantifiés selon la méthode à la vanilline en milieu acide, décrite par Yi, *et al.* (2008). Cette méthode repose sur la réaction entre la vanilline et les unités flavan-3-ol des tanins condensés en présence d'acide chlorhydrique, formant un complexe rouge mesurable à 500 nm. (Yi, *et al.* 2008).

Mode opératoire :

Un volume de 3 mL de solution éthanolique de vanilline (4 %) est ajouté à 1,5 mL d'acide chlorhydrique concentré, puis à 0,4 mL d'extrait. Le mélange est incubé à l'obscurité pendant 15 minutes à température ambiante. L'absorbance est mesurée à 500 nm contre un blanc (même mélange, extrait remplacé par du méthanol) selon la méthode de (Belguidoum, *et al.* 2015). La concentration en tanins est déterminée à l'aide d'une courbe d'étalonnage du standard de catéchine (0,01–0,08 mg/mL). Les résultats sont exprimés en mg d'équivalent catéchine (EC) par gramme de poids sec (mg EC/g PS).

4. L'activité antioxydante

❖ 4.1. Évaluation de l'activité antioxydante par la méthode du radical DPPH

Le test DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle) est une méthode largement utilisée pour évaluer l'activité antioxydante des extraits naturels. Ce radical libre stable, de couleur violette intense, possède une absorption caractéristique à 517 nm. Lorsqu'il entre en contact avec un antioxydant, il est réduit en une forme non radicalaire, entraînant une diminution de l'absorbance proportionnelle à la capacité antiradicalaire de l'échantillon. Ainsi, une forte réduction de l'absorbance à 517 nm traduit une activité antioxydante élevée. L'intensité de cette réduction dépend de la nature chimique, de la concentration et de la puissance des composés antioxydants présents dans l'extrait analysé. La **Figure 12** illustre la forme réduite du radical DPPH après interaction avec un antioxydant.

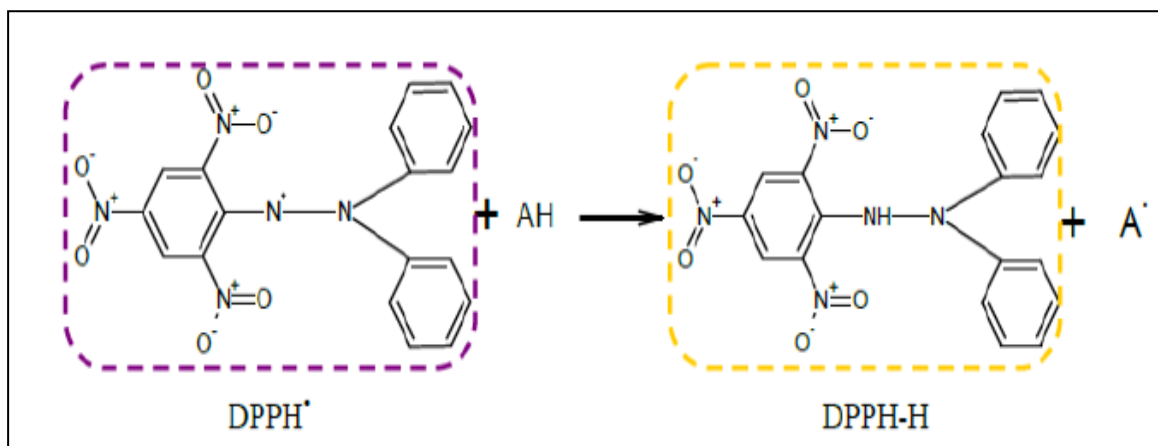


Figure 13: Forme réduite du radical DPPH.

Protocole

Pour évaluer l'activité antioxydante des extraits d'*A. aristata*, une solution radicalaire de DPPH a été préparée en dissolvant 4 mg de DPPH dans 100 mL de méthanol. À partir d'une solution mère d'extrait à 5 %, une série de dilutions successives a été réalisée afin d'obtenir dix concentrations différentes. Pour chaque concentration, un volume de 200 µL d'extrait a été prélevé et transféré dans un tube à essai, en trois répétitions. Ensuite, 800 µL de la solution de DPPH ont été ajoutés à chaque tube. Les mélanges ont été vigoureusement agités, puis incubés à l'obscurité pendant 30 minutes à température ambiante. L'absorbance des échantillons a été mesurée à 517 nm à l'aide d'un spectrophotomètre, contre un témoin

négatif composé de 800 µL de DPPH et 200 µL de méthanol (ou d'eau distillée selon le solvant de l'extrait). L'acide ascorbique et le BHT ont été utilisés comme témoins positifs pour la comparaison. L'activité antioxydante a été exprimée en pourcentage d'inhibition du radical DPPH, et la concentration inhibitrice 50 (CI₅₀) a été déterminée à partir de la courbe dose-réponse, correspondant à la concentration d'extrait nécessaire pour réduire de 50 % l'absorbance initiale du DPPH (Hsu, *et al.* 2006). L'activité de piégeage des radicaux libres a été calculée selon l'équation suivante :

$$I\% = \frac{A_0 - A_A}{A_0} * 100 \quad (1)$$

Où:

- I% représente le pourcentage d'inhibition du radical,
- A₀ est l'absorbance du témoin (solution radicalaire sans extrait),
- A_A est l'absorbance en présence de l'échantillon (extrait).

❖ 4.2. Évaluation de l'activité antioxydante par la méthode ABTS+

Le test ABTS (2,2'-azino-bis(3-éthylbenzothiazoline-6-sulfonique)) est une méthode couramment utilisée pour mesurer la capacité antioxydante d'un échantillon à piéger les radicaux libres cationiques. Ce test repose sur la neutralisation du cation radicalaire ABTS^{•+}, un composé bleu-vert stable, par les antioxydants présents dans les extraits. L'intensité de la décoloration, mesurée à 734 nm, est proportionnelle à la capacité antiradicalaire de l'échantillon. Plus la décoloration est importante, plus l'activité antioxydante est élevée. Dans cette étude, l'activité antioxydante des extraits d'*A. aristataa* a été évaluée en mesurant leur capacité à réduire le radical ABTS^{•+}. Le cation radicalaire a été généré par oxydation du composé ABTS en présence de persulfate de potassium, selon la méthode décrite par (Rey, *et al.* 1999).

Protocole

Pour cela, 10 mL d'une solution d'ABTS à 20 mM ont été mélangés à 100 µL d'une solution de persulfate de potassium (K₂S₂O₈) à 70 mM. Le mélange a été incubé à température ambiante dans l'obscurité pendant 16 heures afin de permettre la formation complète du radical. La solution obtenue, de couleur bleu-vert, a ensuite été diluée avec une solution tampon (buffer) pour obtenir une absorbance d'environ 0,700 ± 0,020 à 734 nm (solution finale). Pour l'évaluation, 100 µL de différentes concentrations d'extraits ont été ajoutés à 1900 µL de la solution finale d'ABTS^{•+}. Le mélange a été incubé à température ambiante

pendant 6 minutes dans l'obscurité, puis l'absorbance a été mesurée à 734 nm. Un blanc (solution ABTS•⁺ + méthanol) a été utilisé comme contrôle négatif, tandis que l'acide ascorbique a servi de contrôle positif. Le pourcentage d'inhibition a été calculé selon la même formule utilisée pour le test DPPH, permettant de déterminer l'efficacité de chaque extrait. Les résultats sont exprimés en pourcentage d'inhibition, et la CI₅₀ (concentration nécessaire pour inhiber 50 % du radical ABTS•⁺) a été utilisée comme indicateur de l'activité antioxydante.

❖ 4.3. Évaluation de l'activité antioxydante par le test FRAP :

Le test FRAP (FerricReducing Antioxidant Power) est une méthode développée pour mesurer la capacité d'un composé à réduire le fer ferrique (Fe³⁺) en fer ferreux (Fe²⁺). Ce pouvoir réducteur est un indicateur de l'activité antioxydante. En effet, à pH acide, les ions Fe²⁺ réagissent avec le complexe 2,4,6-tris(2-pyridyl)-1,3,5-s-triazine (TPTZ) pour former un complexe coloré bleu foncé dont l'absorbance maximale se situe à 594 nm. Plus l'intensité de la coloration est élevée, plus la capacité antioxydante de l'échantillon est importante. Les résultats sont comparés à ceux d'une solution standard de Fe²⁺, permettant une quantification relative de l'activité réductrice (Benzie et Strain 1996; Pulido, *et al.* 2000).

Protocole

L'activité réductrice des extraits d'*A. aristata* a été évaluée à l'aide du réactif FRAP, préparé en mélangeant plusieurs solutions dans des tubes à essai. Pour chaque essai, 0,25 mL d'extrait aqueux, préparé à différentes concentrations à partir d'une solution mère de 5 mg/mL diluée dix fois, a été ajouté à 0,625 mL de tampon phosphate de sodium (0,2 M, pH 6,6), puis à 0,625 mL d'une solution à 1 % de ferricyanure de potassium [[K₃Fe(CN)₆]. Le mélange a été incubé au bain-marie à 50 °C pendant 20 minutes. Après incubation, 2,5 mL d'acide trichloroacétique (TCA) à 10 % ont été ajoutés pour stopper la réaction. Le mélange a ensuite été centrifugé à 3000 tr/min pendant 10 minutes. Ensuite, 0,625 mL du surnageant a été transféré dans un tube propre, auquel ont été ajoutés 0,625 mL d'eau distillée et 0,125 mL de chlorure ferrique à 0,1 % (fraîchement préparé dans de l'eau distillée). L'absorbance du mélange réactionnel a été mesurée à 700 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Visible. L'acide ascorbique a été utilisé comme contrôle positif pour valider les résultats.

❖ 4.4. Évaluation de la capacité antioxydante totale (TAC)

Le test TAC (Total Antioxidant Capacity) est une méthode spectrophotométrique fondée sur la capacité des composés antioxydants à réduire l'ion molybdène (VI) en molybdène (V).

Cette réduction, effectuée en milieu acide, entraîne la formation d'un complexe phosphate/molybdène (V) de couleur verte, mesurable par absorbance à 695 nm. L'intensité de la coloration est directement proportionnelle à la capacité réductrice de l'échantillon, et donc à son activité antioxydante. Cette méthode a été décrite par Prieto, Pineda et Aguilar (1999) et est particulièrement utile pour évaluer la capacité antioxydante globale d'un extrait, indépendamment de la nature chimique des antioxydants présents (Prieto, *et al.* 1999).

Protocol

Un volume de 100 μ L d'extrait est introduit dans un tube à essai contenant 1 mL d'une solution réactive composée de 0,6 N d'acide sulfurique, 28 mM de phosphate disodique (Na_2HPO_4) et 4 mM de molybdate d'ammonium ($(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$). Le mélange est ensuite incubé au bain-marie à 95 °C pendant 90 minutes. Après refroidissement à température ambiante durant 6 minutes, l'absorbance est mesurée à 695 nm à l'aide d'un spectrophotomètre, contre un blanc préparé dans les mêmes conditions, dans lequel l'extrait est remplacé par du méthanol. L'activité antioxydante totale est exprimée en milligrammes équivalent acide gallique par gramme de matière sèche (mg EAG/g MS), en se basant sur une courbe d'étalonnage obtenue à partir de concentrations connues en acide gallique.

5. Activité anti-inflammatoire

La méthode décrite par Winter (1962) a été utilisée pour évaluer l'effet anti-inflammatoire (Winter, Risley *et al.* 1962). Pour l'application de cette méthode, les animaux sont répartis en trois lots renfermant chacun six souris, qui sont mis à jeun 12 heures avant l'expérimentation. La première étape consiste à administrer une heure avant l'injection de la carragénine, différentes solutions ont été administrées par voie intrapéritonéale.

❖ 5.1. Essai d'inhibition de la dénaturation des protéines à l'aide d'albumine sérique bovine et d'huile végétale

L'évaluation de l'effet inhibiteur d'un échantillon d'huile végétale sur la dénaturation des protéines a été réalisée en utilisant l'albumine sérique bovine (BSA) comme protéine modèle. Pour ce faire, une solution de BSA à 0,4 % (p/v) a été préparée dans un tampon salin Tris (TBS), et son pH a été ajusté à 6,4 avec de l'acide acétique glacial si nécessaire. L'huile végétale a été testée à six concentrations différentes (25 %, 12,5 %, 6,25 %, 3,125 %, 1,56 %, 0,78 %). Chaque tube à essai a reçu 1 ml de solution de BSA, suivi du volume approprié d'huile végétale, et le volume total a été porté à 2,5 ml avec de l'eau distillée. Un témoin

négatif a été préparé avec de l'eau distillée sans huile, tandis qu'un témoin positif a été préparé avec de l'aspirine à des concentrations équivalentes, pour servir de référence. Les tubes ont été incubés à 37 °C pendant 15 minutes avant de subir une dénaturation thermique à 55 °C pendant 10 minutes dans un bain-marie. Après refroidissement à température ambiante, l'absorbance de chaque échantillon a été mesurée à 660 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV-visible, et une augmentation de l'absorbance a indiqué une dénaturation protéique plus importante due à la précipitation (Bailey-Shaw *et al.*, 2017).. Le pourcentage d'inhibition de la dénaturation protéique a été calculé selon la formule suivante :

$$I\% = \frac{(\text{Absorbance témoin} - \text{Absorbance échantillon})}{\text{Absorbance échantillon}} * 100$$

Où :

- Absorbance du témoin = Témoin négatif (sans huile),
- Absorbance de l'échantillon = Solution d'essai traitée à l'huile.

❖ 5.2. Inhibition de la dénaturation de l'albumine sérique bovine (BSA) d'extrait

L'efficacité de l'extrait végétal à inhiber la dénaturation de l'albumine sérique bovine (BSA) a été évaluée selon une méthode légèrement modifiée. Quatre concentrations de l'extrait (1,75 ; 2,5 ; 5 et 10 mg/mL) ont été préparées dans une solution tampon Tris-HCl 0,02 M (pH 6,6).

Des volumes égaux de l'extrait et d'une solution aqueuse d'albumine bovine à 2 % (p/v) ont été mélangés. Le mélange réactionnel a été d'abord incubé à 37 °C pendant 15 minutes afin de favoriser les interactions entre les composés de l'extrait et la protéine. Ensuite, les échantillons ont été chauffés à 72 °C pendant 5 minutes pour induire la dénaturation thermique de l'albumine. Après refroidissement à température ambiante, l'absorbance a été mesurée à 650 nm à l'aide d'un spectrophotomètre. Le diclofénac a été utilisé comme témoin positif en raison de ses propriétés anti-inflammatoires bien établies. Toutes les expériences ont été réalisées en triplicat pour assurer la fiabilité des résultats. Le pourcentage d'inhibition de la dénaturation de l'albumine a été calculé selon l'équation suivante :

$$I\% = \frac{(\text{Absorbance témoin} - \text{Absorbance échantillon})}{\text{Absorbance échantillon}} * 100$$

6 . Évaluation de la Cytotoxicité des Extraits Végétaux et des Huiles Végétales sur la Croissance de *Saccharomyces cerevisiae*

L'effet d'un extrait végétal et d'une huile végétale sur la croissance de *Saccharomyces cerevisiae* a été évalué à l'aide d'un test de sensibilité à la croissance et de cytotoxicité. Une solution mère de l'extrait végétal a été préparée à une concentration initiale de 20 mg/mL, tandis que l'huile végétale a été préparée à des

concentrations appropriées, toutes deux diluées en série deux fois pour obtenir des concentrations finales allant jusqu'à 0,625 mg/mL. Les cellules de levure ont été ajustées à une concentration de 2×10^7 cellules/mL dans un tampon phosphate de potassium à 100 mM (pH 7) et traitées avec l'extrait ou l'huile végétale à différentes concentrations, dans une plaque à 96 puits. Le mélange a été incubé à 37°C pendant 30 minutes, avec des cellules non traitées servant de contrôle négatif pour évaluer l'effet de l'extrait ou de l'huile sur la croissance des levures. Pour un test semi-quantitatif de type "spot-test", 2,5 µL de chaque culture traitée ont été déposés sur des plaques solides YPD-agar contenant 2 % de glucose, avec et sans l'extrait végétal ou l'huile végétale aux concentrations correspondantes. Après incubation à 37°C pendant 48 heures, la croissance des levures a été documentée à l'aide d'un scanner Epson®. La croissance des échantillons traités a été comparée au contrôle non traité, ce qui a permis d'évaluer les effets cytotoxiques ou inhibiteurs de l'extrait végétal et de l'huile végétale à différentes concentrations (Ben Amor *et al.*, 2024).

7. Évaluation de l'activité inhibitrice de l' α -amylase à l'aide d'un extrait végétal et d'une huile végétale

L'activité inhibitrice de l' α -amylase de l'extrait végétal et de l'huile végétale a été évaluée à l'aide d'un dosage à base d'iode en microplaque. Le test a été réalisé dans une plaque à 96 puits, chaque puits contenant un mélange réactionnel composé de 40 µL d'une solution d'amidon soluble à 1 % (p/v) (substrat), 40 µL de l'échantillon testé (extrait végétal ou huile végétale) à différentes concentrations, et 20 µL d'une solution d' α -amylase pré-diluée. Les mélanges ont été incubés à 37 °C pendant 10 minutes afin de permettre l'hydrolyse enzymatique de l'amidon en présence des substances testées.

Protocol

Après incubation, la réaction a été arrêtée par l'ajout de 20 µL de réactif iodé dans chaque puits, lequel réagit avec l'amidon résiduel (non digéré) pour former un complexe bleu-noir. L'absorbance a été mesurée à 620 nm à l'aide d'un lecteur de microplaque. Un témoin négatif contenant l'enzyme et l'amidon sans échantillon testé a été utilisé pour représenter

l'activité enzymatique maximale, tandis qu'un témoin positif contenant l'inhibiteur standard de l' α -amylase, l'acarbose, a servi de référence comparative.

Des valeurs d'absorbance plus élevées indiquent une plus grande quantité d'amidon non digéré, traduisant une inhibition plus forte de l'activité enzymatique. Le pourcentage d'inhibition de l' α -amylase a été calculé pour chaque concentration, permettant une évaluation comparative du potentiel inhibiteur de l'extrait végétal et de l'huile végétale par rapport à l'acarbose (Chakrabarti, *et al.* 2014; Khadayat, *et al.* 2020; Granados-Guzmán, *et al.* 2022).

8. Activité antibactérienne

L'activité antibactérienne de l'extrait éthanolique et de l'huile fixe d'*Atractylis aristata* a été évaluée sur certaines souches bactériennes obtenues de l'Institut Pasteur d'Algérie. Trois souches ont été testées : une souche Gram-positif (*Staphylococcus aureus* ATCC 43300) et deux souches Gram-négatives (*Pseudomonas aeruginosa* ATCC 9027 et *Escherichia coli* ATCC 2592).

Protocol

De l'agar Müller-Hinton (MH agar) a été coulé dans des boîtes de Pétri, laissé à solidifier puis séché en surface avant l'ensemencement. Les extraits ont été dissous dans du diméthylsulfoxyde (DMSO) à 10 % pour préparer les solutions mères. Des disques stériles de 5 mm ont été déposés sur la surface des milieux ensemencés et imprégnés de 100 μ L de chaque solution d'extrait. Le DMSO (10 %) a été utilisé comme témoin négatif, et la pénicilline (10 μ g), la rifampicine (5 μ g) ainsi que l'amoxicilline (25 μ g) comme témoins positifs. Tous les tests ont été réalisés en triplicat, et l'activité antibactérienne a été exprimée par le diamètre moyen des zones d'inhibition. Après incubation à 37 °C pendant 18 à 24 heures, les zones d'inhibition ont été mesurées. La réponse antibactérienne a été classée en fonction du diamètre de la zone d'inhibition (ZI) : ZI < 8 mm (non sensible, -), 9–14 mm (sensible, +), 15–19 mm (très sensible, ++), et > 20 mm (extrêmement sensible, +++). Cette méthodologie s'inspire des travaux de Fauchère et Avril (2002) ainsi que de Dahiya et Purkayastha (2012), avec une classification de sensibilité basée sur les critères de Duraffourd *et al.* (1990).

Conclusion

La présente étude met en évidence le potentiel pharmacologique prometteur de la plante entière *Atractylis aristata*, à travers l'analyse comparative de son extrait hydroéthanolique et de son huile fixe. Le rendement d'extraction a été satisfaisant, avec 5,62 % pour l'extrait hydroéthanolique et 3,17 % pour l'huile, reflétant une bonne efficacité des procédés utilisés et suggérant une richesse en composés bioactifs, en particulier les substances polaires et semi-polaires. L'analyse phytochimique a permis de quantifier des teneurs modérées en polyphénols, flavonoïdes et tanins condensés, des métabolites secondaires connus pour leurs propriétés biologiques intéressantes, notamment antioxydantes, anti-inflammatoires et antimicrobiennes.

L'évaluation de l'activité antioxydante a révélé que l'extrait présente une capacité significative à neutraliser les radicaux libres, avec de bonnes performances dans les tests DPPH, ABTS, FRAP et TAC. Bien que légèrement moins efficaces que certains extraits aqueux rapportés dans la littérature, les résultats obtenus confirment un pouvoir antioxydant substantiel attribuable à la présence de composés phénoliques tels que l'acide gallique et la quercétine. L'huile fixe a montré une activité antioxydante plus faible, limitée au test DPPH, suggérant une composition moins riche en antioxydants hydrosolubles. Sur le plan anti-inflammatoire, l'extrait et l'huile ont tous deux démontré une inhibition dose-dépendante de la dénaturation de l'albumine (BSA), utilisée comme marqueur d'inflammation. L'huile s'est distinguée par une efficacité notable à faible concentration, proche de celle du diclofénac, tandis que l'extrait a montré une efficacité accrue à plus fortes doses. Ces résultats suggèrent que les deux extraits possèdent un potentiel thérapeutique intéressant en tant qu'agents anti-inflammatoires naturels.

L'évaluation de la cytotoxicité, réalisée sur *Saccharomyces cerevisiae*, a montré que l'extrait est légèrement cytotoxique uniquement à très forte concentration (20 mg/mL), avec une viabilité cellulaire de 90 %, tandis qu'il reste totalement sûr aux concentrations inférieures. L'huile, quant à elle, n'a montré aucun effet toxique à toutes les doses testées, affichant une viabilité de 100 %, ce qui confirme sa sécurité et son innocuité potentielle pour des applications thérapeutiques ou cosmétiques.

Concernant l'activité antidiabétique, les deux extraits ont montré une capacité à inhiber l'enzyme α -amylase de manière dose-dépendante, bien que leur efficacité reste inférieure à celle de l'acarbose, médicament de référence. L'huile s'est révélée légèrement

plus active que l'extrait à des concentrations élevées, suggérant un intérêt potentiel dans la régulation de l'hyperglycémie postprandiale.

Enfin, l'activité antibactérienne de l'extrait hydroéthanolique s'est révélée particulièrement marquée contre les bactéries Gram positif, notamment *Staphylococcus aureus*, avec des zones d'inhibition supérieures ou égales à 20 mm. L'activité contre les bactéries Gram négatif, comme *E. coli* et *P. aeruginosa*, a été plus modérée, mais reste notable à forte concentration. L'huile fixe, en revanche, a montré une activité antibactérienne très limitée, principalement contre *P. aeruginosa*, et aucune efficacité contre *E. coli*.

En conclusion, *Atractylis aristata* présente un profil pharmacologique polyvalent, avec un extrait hydroéthanolique efficace, doté d'activités antioxydantes, anti-inflammatoires et antibactériennes remarquables, et une huile fixe présentant une excellente tolérance, associée à des effets anti-inflammatoires et antidiabétiques intéressants. Ces résultats encouragent la valorisation de cette plante dans les domaines pharmaceutique, cosmétique et nutraceutique. Des études complémentaires, notamment in vivo et de caractérisation structurale des composés actifs, sont nécessaires pour confirmer et approfondir ces données.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

Ali, et al. (2016). Extraction of Fixed Oil from Seeds of ammomum Sublatum (Black Cardamom), Sudan University for Science and Technology.

Atanasov, et al. (2021). "Natural products in drug discovery: advances and opportunities." Nature reviews Drug discovery**20**(3): 200-216.

Badaoui, et al. (2021). "Pyrroloquinolone A, a new alkaloid and other phytochemicals from Atractylis cancellata L. with antioxidant and anticholinesterase activities ".Natural Product Research**35**(18): 2997-3003.

Barnes, et al. (2003). Herbal medicines: a guide for healthcare professionals.

Belguidoum, et al. (2015). "In vitro antioxidant properties and phenolic contents of Zygophyllum album L. from Algeria." J Chem Pharm Res**7**(1): 510-514.

Ben Salem, O. (2015). "Étude de l'abondance relative de souches de" Fusarium graminearum" dans un inoculum mixte par séquençage 454".

Benhouhou, et al. (2005). "Le cyprès du Tassili: caractérisation floristique et écologique." Science et changements planétaires/Sécheresse**16**(1): 61-66.

Benzie, et al (1996). "The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay." Analytical biochemistry**239**(1): 70-76.

Bohm, et al (2013). Flavonoids of the sunflower family (Asteraceae), Springer Science & Business Media.

Bruneton, J. (1993). "Pharmacognosie, phytochimie, Plantes médicinales. 2eme édition Lavoisier, Paris".

Bruneton, J. et P. Pharmacognosie (1999). "Plantes médicinales." Paris: Lavoisier Technique et Documentation**405**.

Capdevielle, P. et R. Darracq (1980). "Poisoning by bird-line thistle (Atractylis gummifera L.)(author's transl ".(Medecine Tropicale: Revue du Corps de Sante Colonial**40**(2): 137-142.

Chabani, et al. (2013). "Flavonoid glycosides and triterpenoids from Atractylis flava." Phytochemistry Letters**6**(1): 9-13.

- Chabani, et al. (2016). "Chemical composition of medicinal plant *Atractylis serratuloides*." Industrial Crops and Products**88**: 91-95.
- Chakrabarti, et al. (2014). "Screening of nine herbal plants for in vitro α -amylase inhibition." Screening**7**(4): 84-89.
- Chen LiangYu, et al. (2013). "The degradation mechanism of toxic atractyloside in herbal medicines by decoction".
- Cowan, M. M. (1999). "Plant products as antimicrobial agents." Clinical microbiology reviews**12**(4): 564-582.
- Danieli, et al. (1972). "Structure of the diterpenoid car \square yatractyloside." Phytochemistry**11**(12): 3501-3504.
- Di Carlo, et al. (1999). "Flavonoids: old and new aspects of a class of natural therapeutic drugs." Life sciences**65**(4): 337-353.
- Djahra, et al. (2013). "Extraction, séparation et activité antibactérienne de tanins de marrube." Phytothérapie**11**: 348-352.
- El Rhaffari, L et A. Zaid (2002). "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**1**: 293-318.
- Elshafie, et al. (2023). "A comprehensive review on the biological, agricultural and pharmaceutical properties of secondary metabolites based-plant origin." International journal of molecular sciences**24**(4): 3266.
- Ferrandiz, M. et M. Alcaraz (1991). "Anti-inflammatory activity and inhibition of arachidonic acid metabolism by flavonoids." Agents and actions**32**: 283-288.
- Filleul, E .(2019) .Les Astéracées: description botanique, biologique et étude de plantes médicinales et.
- Funk, et al. (2009). "Compositae metatrees: the next generation." Systematics, evolution, and biogeography of Compositae.
- Funk, et al. (2009). "Classification of compositae." Systematics, evolution, and biogeography of Compositae.

- Gattefossé, J. (1921). Les plantes dans la thérapeutique indigène au Maroc.
- Granados-Guzmán, et al. (2022). "ASSESSMENT OF α -AMYLASE INHIBITION ACTIVITY BY AN OPTIMIZED AND VALIDATED IN VITRO MICROSCALE METHOD." Química Nova**45**.
- Guillaume, D. et Z. Charrouf (2005). "Saponines et métabolites secondaires de l'arganier (*Argania spinosa*)." Cahiers Agricultures**14**(501) 516-509 :(6)
- Guo, et al. (2013). "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**14**(11): 6363-6367
- Gurib-Fakim, A. (2006). "Medicinal plants: traditions of yesterday and drugs of tomorrow." Molecular aspects of Medicine**27**(1): 1-93.
- Hamdy, R. et R. A. Hassan (2025). "An Annotated Checklist for the Egyptian Vascular Flora".
- Hammiche, V. et K .Maiza (2006). "Traditional medicine in Central Sahara: pharmacopoeia of Tassili N'ajjer." Journal of Ethnopharmacology**105**(3): 358-367.
- Hammiche, et al. (2013). Plantes toxiques à usage médicinal du pourtour méditerranéen, Springer.
- Harkati, B. et S. Akkal (2011). "Valorisation et identification structurale des principes actifs de la plante de la famille asteraceae".
- Hopkins, W. G. (2003). Physiologie végétale, De Boeck Supérieur.
- Hsu, et al. (2006). "Antioxidant activity of hot water extract from the fruit of the Doum palm, *Hyphaene thebaica*." Food chemistry**98**(2): 317-328.
- Iserin, et al. (2007). Encyclopédie des plantes médicinales, Larousse.
- Judd, et al. (1999). "Plantsystematics: a phylogenetic approach." Ecología mediterránea**25**(2): 215.
- Khadaya, et al. (2020). "Evaluation of the alpha-amylase inhibitory activity of Nepalese medicinal plants used in the treatment of diabetes mellitus." ClinicalPhytoscience**6**: 1-8.
- Krief, S. (2003). Métabolites secondaires des plantes et comportement animal: surveillance sanitaire et observations de l'alimentation des chimpanzés (*Pan troglodytes schweinfurthii*) en

Ouganda. Activités biologiques et étude chimique de plantes consommées, Museum national d'histoire naturelle-MNHN PARIS.

Langlade, V. (2010). L'Ortie dioïque, *Urtica Dioica* L., Etude bibliographique, Thèse de doctorat en Pharmacie, Université de Nante-France, 3 mai.

Larabi, et al. (2012). Déterminations des teneurs en atractyloside dans les racines d'*Atractylis gummifera* L. provenant de six régions d'Algérie. *Annales de toxicologie analytique*, EDP Sciences.

Li, et al. (2020). "The effect of developmental and environmental factors on secondary metabolites in medicinal plants." *Plant physiology and biochemistry***148**: 80-89.

Macheix, et al. (2005). Les composés phénoliques des végétaux: un exemple de métabolites secondaires d'importance économique, EPFL Press.

MASENGO,et al. (2023). "Étude phytochimique et évaluation de l'activité anti-radicalaire, anti-inflammatoire, anti-drépanocytaire et cytotoxique des feuilles de *Lippia multiflora* Moldenke (Verbenaceae)." *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires***11**(3): 303-312.

Nahar, L. et S. D. Sarker (2019). Chemistry for pharmacy students: general, organic and natural product chemistry, John Wiley & Sons.

Najem, et al. (2018). "Occurrence de plantes toxiques en phytothérapie traditionnelle dans la région du Moyen Atlas central Maroc." *Journal of Animal & Plant Sciences***35**(2): 5651-5673.

Nelson, et al. (2008). Lehninger principles of biochemistry, Macmillan.

Ozenda, P. (1977). "Flora of the Sahara".

Ozenda, P. (1991). "Flore et végétation du Sahara".

Peng, et al. (2012). "Molecular Systematics of Genus *Atractylodes* (Compositae, Cardueae): Evidence from Internal Transcribed Spacer (ITS) and trn L-F Sequences." *International Journal of Molecular Sciences***13**(11): 14623-14633.

Pichersky, E. et D. R. Gang (2000). "Genetics and biochemistry of secondary metabolites in plants: an evolutionary perspective." *Trends in plant science***5**(10):445-439 :(

- Prieto, et al. (1999). "Spectrophotometric quantitation of antioxidant capacity through the formation of a phosphomolybdenum complex: specific application to the determination of vitamin E." Analytical biochemistry**269**(2): 337-34.1
- Pulido, et al. (2000). "Antioxidant activity of dietary polyphenols as determined by a modified ferric reducing/antioxidant power assay." Journal of agricultural and food chemistry**48**(8): 3396-3402.
- Quezel, P. et S. Santa (1963). Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales, Eds. du Centre Nat. de la Recherche Scientifique.
- Rahmi, A. et J. Arcot (2023). "In vitro assessment methods for antidiabetic peptides from legumes: A review." Foods**12**(3): 631.
- Rey, et al. (1999). "Evaluation of gonadal function in 107 intersex patients by means of serum antimullerian hormone measurement." The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism**84**(2): 627-631.
- Sifouane, et al. (20" .(20A new aryltetralin lignan and other phytoconstituents from *Atractylis humilis*." Biochemical Systematics and Ecology**90**: 104018.
- Singleton, V. L., R. Orthofer, et al. (1999). [14] Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. Methods in enzymology, Elsevier. **299**: 152-178.
- Theophrastus, H. et S. Arthur (1916). "Enquiry into plants, and, minor works on odours and weather signs." (No Title.(
- Trease, E. et W. Evans (1987). "Pharmacognosie." Billiaire Tindall, London: 61-62.
- Twaij, B. M. et M. N. Hasan (2022). "Bioactive secondary metabolites from plant sources: types, synthesis, and their therapeutic uses." International Journal of Plant Biology**13**(1): 4-14.
- Vieira, et al. (2024). "Plant-derived bioactive compounds as key players in the modulation of immune-related conditions." Phytochemistry Reviews: 1-118.
- Wang, et al. (2017). "Review on cell models to evaluate the potential antioxidant activity of polysaccharides." Food & function**8**(3): 915-926.
- Wikler, M. A. (2006). "Methods for dilution antimicrobial susceptibility tests for bacteria that grow aerobically: approved standard." Clsi (Nccls)**26**.

Winter, et al. (1962). "Carrageenin-induced edema in hind paw of the rat as an assay for antiinflammatory drugs." Proceedings of the society for experimental biology and medicine**111**(3): 544-547.

Yi, et al. (2008). "In vitro antioxidant and antimicrobial activities of the extract of Pericarpium Citri Reticulatae of a new Citrus cultivar and its main flavonoids." LWT-Food Science and technology**41**(4): 597-603.