

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID TLEMCEN
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE ET SCIENCES DE LA TERRE
ET DE L'UNIVERS
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE



Thèse de Doctorat
Option
Ecologie Végétale et Environnement

Présentée par

Amina SOULIMANE

AUTOECOLOGIE, VARIABILITE CHIMIQUE ET ACTIVITES BIOLOGIQUES DE
QUELQUES PLANTES MEDICINALES DE L'OUEST ALGERIEN : CAS D'ESPECES
ENDEMIQUES : *PISTACIA LENTISCUS L.* , *INULA VISCOSA L.* , *ANACYCLUS*
VALENTINUS L. ET CENTAUREA ACAULIS L.

Soutenue publiquement le

devant les membres du jury :

Haciba MEZIANE, Professeur, UABB-Tlemcen

Présidente

Nabila AINSEBA, Professeure, Centre Universitaire-Tlemcen

Directrice de Thèse

Abdessamad MERZOUK, Professeur, UABB - Tlemcen

Co- Directeur de Thèse

Rachida KERZABI, M.R.A CRAPast DJELFA

Examinatrice

Amina TABET ZATLA, M.C.A UABB- Tlemcen

Examinatrice

TABLE DES MATIERES

	pages
REMERCIEMENTS	05
RESUME	07
ABSTRACT	08
ملخص	09
INTRODUCTION GENERALE	10

Chapitre 1: Synthèse Bibliographique

I. Les plantes aromatiques et médicinales	14
II. Les huiles essentielles	15
III. Facteurs influençant la production et la composition chimique des huiles essentielles	15
IV. Les méthodes d'analyses	16
A. Chromatographie en phase gazeuse (CPG)	16
B. Chromatographie en phase gazeuse/ Spectroscopie de masse (CPG/SM)	17
V. Les activités biologiques	18
A. Activité antioxydante	18
B. Activité antibactérienne	18
C. Activité antifongique	19
D. Activité anti-inflammatoire	19

Chapitre 2 : Résultats et Discussion

Partie chimique

I. <i>Pistacia lentiscus</i> L.	21
A. Présentation de l'espèce	22
B. Description botanique	22
C. La systématique du <i>Pistacia lentiscus</i> L.	24
D. Répartition géographique	24
E. Produits et dérivés à base de <i>P. lentiscus</i> L.	25
F. Provenance du matériel végétal et rendement	26
II. <i>Inula viscosa</i> L.	28
A. Description botanique d' <i>Inula viscosa</i> L.	28
B. Systématique et classification taxonomique	29
C. Habitat et répartition géographique	29
1. Habitat	29
2. Répartition géographique	30
3. Rôle écologique d' <i>Inula viscosa</i> L.	30
D. Usages traditionnels et propriétés médicinales	31
1. Usages en Algérie	31
2. Propriétés pharmacologiques	31
E. Provenance du matériel végétal et rendement	32
F. Composition chimique	32
III. <i>Anacyclus valentinus</i> L.	36
A. La famille des Astéracées (<i>Compositae</i>)	36
B. Le genre <i>Anacyclus</i>	36
C. Usages traditionnels	37
D. Description botanique d' <i>Anacyclus valentinus</i>	37
E. Systématique d' <i>Anacyclus valentinus</i> L.	38
1. Répartition géographique	39
2. Définition écologique	39
F. Provenance du matériel végétal et rendement	40
1. Composition chimique	40
2. Isolation de la fraction oxygénée	40
3. Analyse de la composition chimique de l'huile essentielle de <i>A. valentinus</i> L.	40
G. Composition chimique de la fraction oxygénée	43
H. La famille des Astéracées (<i>Compositae</i>)	45
1. Le genre <i>Centaurea</i>	45
2. Usages traditionnels	45

3. Description botanique de <i>Centaurea acaulis</i> L.	46
4. Systématique de <i>Centaurea acaulis</i> L.	46
5. Répartition géographique	46
6. Définition écologique	47
7. Composition chimique	47

Partie biologique

I. Evaluation des activités antioxydantes des huiles essentielles	49
A. Introduction	49
1.. <i>Pistacia lentiscus</i> L.	50
1.1. Test de blanchissement du β -carotène	50
2. <i>Inula viscosa</i> L.	52
2.1. Test de blanchissement du β -carotène	55
3. <i>Anacyclus valentinus</i> L.	58
3.1. Evaluation de l'activité antioxydante de l'huile essentielle et de sa fraction oxygénée	58
II. Activité antimicrobienne des huiles essentielles	59
A. Introduction	59
1. <i>Pistacia lentiscus</i> L.	60
2. <i>Inula viscosa</i> L.	61
3. Discussion	63
III. Activité anti-inflammatoire des huiles essentielles	63
A. Introduction	
1 <i>Pistacia lentiscus</i> L.	64
2 <i>Inula viscosa</i> L.	65
2.1. Effet sur la dénaturation protéique	65
3 <i>Anacyclus valentinus</i> L.	67
3.1. Activité anti-inflammatoire de l'huile essentielle et de sa fraction oxygénée	67

Chapitre 3 : Partie expérimentale

I. Matériel végétal	69
A. <i>Pistacia lentiscus</i> L.	69
B. <i>Inula viscosa</i> L.	70
C. <i>Anacyclus valentinus</i> L.	70

II. Extraction des huiles essentielles	70
A. Rendement	71
B. Méthodes d'analyses des huiles essentielles	72
1. Analyse par CPG	72
2. Condition CPG/SM	72
3. Identification et quantification des composés	72
4. Activité biologique	73
4.1. Activité antioxydante	73
4.1.1. Piégeage des radicaux libres DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl)	73
4.1.2. Réduction du pouvoir antioxydant ferrique (FRAP)	74
4.2. Activité antimicrobienne	74
4.2.1. Microorganismes et conditions de croissance	74
4.2.2. Technique de diffusion sur gélose	75
4.3. Activité anti inflammatoire	75
III. <i>Centaurea acaulis</i>	76
A. Matériel végétal	76
B. Processus de distillation et d'extraction.	76
C. Souches fongiques pathogènes.	77
D. Essai antifongique « in vitro »	77
E. Test antifongique "in vivo"	78
F. Analyse statistique	78
<i>Conclusions & Perspectives de recherche</i>	79
Liste des figures	82
Liste des tableaux	83

REMERCIEMENTS

REMERCIEMENTS

En préambule à cette thèse, je remercie Dieu le Tout-Puissant qui m'a aidé à faire ce travail. Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de cette thèse.

En premier lieu, je remercie ma directrice de thèse, Pr AIN SEBA Nabila, pour sa guidance, sa patience et ses conseils avisés tout au long de cette recherche. Sa rigueur scientifique et ses encouragements constants ont été d'un soutien inestimable.

Je remercie Mr MERZOUK Abdessamad, professeur à l'Université de Tlemcen et Co-directeur de cette thèse. Je tenais à vous remercier du fond du cœur pour votre précieuse disponibilité et votre soutien tout au long de la réalisation de ma thèse. Votre expertise et vos conseils avisés ont été d'une grande aide pour moi.

Je tiens à remercier sincèrement Mr DIB Mohammed El Amine, professeur à l'Université de Tlemcen. Vos conseils avisés ont été d'une grande aide pour moi, et j'apprécie énormément tout le temps que vous avez consacré à m'aider.

Je remercie Pr GHALEM Saïd, directeur de LASNABIO et Mme Kheira, ingénieure de laboratoire, pour avoir mis à ma disposition les moyens matériels et scientifiques, indispensables à la réalisation de ce travail. Je leur exprime ma profonde reconnaissance pour leur importante aide.

Je remercie vivement Madame STAMBOULI Haciba, professeure à l'université de Tlemcen, de l'honneur qu'elle nous a fait pour avoir accepté de présider le jury.

Ma gratitude va également à Madame TABET ZATLA Amina, enseignante à l'université de Tlemcen, d'avoir accepté de participer à ce jury en tant qu'examinatrice.

Mes remerciements s'adressent à Madame KERZABI Rachida, M.R.A CRAPast DJELFA et examinatrice de la thèse.

Je souhaite remercier les membres du laboratoire de Géologie: Monsieur Abbas MAROK, Choukri SOULIMANE et Mustapha BENADLA, enseignants au Département des Sciences de la Terre et de l'Univers, pour leur aide morale d'un grand intérêt et pour leur grande disponibilité quand besoin s'y apprêtait.

Je tiens à adresser mes sincères remerciements à tous les membres de la conservation des forêts de la wilaya de Tlemcen, en particulier Madame HASNAOUI Hafeda, pour leur précieuse contribution à mon travail de recherche. Leur coopération et leur disponibilité ont été d'une aide considérable pour moi, en facilitant mon accès au terrain et en mettant à ma disposition toutes les données dont j'avais besoin.

Un grand merci à Naima BADID, Fayza KEDDOUR, Raja ACHIRI & Fatema NAS pour leur collaboration et leur soutien tout au long de ce projet. Leurs idées novatrices et leurs discussions stimulantes ont largement contribué à l'avancement de cette thèse.

Je n'oublie pas non plus mes camarades de promotion et amis, pour leur présence, leurs échanges fructueux et leurs encouragements constants. Merci à eux pour les moments de partage et de soutien mutuel.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance à ma famille, et tout particulièrement à mes frères Choukri, Hadi et Ryad et leurs familles respectives, pour leur amour, leur patience et leur soutien inébranlable durant ces années de travail acharné. Leur confiance en moi a été une source de motivation continue.

À tous, je vous adresse mes plus sincères remerciements.

À l'attention de mon cher père qui n'est plus parmi nous, je voudrais dédier ma thèse de doctorat en Biologie. Tes encouragements, ta sagesse et ton amour me manquent chaque jour, mais je sais que tu es fier de moi où que tu sois.

À ma mère, qui m'a toujours inspiré par sa force et sa détermination.

À ceux qui m'ont précédé et qui continuent de veiller sur moi d'où ils sont.

À la lumière de mon existence, qui m'a guidé à travers l'obscurité des moments difficiles.

À ceux qui rêvent, qui persévèrent et qui n'abandonnent jamais.

À mes mentors, pour leurs enseignements et leur soutien sans faille spécialement mon mari.

À mes collègues, pour leur collaboration et leur camaraderie.

À tous ceux qui croient en l'importance de la recherche et du savoir.

À ma précieuse fille SARA, pour ton sourire qui m'a donné la force d'avancer, pour ta patience, ta compréhension et ton amour inconditionnel. Merci de m'avoir soutenue durant ce voyage académique. Que cette thèse te rappelle que tout est possible avec persévérance et amour et te montre l'importance de poursuivre tes passions. Je suis infiniment fière de toi.

RESUME

Cette étude explore les plantes médicinales et les antioxydants naturels en valorisant les métabolites secondaires de *Pistacia lentiscus L.*, *Inula viscosa L.*, *Anacyclus valentinus L.* et *Centaurea acaulis L.*. Elle évalue leurs activités antioxydantes, antimicrobiennes, antifongiques et anti-inflammatoires, ces plantes étant couramment employées en médecine traditionnelle en Algérie. L'hydrodistillation des huiles essentielles a révélé des rendements variables selon les espèces et les sites de collecte. *Pistacia lentiscus L.* a montré des rendements élevés dans certaines localisations, avec des profils chimiques distincts identifiés par CPG-SM, mettant en évidence des chimiotypes dominants comme l' α -pinène, le myrcène, le limonène et le D-germacrène.

L'évaluation de l'activité antioxydante des huiles essentielles des quatre plantes étudiées montre que *Anacyclus valentinus L.* est la plus efficace, avec une CI50 de 16,3 mg/mL pour le piégeage du DPPH, se rapprochant de celle du BHT (16,4 mg/mL). *Pistacia lentiscus L.* suit de près avec des valeurs de CI50 variant entre 18,23 et 24,09 mg/mL, affichant une inhibition du DPPH allant jusqu'à 62,52 % et un excellent pouvoir antioxydant dans le test du β -carotène (18,11 - 22,35 mg/mL). *Inula viscosa L.* présente une activité intermédiaire avec des CI50 comprises entre 20,65 et 27,09 mg/mL, tandis que *Centaurea acaulis L.* montre un potentiel intéressant mais reste moins documentée. Ces résultats suggèrent que *Anacyclus valentinus L.* et *Pistacia lentiscus L.* sont les meilleures candidates pour des applications en tant qu'antioxydants naturels. Les tests biologiques ont démontré une activité antimicrobienne significative des huiles essentielles. L'activité antioxydante a été confirmée par des tests de piégeage du radical DPPH et de réduction du fer, indiquant un fort potentiel thérapeutique de ces plantes.

Les huiles essentielles des quatre plantes étudiées présentent une activité antimicrobienne variable. *Inula viscosa L.* et *Pistacia lentiscus L.* sont les plus efficaces, inhibant *Staphylococcus aureus* (jusqu'à 35 mm) et *Pseudomonas aeruginosa* (36 mm). *Anacyclus valentinus L.* cible principalement les bactéries Gram-positives grâce à sa richesse en camphre et bornéol. *Centaurea acaulis L.* montre un potentiel antimicrobien, mais ses résultats restent limités. Ces huiles essentielles pourraient être valorisées pour leurs propriétés thérapeutiques et conservatrices.

Ces résultats soulignent l'importance des huiles essentielles dans le développement d'alternatives naturelles aux antioxydants synthétiques, tout en mettant en avant le potentiel de valorisation des plantes médicinales de l'Ouest algérien.

Mots-clés : *Pistacia lentiscus L.* ; *Inula viscosa L.*; *Anacyclus valentinus L.*; *Centaurea acaulis L.*; Huiles essentielles ; Activité antioxydante; Activité antimicrobienne.

ABSTRACT

This study investigates the potential of medicinal plants and natural antioxidants by focusing on the secondary metabolites of *Pistacia lentiscus* L., *Inula viscosa* L., *Anacyclus valentinus* L., and *Centaurea acaulis* L.. These plants, widely used in Algerian traditional medicine, were evaluated for their antioxidant, antimicrobial, antifungal, and anti-inflammatory properties. The extraction of essential oils by hydrodistillation showed that yields varied depending on the species and the collection sites. Interestingly, *Pistacia lentiscus* L. produced particularly high yields in certain areas, and gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) analysis revealed distinct chemical profiles, with dominant chemotypes such as α -pinene, myrcene, limonene, and D-germacrene.

The evaluation of the antioxidant activity of the essential oils of the four plants studied shows that *Anacyclus valentinus* L. is the most effective, with an IC₅₀ of 16.3 mg/mL for DPPH scavenging, approaching that of BHT (16.4 mg/mL). *Pistacia lentiscus* L. follows closely with IC₅₀ values ranging from 18.23 to 24.09 mg/mL, displaying DPPH inhibition of up to 62.52% and excellent antioxidant power in the β -carotene test (18.11 - 22.35 mg/mL). *Inula viscosa* L. exhibits intermediate activity with IC₅₀s ranging from 20.65 to 27.09 mg/mL, while *Centaurea acaulis* L. shows interesting potential but remains less documented. These results suggest that *Anacyclus valentinus* L. and *Pistacia lentiscus* L. are the best candidates for applications as natural antioxidants. Biological tests demonstrated significant antimicrobial activity of the essential oils. The antioxidant activity was confirmed by DPPH radical scavenging and iron reduction tests, indicating a strong therapeutic potential of these plants.

The essential oils of the four plants studied exhibit varying antimicrobial activity. *Inula viscosa* and *Pistacia lentiscus* are the most effective, inhibiting *Staphylococcus aureus* (up to 35 mm) and *Pseudomonas aeruginosa* (36 mm). *Anacyclus valentinus* L. primarily targets Gram-positive bacteria thanks to its richness in camphor and borneol. *Centaurea acaulis* L. shows antimicrobial potential, but its results remain limited. These essential oils could be valued for their therapeutic and preservative properties.

These results highlight the importance of essential oils in the development of natural alternatives to synthetic antioxidants, while highlighting the potential for valorizing medicinal plants from western Algeria.

Keywords : *Pistacia lentiscus* L.; *Inula viscosa* L.; *Anacyclus valentinus* L.; *Centaurea acaulis* L.; Essential oils; Antioxidant activity; Antimicrobial activity.

ملخص

تستكشف هذه الدراسة النباتات الطبية ومضادات الأكسدة الطبيعية من خلال زيادة قيمة المستقلبات الثانوية في *Pistacia lentiscus L.* و *Inula viscosa L.* و *Anacyclus valentinus L.* و *Centaurea acaulis L.* وقيم أنشطتها المضادة للأكسدة والمضادة للميكروبات والفطريات والمضادة للالتهابات، وهذه النباتات شائعة الاستخدام في الطب التقليدي في الجزائر. كشف التقطير المائي للزيوت العطرية عن عوائد متفاوتة اعتماداً على الأنواع ومواقع التجميع. أظهرت الفستق العدسي إنتاجية عالية في بعض المواقع، مع ملامح كيميائية مميزة تم تحديدها بواسطة GC-MS، مما سلط الضوء على الأنماط الكيميائية السائدة مثل α -pinene، myrcene، و limonene، و-D-germacrene.

يُظهر تقييم نشاط مضادات الأكسدة للزيوت الأساسية للنباتات الأربعة التي تمت دراستها أن *Anacyclus valentinus L.* هو الأكثر فعالية، حيث يبلغ IC_{50} 16.3 مجم/مل لاحتجاز DPPH، ويقترب من 16.4 BHT (مجم/مل). يتبع *Pistacia lentiscus L.* بشكل وثيق قيم IC_{50} التي تتراوح بين 18.23 و 24.09 ملجم/مل، مما يظهر تثبيط DPPH يصل إلى 62.52% وقوة مضادة للأكسدة ممتازة في اختبار بيتا كاروتين (18.11 - 22.35 ملجم/مل). يقدم *Inula viscosa L.* نشاطاً متوسطاً مع IC_{50} s يتراوح بين 20.65 و 27.09 ملغم/مل، في حين يُظهر *Centaurea acaulis L.* إمكانات مثيرة للاهتمام ولكنه لا يزال أقل توثيقاً. تشير هذه النتائج إلى أن *Anacyclus valentinus L.* و *Pistacia lentiscus L.* هما أفضل المرشحين للتطبيقات كمضادات أكسدة طبيعية. أظهرت الاختبارات البيولوجية نشاطاً كبيراً مضاداً للميكروبات للزيوت الأساسية. تم تأكيد نشاط مضادات الأكسدة من خلال اختبارات DPPH للمسح الجذري وتخفيض الحديد، مما يشير إلى الإمكانات العلاجية القوية لهذه النباتات.

تُظهر الزيوت الأساسية للنباتات الأربعة التي تمت دراستها نشاطاً مضاداً للميكروبات متغيراً. تعتبر *Inula viscosa L.* و *Pistacia lentiscus L.* الأكثر فعالية، إذ أنها تثبط المكورات العنقودية الذهبية *Staphylococcus aureus* (حتى 35 ملم) والزائفة الزنجارية *Pseudomonas aeruginosa* (36 ملم). يستهدف *Anacyclus valentinus L.* بشكل رئيسي البكتيريا إيجابية الجرام Gram-positives بفضل غناه بالكافور camphre والبورنيول bornéol. يُظهر نبات *Centaurea acaulis L.* إمكانات مضادة للميكروبات، لكن نتائجه تظل محدودة. يمكن تقييم هذه الزيوت الأساسية لخصائصها العلاجية والحافظة.

تؤكد هذه النتائج على أهمية الزيوت العطرية في تطوير البدائل الطبيعية لمضادات الأكسدة الاصطناعية، مع تسليط الضوء على إمكانية تثمين النباتات الطبية من غرب الجزائر.

الكلمات المفتاحية: *Pistacia L.*، *Inula viscosa L.*، *Anacyclus valentinus L.*، *Centaurea*

acaulis L. الزيوت العطرية؛ نشاط مضاد للأكسدة. نشاط مضاد للميكروبات.

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION

Depuis des temps immémoriaux, l'être humain a su tirer profit des végétaux pour assurer sa subsistance fondamentale. Ultérieurement, il est devenu impérieux de les utiliser comme solutions thérapeutiques afin de pallier une multitude de maux et de pathologies. Cependant, la transmission du savoir ancestral concernant les thérapies à base de plantes a été interrompue avec l'émergence de la médecine "moderne".

Datant de leur émergence il y a trois millions d'années, les plantes ont joué le rôle de premiers recours, voire d'agents curatifs uniques, en offrant une source potentiellement infinie de composés thérapeutiques de grande valeur. Cette abondance de molécules actives telles que les flavonoïdes, les alcaloïdes, les insaponifiables et les huiles essentielles est à la base des bienfaits reconnus des végétaux dans le domaine de la médecine, soulignant ainsi leur rôle indispensable (NEWMAN & CRAGG, 2016).

La sphère des PAM a suscité un enthousiasme marqué dans le domaine thérapeutique en capitalisant sur les ressources naturelles du règne végétal. Cette exploitation a abouti à des avancées significatives grâce à leur contribution substantielle à la création de divers produits qui englobent un large éventail de secteurs tels que la pharmacie, la nutraceutique et l'innovation thérapeutique. Ces végétaux se positionnent en tant que source première pour l'exploration de nouveaux agents thérapeutiques, ayant déjà abouti à l'identification de près de 170 000 molécules bioactives, incluant des noms familiers tels que la colchicine, l'artémisinine, la morphine et la quinine (ATANASOVET & *al.*, 2015). Une statistique marquante souligne qu'au sein des nations développées, plus de 25% des médicaments trouvent leurs origines, de manière directe ou indirecte, dans le règne végétal. En prenant également en compte les produits du marché parallèle, cette proportion pourrait atteindre près de 50%. Cette expansion, en grande partie propulsée par l'application des technologies modernes aux connaissances traditionnelles, illustre de manière remarquable l'impact de cette convergence (NEWMAN & CRAGG, 2012).

À l'heure actuelle, les huiles essentielles sont utilisées dans divers secteurs par des chercheurs en chimie, des biologistes, et même par des praticiens médicaux. Elles sont appliquées dans le traitement de certaines infections pour lesquelles les antibiotiques synthétiques deviennent de plus en plus résistants. Elles sont également exploitées dans l'élaboration de nouveaux additifs alimentaires de substitution qui sont capables de ralentir

la détérioration des aliments ou de freiner la croissance des agents pathogènes d'origine alimentaire. De plus, elles ont la capacité de protéger l'organisme contre les dommages causés par les radicaux libres, avec l'avantage supplémentaire d'avoir des effets secondaires minimaux (BAKKALI & *al.*, 2021).

L'utilisation des antioxydants synthétisés dans les secteurs pharmaceutique, agroalimentaire et cosmétique a fourni des réponses aux divers mécanismes pathologiques tels que les affections auto-immunes, le cancer, Alzheimer, la maladie de Parkinson et l'athérosclérose, où le stress oxydatif joue un rôle (SIES & *al.*, 2017). Cependant, en raison des incertitudes concernant leurs effets potentiellement toxiques et cancérigènes, leur utilisation a été restreinte par des réglementations légales.

De plus, la progression et l'aggravation continue de la résistance des micro-organismes sont devenues un enjeu évolutif. L'Organisation mondiale de la santé (OMS) le considère comme une problématique majeure de santé publique. Néanmoins, l'utilisation de substances antimicrobiennes, qui sont des produits chimiques, a induit l'émergence de maladies infectieuses graves. Ces dernières devraient, dans les années à venir, se hisser en tête des causes de mortalité parmi d'autres (LAXMINARAYAN & *al.*, 2016).

En parallèle, l'inflammation suscite une surproduction de radicaux libres, responsables de la création d'un stress oxydatif, ainsi que la libération de facteurs inflammatoires qui engendrent des complications. Le traitement est généralement orienté vers l'administration d'anti-inflammatoires non stéroïdiens (AINS). Cependant, ces derniers sont liés à des risques potentiels de toxicité au niveau gastro-intestinal et cardiovasculaire. De plus, la plupart des solutions anti-inflammatoires présentes sur le marché sont élaborées à partir de composés chimiques. Bien que ces agents soient d'une grande efficacité, leur utilisation à long terme comporte des menaces en termes de toxicité gastro-intestinale et cardiovasculaire (BOURDON & *al.*, 2023).

Dans cette optique, l'exploration de nouveaux agents thérapeutiques se déploie avec vigueur. L'objectif est de dénicher des stratégies médicales efficaces en exploitant les ressources naturelles, qui offrent une probabilité élevée de dévoiler des traitements performants pour les maladies encore non abordées par une approche thérapeutique directe. Cela pourrait se concrétiser à travers des adaptations semi-synthétiques ou de nouvelles synthèses moléculaires basées sur des composés naturels. Dans cette démarche, la quête de

nouvelles substances naturelles à visée thérapeutique constitue une question scientifique de première importance.

L'Algérie jouit d'une diversité végétale abondante, avec une multitude d'espèces qui fournissent des ressources naturelles essentielles, comme les huiles essentielles et les arômes, qui revêtent une grande importance pour les industries agroalimentaires, pharmaceutiques et cosmétiques. Les plantes aromatiques et médicinales (PAM) occupent une place notable dans différents domaines tels que la recherche, l'agriculture, l'industrie, la médecine et la préservation de l'environnement, en raison de leur importance économique, sociale, médicinale, écologique et culturelle. Malgré la présence d'une biodiversité floristique considérable en Algérie, comprenant environ 3000 espèces dont 15% sont endémiques, son potentiel reste largement inexploité, particulièrement sur le marché mondial des huiles essentielles. Cette diversité botanique s'étend sur diverses régions grâce à la variété de leurs environnements, allant du nord au sud, incluant des écosystèmes méditerranéens, sahariens et paléo-tropicaux. Parmi les 3139 espèces végétales répertoriées, on compte 600 espèces endémiques et 64 spécifiques au Sahara. Ces plantes contiennent des composés actifs d'intérêt, offrant ainsi un potentiel de découvertes scientifiques. Une exploitation durable de ces ressources est à l'ordre du jour, avec une focalisation sur le développement de nouvelles méthodes pour préserver et exploiter ces biomolécules (BENABDELAZIZ & *al.*, 2016).

Dans le but de promouvoir une valorisation plus efficiente des plantes médicinales et aromatiques de la région ouest de l'Algérie, nous avons concentré notre attention sur *Pistacia lentiscus* L., *Inula viscosa* L., *Anacyclus valentinus* L. et *Centaurea acaulis* L. . Nous avons porté notre intérêt sur les plantes qui croissent naturellement dans les environs et les montagnes de Tlemcen, en optant pour une sélection basée sur leur utilisation en médecine traditionnelle pour le traitement de diverses affections. De plus, nous avons pris en compte leur moindre exploration du point de vue chimique et biologique jusqu'à présent.

Les principaux objectifs chimiques définis dans cette étude incluent :

- Extraire les composés volatils des deux plantes sélectionnées, puis les caractériser à l'aide des techniques de chromatographie en phase gazeuse.
- Chromatographie en phase gazeuse (CPG) ainsi que chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (CPG/SM).

- De plus, une dimension biologique complémentaire a été ajoutée pour étudier les propriétés antioxydantes, antibactériennes, antifongiques et anti-inflammatoires des huiles essentielles.

Afin d'exposer l'approche scientifique adoptée, ce manuscrit est organisé en trois chapitres.

Le premier chapitre aborde une compilation bibliographique couvrant les aspects suivants :

- Descriptions détaillées des caractéristiques botaniques des trois plantes à l'étude : *Pistacia lentiscus L.*, *Inula viscosa L.*, *Anacyclus valentinus L.* et *Centaurea acaulis L.*.
- Une exposition détaillée de la méthode mise au point par le laboratoire CPN (Chimie des Produits Naturels), permettant une analyse approfondie des constituants présents dans les huiles essentielles.
- Mise en avant des techniques chromatographiques de pointe employées pour l'analyse et la caractérisation.
- Exploration des propriétés biologiques inhérentes aux huiles essentielles, comprenant leur potentiel antioxydant, leur efficacité antibactérienne, leurs propriétés antifongiques et leur action anti-inflammatoire.

Dans **le deuxième chapitre**, vous trouverez la compilation complète des résultats issus de l'analyse de la composition chimique des huiles essentielles de chaque espèce, réalisée à l'aide de la chromatographie en phase gazeuse (CPG) et de la chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (CPG-SM).

Le chapitre trois aura pour objet l'examen biologique destiné à mettre en avant la valorisation des huiles essentielles, ainsi qu'à démontrer leurs caractéristiques biologiques distinctives.

En conclusion, **la section expérimentale** englobe les détails concernant l'équipement utilisé, le protocole expérimental ainsi que les méthodes mises en œuvre pour effectuer les extractions et évaluer les propriétés biologiques des huiles essentielles.

Chapitre 1: Synthèse Bibliographique

I. Les plantes aromatiques et médicinales

Une plante médicinale désigne une plante exploitée en raison de ses vertus thérapeutiques. En d'autres termes, l'une de ses parties, comme les feuilles, les bulbes, les racines, les graines, les fruits ou les fleurs, peut être utilisée dans le but de favoriser la guérison. L'usage de ces plantes remonte à des milliers d'années, lorsque les êtres humains se servaient des propriétés des plantes à des fins médicinales. (SMITH & *al.*, 2023)

Les vertus curatives des plantes médicinales sont exploitées en raison de leurs caractéristiques spécifiques qui favorisent la santé humaine. Ces végétaux sont employés selon diverses méthodes telles que la décoction, la macération et l'infusion. Il est possible d'utiliser une ou plusieurs parties de ces plantes, que ce soit la racine, les feuilles ou les fleurs. (CABORE & *al.*, 2023).

Au sein de certaines populations, la sélection des plantes était souvent basée sur l'instinct, conduisant ainsi à une découverte progressive de celles pouvant être exploitées à des fins bénéfiques, tout en identifiant progressivement celles présentant des propriétés toxiques (EDDOUKS & *al.*, 2013).

Ces récentes années ont vu un regain d'intérêt des chercheurs pour la phytothérapie, également connue sous le nom de traitement par les plantes. Les connaissances anciennes en ce qui concerne la « matière médicale » ou la pharmacognosie contemporaine suscitent un vif intérêt dans le contexte des pharmacopées modernes et de la pratique médicale actuelle. Les formules traditionnelles transmises par les herboristes et les observations des guérisseurs constituent déjà une vaste réserve de connaissances précieuses (SMITH & *al.*, 2023). Ainsi, les plantes médicinales sont celles qui renferment des composés actifs susceptibles d'avoir une activité pharmaceutique, pouvant être utilisés à des fins thérapeutiques. Ces composés agissent principalement sur le corps humain, ce qui permet leur application à des fins médicinales (PATOCKA & *al.* 2018). Les plantes médicinales revêtent une importance capitale dans la recherche pharmacologique et le développement de médicaments. Cette importance ne se limite pas seulement à l'utilisation directe des composés extraits des plantes en tant qu'agents thérapeutiques, mais s'étend également à leur utilisation en tant que matières premières pour la synthèse de médicaments ou comme modèles pour la création de composés pharmacologiquement actifs (RICHARD & *al.*, 2021). Ainsi les végétaux

constituent la principale origine des composés actifs, cela ne se limitant pas exclusivement à la sphère de la médecine traditionnelle (KUMAR & *al.*, 2021).

II. Les huiles essentielles

Conformément à la pharmacopée européenne, une huile essentielle est définie comme un « produit odorant, généralement de composition complexe, obtenu à partir d'une matière première végétale botaniquement spécifiée :

- Soit par distillation à la vapeur,
- Soit par distillation à sec,
- Soit par un procédé mécanique approprié sans utilisation de chaleur.

Généralement, l'huile essentielle est séparée de la phase aqueuse par un procédé physique qui n'induit pas de modification significative de sa composition. (CHEMAT & *al.*, 2021).

La découverte des propriétés inhérentes aux huiles essentielles issues de diverses espèces appartenant à des familles variées a révélé qu'elles possèdent une gamme fascinante et étendue d'activités biologiques, notamment des effets anticancéreux (CHUNG & *al.*, 2021), anti inflammatoires (BASER & *al.*, 2020), antioxydants (TAO & *al.* 2021) ainsi que des propriétés fongicides, insecticides, antiseptiques et bactéricides (BAKKALI & *al.*, 2008).

III. Facteurs influençant la production et la composition chimique des huiles essentielles

Des études ont démontré que divers facteurs exercent une influence sur la composition chimique des huiles essentielles. En effet, la composition des huiles essentielles est principalement déterminée par une combinaison de facteurs liés à la plante elle-même et à son milieu de croissance. De plus, chaque étape du processus, depuis la collecte des matières végétales jusqu'au stockage de l'huile essentielle, peut engendrer des fluctuations dans la concentration des composés existants, voire donner naissance à de nouvelles molécules.

La vaste gamme de facteurs capables de modifier la composition chimique des huiles essentielles doit évidemment nous inciter à comprendre leur importance. Cela ouvre la voie à la possibilité de réguler ceux qui sont modifiables (comme l'irrigation, la période de récolte, la méthode d'extraction...), mais aussi à anticiper la composition de l'essence

obtenue. Ces considérations suscitent l'intérêt de divers acteurs, qu'il s'agisse des consommateurs d'huiles essentielles, des industriels recherchant des rendements optimaux pour l'extraction de molécules spécifiques ou une stabilité de la composition chimique, ou encore des aromathérapeutes qui aspirent à obtenir une huile exprimant tout son potentiel d'efficacité (DESCHEPPER, 2017).

IV. Les méthodes d'analyses

L'analyse d'un mélange complexe de composés volatils englobe généralement les étapes de séparation, d'identification et de quantification de ses éléments constitutifs. D'une part, ces démarches comprennent des techniques chromatographiques telles que la chromatographie sur couche mince (CCP), la chromatographie sur colonne (CLC) et la chromatographie en phase gazeuse (CPG). D'autre part, elles font appel à des techniques d'identification spectrale telles que la spectrométrie de masse (SM), la spectrométrie à résonance magnétique nucléaire (RMN) et la spectrophotométrie infrarouge (IR). Cependant, lorsque l'identification des constituants d'un échantillon ne pose pas de difficultés majeures, la méthode privilégiée est l'association en temps réel de la chromatographie en phase gazeuse avec la spectrométrie de masse (CPG/SM). (FIGUEIREDO & *al.*, 2008).

A. Chromatographie en phase gazeuse (CPG)

La chromatographie constitue une méthode analytique basée sur la séparation, applicable aux composés gazeux ou pouvant être vaporisés par chauffage sans subir de décomposition. (MCNAIR & MILLER, 2011).

Cette technique est adaptée aux constituants volatils pouvant être chauffés sans se décomposer. (MCNAIR & MILLER, 2011). En réalité, les améliorations apportées à cette méthode lui confèrent la capacité de séparer et de quantifier les composés chimiques dans des échantillons à l'échelle du milligramme voire du microgramme. Ces échantillons peuvent comporter jusqu'à 200 espèces chimiques différentes, présentant des variations non seulement dans leur nature mais aussi dans leur volatilité. (PAVIA & *al.*, 2014).

➤ Principe

En chromatographie en phase gazeuse (CPG), l'échantillon est introduit et vaporisé à l'extrémité supérieure de la colonne. La migration des composés s'effectue grâce à un flux de gaz inerte agissant comme phase mobile. Un détecteur situé à la sortie de la colonne est connecté à un dispositif d'enregistrement. Lorsqu'un constituant de l'échantillon traverse cette colonne, un pic caractéristique se forme sur l'enregistrement (SKOOG & *al.*, 2017).

La chromatographie en phase gazeuse (CPG) demeure un instrument extrêmement puissant pour l'analyse et l'évaluation de la qualité des huiles essentielles. Elle est également appliquée à des molécules plus complexes telles que les stéroïdes, les triterpènes, et son adoption s'étend progressivement aux domaines chimiques clés. Toutefois, elle ne peut pas garantir une identification formelle à elle seule, à moins d'être combinée à une technique spectroscopique additionnelle (AWOUNEH & *al.*, 2020)

B. Chromatographie en phase gazeuse/ Spectroscopie de masse (CPG/SM)

La chromatographie en phase gazeuse (CPG) est une technique de séparation dont les principes généraux sont en accord avec ceux énoncés pour la chromatographie en général. Elle repose sur la migration différentielle des constituants d'un mélange à analyser à travers un substrat sélectionné. Ce procédé présente la particularité de s'appliquer exclusivement à des produits volatilisés, ce qui nécessite le maintien d'une température minimale appropriée sans entraîner la volatilisation du substrat. De plus, il requiert un circuit étanche aux gaz pour son bon fonctionnement. Conçue en 1941 par Martin et Synge (MARTIN & SYNGE 1941). Le développement de la CPG a principalement pris son essor à partir de 1952, grâce à l'influence de James et Martin (JAMES & MARTIN 1952). Elle a connu un développement significatif, surtout entre 1960 et 1970, émergeant comme l'une des méthodes de séparation les plus répandues. Notamment, le progrès considérable des colonnes capillaires au cours des dernières années en fait le choix privilégié pour l'investigation des traces ultra minuscules, un aspect central dans les études sur la pollution.

La chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (CPG/SM) représente une technique avancée qui permet simultanément la séparation, la détection et l'identification des composants d'un mélange complexe en fonction de leur rapport masse/ charge. (ELBAYED & *al.*, 2023).

Depuis 1975, les performances de ce couplage en ligne n'ont cessé de progresser, étendant son application à divers domaines tels que l'agroalimentaire (aliments, eau), les produits pétroliers (carburants, matières synthétiques) et les produits naturels (parfumerie, cosmétique, médecine).

V. Les activités biologiques

Les propriétés bénéfiques des huiles essentielles sont reconnues et utilisées depuis les temps anciens pour leurs activités antimicrobiennes, antibactériennes et antifongiques. Elles détiennent également des propriétés anti inflammatoires, antivirales, stimulantes, toniques, voire irritantes ? Toutefois, cette utilisation était fondée sur des pratiques traditionnelles sans bases scientifiques précises. C'est pourquoi il est essentiel d'explorer les activités thérapeutiques des huiles essentielles afin de mieux comprendre leurs effets et leurs applications dans la médecine traditionnelle, tout en favorisant leur valorisation sur le plan commercial. (ALONSO-ESTEBAN & *al.*,2023).

A. Activité antioxydante

Les huiles essentielles, en raison de leur abondance en composés phénoliques, ont été l'objet de nombreuses études visant à évaluer leur potentiel en tant qu'antioxydants ou agents capteurs de radicaux libres.

Les végétaux renferment des niveaux élevés de divers antioxydants redox-actifs, tels que les polyphénols, les caroténoïdes, les tocophérols, le glutathion, l'acide ascorbique et des enzymes dotées d'une activité antioxydante. Ces composés agissent pour neutraliser les dommages oxydatifs potentiellement nocifs sur les constituants cellulaires des plantes. (RAI & *al.*, 2021).

B. Activité antibactérienne

Les huiles essentielles ayant été d'avantage étudiées pour leurs propriétés antibactériennes sont celles issues de la famille des *Labiatae* : origan, thym, sauge, romarin et clou de girofle. Ces plantes aromatiques renferment des huiles essentielles riches en composés phénoliques tels que l'eugénol, le thymol et le carvacrol. Ces composés démontrent une activité antibactérienne puissante. Parmi eux, le carvacrol se distingue en tant que l'agent le plus actif, reconnu pour son innocuité (non toxique). Il est utilisé comme conservateur et arôme dans diverses préparations alimentaires, boissons et confiserie. Ces

composés présentent un effet antimicrobien couvrant un large éventail de bactéries, notamment *E. coli*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus*, *Listeria monocytogenes*, *Clostridium* spp et *Helicobacter pylori* (TIAN & al., 2021).

C. Activité antifongique

Dans les secteurs agroalimentaire et phytosanitaire, les huiles essentielles sont utilisées à titre d'agents de protection contre les infections provoquées par les champignons phytopathogènes ainsi que les microorganismes qui envahissent les produits alimentaires. En effet, ces composés agissent efficacement sur un large éventail de moisissures et de levures qui en entravant la croissance des levures, la germination des spores, l'allongement du mycélium, ainsi que la sporulation et la production de toxines chez les moisissures. (KANT & al., 2020).

D. Activité anti-inflammatoire

➤ Définition de l'inflammation

La réaction inflammatoire, ou inflammation, se manifeste dans les tissus vivants et vascularisés en réponse à une agression d'origine physique, chimique ou biologique dans le but de préserver leur intégrité. Bien qu'elle soit généralement bénéfique, visant à mobiliser le système immunitaire pour éliminer les agents pathogènes et réparer les dommages tissulaires, l'inflammation peut parfois devenir nuisible en raison de l'agressivité persistante de l'agent pathogène, de sa localisation dans l'organisme, ou encore en raison de dysfonctionnements dans la régulation du processus inflammatoire.

Depuis environ deux millénaires, l'inflammation est identifiée par les symptômes caractéristiques suivants : rougeur, sensation de chaleur et douleur. (LIU & al., 2021).

➤ Action anti inflammatoire

Elle supprime la réponse inflammatoire induite par tout agent pathogène, ce qui se traduit par une diminution de la vasodilatation et de l'œdème, ainsi qu'une réduction du recrutement et de la migration des leucocytes vers le site inflammatoire. (SHARMA & LEE, 2020).

Dans les régions en développement, les plantes dotées d'effets anti-inflammatoires pourraient éventuellement être envisagées comme une alternative dans le traitement anti-

inflammatoire, du fait de leur accessibilité accrue et de leur tendance générale à présenter moins de toxicité que les médicaments anti-inflammatoires conventionnels. (RASTOGI & PANDEY, 2014).

Chapitre 2 : Résultats et Discussion

Partie chimique

I. *Pistacia lentiscus* L.

A. Présentation de l'espèce

Les Anacardiacees appartiennent à l'ordre des Sapindales, à la sous-classe des Rosidae dialypétales, comprenant plus de 600 espèces réparties en 60 genres. Elles sont classées dans la classe des Magnoliopsida, le sous-embranchement des Magnoliophyta (ou Angiospermes), et l'embranchement des Spermatophytes. Les espèces de cette famille sont des arbres, des arbustes ou des lianes avec des feuilles alternes, composées et imparipennées. (MABBERLEY, 2017).

Dépourvues de glandes ponctiformes, inflorescence en panicules, fleurs actinomorphes, hétérochlamydées, parfois apétales, 5-mère, (hétérosexuées) et /ou unisexuées, généralement hypogynes, diplomones ou haplostémones (à filets souvent concrets à la base), le fruit est généralement une drupe souvent à mésocarpe résineux. Graine exalbuminée ou presque à embryon courbe. Pollen divers, souvent 2-3- colportés ou avec 3-8 ouvertures circulaires ou non. Cloisons des vaisseaux à perforation unique (sauf quelques cas). (BOULEBDA & *al.*, 2009).

Le genre *Pistacia*, qui fait partie de la famille des Anacardiacees, comprend au moins 11 espèces, dont la plupart se trouvent dans des zones tropicales ou subtropicales. (MALAKHOV & ISLAMGULOVA, 2021).

Le genre *Pistacia* est un genre particulier de la famille des Anacardiacees en raison de sa dioécie et de ses fleurs nues (ACEVEDO- LIMON & *al.*, 2024).

Ce genre compte quatre régions phytogéographiques, à savoir: méditerranéenne, irano touranienne, sino-japonaise et mexicaine (SEIGUE, 1985). Cela a conféré à la pharmacopée traditionnelle une richesse inestimable.

Une étude monographique du pistachier a été réalisée par AL-SAGHIR, 2010 montrant que le genre *Pistacia* comprend les espèces suivantes :

***Pistacia atlantica* L.** Desf. ou pistachier de l'Atlas.

***Pistacia lentiscus* L.** ou lentisque : fruits non comestibles

***Pistacia terebinthus* L.** ou thérébinthe: fruits aigrelets comestibles

Pistacia vera ou pistachier cultivé.

***Pistacia afghanistania*, *P. chinensis*, *P. khinjuk*, *P. mexicana*, *P. palestina*, *P. wienmannifolia*, *P. intergerrima* .**

B. Description botanique

Le *Pistacia lentiscus* L., communément appelé lentisque ou arbre à mastic, doit son nom à sa résine, le "mastic de Chios", utilisée pour la fabrication d'une gomme à l'odeur prononcée. Décrit pour la première fois par le botaniste Linné en 1753, cet arbrisseau dioïque et thermophile mesure entre 1 et 3 mètres et dégage une forte odeur résineuse (ÜÇÜNCÜ & DURMAZ, 2016). Il est particulièrement représentatif des milieux les plus chauds du climat méditerranéen, où il se trouve souvent en association avec l'oléastre (olivier sauvage) et le myrte dans un groupement végétal appelé "l'Oléolentisque". On le retrouve également dans les boisements clairs à pin d'Alep ou dans d'autres formations de garrigues basses.

Selon MENICHINI & *al.*, 2016, le lentisque présente les caractéristiques suivantes :

- **Écorces** : Rougeâtres sur les jeunes branches, elles deviennent grises avec le temps. Lorsqu'on incise l'écorce, une résine irritante non colorée à odeur forte s'écoule.
- **Branches** : Tortueuses et pressées, elles forment une masse serrée.
- **Feuilles** : Persistantes et composées, elles possèdent un nombre pair de folioles (4 à 10), d'un vert sombre, elliptiques, obtuses, luisantes sur le dessus, glabres, coriaces, et dont le pétiole est bordé d'une aile verte (figure 1).
- **Fleurs** : Les fleurs, unisexuées et mesurant environ 3 mm de large, apparaissent au printemps sous forme de grappes. Très aromatiques, les fleurs femelles sont vertes jaunâtre, tandis que les fleurs mâles sont rouges foncé. Elles poussent sur des arbustes différents, les sépales des fleurs mâles abritant 5 étamines rougeâtres reposant sur un disque nectarifère. Les fleurs femelles présentent un ovaire supère avec un style court à 3 stigmates. La floraison se déroule de mars à mai (LANDAU & *al.*, 2014).
- **Fruit** : Le fruit est une baie globuleuse de 2 à 3 mm, monosperme. Il est d'abord rouge et devient brunâtre à maturité en automne.
- **Mastic** : L'incision du tronc de cet arbuste fait écouler une résine qui, une fois distillée, fournit une essence employée en parfumerie.



Figure 1. Photos de *P. lentiscus* L. Partie aérienne

Le pistachier lentisque est très répandu dans le bassin méditerranéen, où il pousse à l'état sauvage dans les maquis et les garrigues, sur tout type de sols, bien qu'il préfère les terrains siliceux. En Algérie, on le trouve le long du Tell et dans les zones forestières. (MENICHINI & *al.*, 2016)

C. La systématique du *Pistacia lentiscus* L.

Embranchement : Spermaphytes
Sous-embranchement : Angiospermes
Classe : Eudicots
Sous-classe : Rosidées
Ordre : Sapindales
Famille : Anacardiacees ou Térébinthacées
Genre : *Pistacia*
Genre/espèce : *Pistacia lentiscus* Linnaeus, 1753

D. Répartition géographique

➤ Dans le monde

Pistacia lentiscus L. est un arbrisseau commun dans les régions arides d'Asie, ainsi que dans les zones méditerranéennes d'Europe et d'Afrique (Figure 2), et il s'étend jusqu'aux Canaries. (BEGHLAL, 2016).



Figure 2. Répartition géographique de *Pistacia*. dans le monde (KOZHORIDZE & *al.*, 2015)

➤ En Algérie

On le trouve à l'état sauvage dans l'étage thermo-méditerranéen et dans les zones forestières subhumides et semi-arides (ZAREB, 2018) Plus précisément, il est présent dans le bassin du Soummam en association avec le pin d'Alep, le chêne vert et le chêne-liège (MERBAH, 2020). Sa limite méridionale se situe aux environs de Saida, et il n'est pas signalé au sud de l'Atlas saharien.

E. Produits et dérivés à base de *P. lentiscus* L.

Pistacia lentiscus L. est largement reconnue pour ses propriétés médicinales. Elle est utilisée en médecine traditionnelle pour traiter l'hypertension artérielle, grâce à ses propriétés diurétiques, ainsi que pour ses actions anti-inflammatoires, antibactériennes, antifongiques, antipyrétiques, astringentes et hépatoprotectrices" (NAGHMOUCHI & *al.*, 2023). De nos jours, plusieurs produits dérivés du *Pistacia* sont disponibles.

Selon ANTONIADI & *al.*, (2024), les principaux produits dérivés du *Pistacia lentiscus* L. et leurs utilisations sont les suivants :

➤ **La résine** : Les branches et le tronc exsudent naturellement ou par incision une résine jaune claire fortement aromatique, appelée mastic ou gomme mastic, d'où le nom commun d'arbre à mastic. Cette résine durcit au contact de l'air. En général, chaque arbuste produit environ 4 à 5 kilogrammes de résine. La production à grande échelle se fait dans de vastes plantations dans les régions d'Emporio et Mesta, appelées "mastihohoria" ou villages à mastic, ce qui explique le nom commercial de « Mastic de Chio ».

➤ Le mastic était utilisé dans la confection d'eau-de-vie et de liqueurs, pour aromatiser certaines confitures, ainsi que dans la fabrication de pâtes ou de gommes à mâcher parfumées et de pastilles, qui étaient des douceurs favorites des sultans de l'empire ottoman et des femmes du Moyen-Orient. Aujourd'hui, le mastic est encore utilisé dans l'industrie agro-alimentaire comme agent masticatoire, dans l'industrie photographique et dans les soins dentaires, notamment dans les amalgames.

Depuis la plus haute antiquité, le mastic de Chio était réputé dans toute la Méditerranée orientale pour traiter les affections pulmonaires.

➤ **L'essence de mastic** : Après distillation du mastic, une essence est récupérée. Cette essence est utilisée dans la fabrication de parfums, de produits cosmétologiques et

pharmaceutiques, ainsi que de vernis de grande qualité, très recherchés par les peintres. Elle est également utilisée dans l'industrie photographique.

➤ L'essence des feuilles et des rameaux : On en extrait une huile essentielle utilisée en aromathérapie et en phytothérapie pour ses propriétés décongestionnantes. Elle est également prescrite pour traiter les problèmes veineux, y compris les hémorroïdes.

➤ **L'huile de lentisque**

On extrait du fruit comestible une huile qui était autrefois couramment utilisée pour l'alimentation, l'éclairage et la fabrication de savons. Cette huile est produite à l'est de l'Algérie, notamment dans les zones côtières comme El Milia et Skikda, où l'espèce est abondante. Un procédé traditionnel est employé pour cette extraction : les fruits, qui atteignent leur maturité à la fin de l'été ou au début de l'automne, prennent une coloration noire au lieu du rouge. Les baies sont récoltées à la main, macérées dans de l'eau chaude, puis écrasées à l'aide d'une presse. Un liquide épais de couleur jaune-vert en est extrait et l'huile est récupérée par décantation.

F. Provenance du matériel végétal et rendement

Les parties aériennes de *Pistacia lentiscus* ont été récoltées durant le mois de mai 2019 en période de pleine floraison à partir de sept stations différentes de la région de Tlemcen (Algérie). L'identification botanique des espèces collectées a été faite par le laboratoire d'écologie et de gestion des écosystèmes de l'université de Tlemcen.

L'hydrodistillation des huiles essentielles a été réalisée au moyen d'un appareil de type Clevenger pendant 5 heures, ce qui a abouti à l'obtention d'une huile de couleur jaunâtre. Les rendements obtenus sont calculés par rapport à la masse du végétal frais.

➤ **Composition chimique**

La composition chimique des constituants volatils des huiles essentielles obtenues des parties aériennes de *Pistacia lentiscus* L. récoltées à partir de différentes régions de Tlemcen a été analysée par CPG et CPG/SM.

Un total de soixante-neuf composés a été identifié dans les huiles essentielles des parties aériennes représentant un pourcentage de 97.2 % à 99.6 % du mélange complexe (Tableau 1).

Tableau 1. Composition chimique de l'huile essentielle de *Pistacia lentiscus* L.

N ^o ^a	Composés	IRIa ^b	Ria ^c	Rip ^d	%	Identification ^e
1	α -Thujène	921	923	1023	0.4	RIMS
2	α -Pinène	931	931	1022	13.1	RIMS
3	Camphène	943	943	1066	2.3	RIMS
4	Sabinène	964	965	1120	4.6	RIMS
5	β -Pinène	970	971	1110	12.9	RIMS
6	Myrcène	977	979	1159	1.1	RIMS
7	α -Phellandrène	997	980	1164	0.6	RIMS
8	α --Terpinène	1008	1007	1178	3.3	RIMS
9	Limonène	1023	1020	1199	7.5	RIMS
10	γ -Terpinène	1048	1048	1241	5.7	RIMS
11	(E)-Sabinène hydrate	1053	1053	1454	0.1	RIMS
12	Nonan-2-one	1070	1066	1390	0.7	RIMS
13	Terpinolene	1078	1075	1282	2.1	RIMS
14	cis-Sabinene hydrate	1083	1080	1541	0,5	RIMS
15	Terpinène 4-ol	1161	1161	1602	19,9	RIMS
16	α -Terpénol	1179	1176	1600	4.9	RIMS
17	Undécan-2-one	1270	1273	1601	3.3	RIMS
18	Acétate d α -Terpényle	1386	1384	1681	1.6	RIMS
19	(E)- β -Caryophyllène	1421	1418	1590	2.3	RIMS
20	α -Humulène	1456	1454	1668	0.6	RIMS
21	Allooomadendrène	1462	1456	1640	2.6	RIMS
22	γ -Cadinène	1507	1502	1750	0.9	RIMS
23	τ -Cadinol	1632	1627	2132	1.7	RIMS
24	α -Cadinol	1645	1640	2225	0.3	RIMS
% d'identification					93.0	
% Rendement					0.6	
Monoterpène hydrocarbonés					53.6	
Mono terpènes oxygénés					27.0	
Sesquiterpènes hydrocarbonés					6.4	
Sesquiterpènes oxygénés					2.0	
Composés non-terpeniques					4.0	

L'identification des constituants a été établie par comparaison de leurs indices de rétention (IR) et leurs spectres de masse (SM) avec ceux de la bibliothèque « Arômes » propres au Laboratoire de l'université de Corse et à l'aide des bibliothèques commerciales.

II. *Inula viscosa* L.

Inula viscosa L., communément appelée Inule visqueuse, est une plante emblématique de la région méditerranéenne, réputée pour ses propriétés médicinales et son importance écologique. Appartenant à la famille des Astéracées (*Asteraceae*), cette espèce est largement utilisée en médecine traditionnelle pour traiter diverses affections. La famille des Astéracées, l'une des plus diversifiées du règne végétal, comprend plus de 1 000 genres et 23 000 espèces (KHEYAR-KRAOUCHE & *al.*, 2023). En Algérie, elle est représentée par 109 genres et 408 espèces, tandis qu'en France, on compte 111 genres et 638 espèces (MEDDOUR & *al.*, 2021).

Récemment, des études taxonomiques ont reclassé *Inula viscosa* L. dans le genre *Dittrichia* sous le nom de *Dittrichia viscosa* L., en raison de la présence de poils glanduleux sur l'ovaire, une caractéristique absente chez les autres espèces du genre *Inula* (SCHELLENBERGER & *al.*, 2023). Le nom *Inula* dérive du grec "Ineo", signifiant "je purge", en référence à ses propriétés purgatives, tandis que "viscosa" évoque la texture visqueuse de la plante (KHEYAR-KRAOUCHE & *al.*, 2018).

A. Description botanique d'*Inula viscosa* L.

Inula viscosa L. est une plante vivace, aromatique et glanduleuse, mesurant entre 0,5 et 1,3 m de hauteur. Elle se caractérise par des feuilles alternes, allongées et lancéolées, mesurant de 3 à 7 cm de long et de 6 à 12 mm de large. Ces feuilles, plus petites vers le haut et parfois dentées, dégagent une forte odeur caractéristique (MEDIOUNI BEN JEMAA & *al.*, 2019). Les inflorescences, longuement paniculées et nombreuses, portent des capitules d'environ 1,5 cm de large, avec des fleurs ligulées jaunes mesurant de 10 à 12 mm de long. La floraison s'étend de fin août à début octobre, période où la plante est particulièrement visible dans son habitat naturel (MIFSUD & ASKEW, 2019). Les tiges, dressées, simples ou ramifiées, sont lignifiées à la base et densément feuillues, ce qui confère à la plante une robustesse notable (MOUSSI & ZERROUKI, 2022).



Figure 3: Photos de *I. viscosa* L. Partie aérienne

B. Systématique et classification taxonomique

La classification taxonomique d'*Inula viscosa* L. est la suivante :

- Règne : Plantae
- Sous-règne : Tracheobionta (plantes vasculaires)
- Sous-embranchement : Angiospermes
- Classe : Magnoliopsida (eudicots)
- Sous-classe : *Asteridae*
- Ordre : *Asterales*
- Famille : *Astéracées (Compositae)*
- Genre : *Inula* L.
- Espèce : *I. viscosa* L.

Cette classification reflète la position taxonomique de la plante au sein de la famille des Astéracées, l'une des plus importantes du règne végétal (QUEZEL & SANTA, 1963).

C. Habitat et répartition géographique

1. Habitat

Inula viscosa L. est une plante robuste qui s'adapte à une grande variété de sols, notamment les sols profonds, fertiles et bien drainés. Elle préfère les emplacements ensoleillés ou à mi-ombre, mais peut également prospérer dans des terrains argileux

légèrement humides, les rocailles et les garrigues (MEDIOUNI BEN JEMAA & *al.*, 2019). Elle ne dépasse généralement pas 500 mètres d'altitude en montagne (KESIM & YILDIZTEKIN, 2023).

2. Répartition géographique

Inula viscosa L est largement répandue dans le bassin méditerranéen, incluant l'Espagne, la France, l'Algérie et le Maroc. Elle est également présente en Asie, notamment en Chine, au Japon et en Corée (BOUZENAD & HADDAD, 2019). En Algérie, elle colonise principalement les garrigues, les rocailles et les terrains argileux peu humides (BENACHOUR & KHELIFI, 2018).



Figure 4. Carte géographique représentant la répartition de l'*Inula viscosa* L. dans le Bassin Méditerranéen.

3. Rôle écologique d'*Inula viscosa* L.

Inula viscosa L. joue un rôle écologique important dans les écosystèmes méditerranéens. En tant qu'espèce pionnière, elle contribue à la stabilisation des sols et à la prévention de l'érosion. Sa capacité à s'adapter à des conditions environnementales difficiles, telles que la sécheresse et les sols pauvres, en fait une espèce clé pour la

restauration des terrains dégradés. De plus, elle sert de source de nourriture pour les insectes pollinisateurs, renforçant ainsi la biodiversité locale.

D. Usages traditionnels et propriétés médicinales

Inula viscosa L. est souvent qualifiée de "reine des plantes médicinales" en raison de ses nombreuses applications thérapeutiques. En médecine traditionnelle, elle est utilisée pour ses propriétés anti-inflammatoires, antiseptiques, antispasmodiques et sédatives (MOUSSAOUI & LAMCHOURI, 2015).

1. Usages en Algérie

En Algérie, *Inula viscosa L.* est employée pour arrêter les hémorragies (grâce au suc des feuilles fraîches), favoriser la cicatrisation des plaies, prévenir les inflammations et soulager les douleurs. Elle est également utilisée en application externe comme analgésique pour traiter les céphalées, les douleurs abdominales et les rhumatismes (SAFI, 2020).

2. Propriétés pharmacologiques

Les propriétés médicinales de *Inula viscosa L.* sont attribuées à la présence de composés bioactifs, tels que les terpénoïdes, les flavonoïdes et les alcaloïdes, qui confèrent à la plante des effets anti-inflammatoires, antioxydantes, hypoglycémiantes, hypolipidémiantes et antihypertenseurs. De nombreuses études ont mis en évidence son potentiel thérapeutique, et des recherches récentes appuient son efficacité dans divers domaines médicaux. En effet, *Inula viscosa* possède des propriétés anti-inflammatoires significatives car d'après l'étude de KATTOUF & *al.*, (2018) les feuilles de cette plante ont démontré un effet antihypertenseur, en observant une réduction de l'hypertension chez le rat. Cette réduction serait liée à ses effets anti-inflammatoires, ce qui peut être bénéfique pour le traitement des affections inflammatoires chroniques. D'autre part, HADDOUCHI & *al.*, (2019) ont mis en évidence l'effet antioxydant des extraits aqueux des feuilles, ce qui suggère un rôle protecteur contre le stress oxydatif.

D'autres part, des recherches approfondies sur l'effet des extraits de *Inula viscosa* ont montré une réduction significative des niveaux de glucose sanguin et de lipides chez les rats. L'étude de HADDOUCHI & *al.*, (2019) a révélé que l'extrait aqueux de *Inula*

viscosa L. exerce des effets hypoglycémiants et hypolipémiants notables, ce qui le rend potentiellement utile dans le traitement du diabète et des dyslipidémies.

Selon KATTOUF & *al.*, (2018), *Inula viscosa L.* possède un effet antihypertenseur en réduisant la pression artérielle chez les rats. Cette propriété pourrait être utilisée pour traiter l'hypertension, une affection largement répandue et à l'origine de plusieurs maladies cardiovasculaires.

Inula viscosa L. présente également des effets antalgiques significatifs. L'étude de NAIT ALI & *al.*, (2017) a montré que l'extrait aqueux des feuilles exerce une action anti-inflammatoire comparable à celle de médicaments anti-inflammatoires non stéroïdiens (AINS), réduisant l'inflammation et la douleur aiguë.

Ces effets pharmacologiques suggèrent que *Inula viscosa L.* pourrait être utilisée dans le traitement des affections inflammatoires, des troubles cardiovasculaires, du diabète, des dyslipidémies, ainsi que dans la gestion de la douleur et du stress oxydatif. Les effets combinés de réduction de l'hypertension, de régulation du glucose et des lipides, ainsi que la modulation de l'inflammation et de l'oxydation, font de cette plante un candidat prometteur pour le développement de traitements phytothérapeutiques.

E. Provenance du matériel végétal et rendement

La récolte de l'espèce *Inula viscosa L.* a eu lieu en mai 2017 dans la forêt de Tlemcen, en Algérie, durant sa période de floraison. Les parties supérieures de la plante ainsi obtenues ont ensuite été soumises à une extraction par hydrodistillation en utilisant un appareil de type Clevenger. Ce processus d'extraction s'est déroulé sur une période de 5 heures et a donné lieu à un rendement de 0,15% en poids par rapport à la masse initiale de la plante fraîche, dont le poids était de 500 grammes.

F. Composition chimique

Suite à l'hydrodistillation des parties aériennes d'*Inula viscosa L.*, une huile essentielle de teinte jaune pâle a été récoltée. L'analyse de la composition chimique de cette huile essentielle a été effectuée à l'aide de la (CPG) ainsi que la (CPG-SM). Cette démarche a permis l'identification de vingt-neuf composés différents, représentant ensemble 99,4% de la composition totale des éléments identifiés (conformément aux détails du Tableau 2).

Tableau 2. Composition chimique de l'huile essentielle de la partie aérienne d'*Inula viscosa* L.

No ^a	Composés	IR ^b	IR ^c	IR ^d _p	HE ^c	Identification ^g
1	Z-Hex-3-en-1-ol	834	831	1380	-	IR, SM
2	Nonal	1082	1083	1394	-	IR, SM
3	Citronellol	1211	1212	1086	-	IR, SM
4	α -Cubébène	1348	1350	1452	2.1	IR, SM
5	cis- α -Bergamotène	1411	1409	1560	3.1	IR, SM
6	(E)- β -Caryophyllène	1421	1418	1590	3.3	IR, SM
7	β -Copaène	1431	1430	1579	6.1	IR, SM
8	(E)- β -Farnésène	1448	1444	1660	4.2	IR, SM
9	Alloaromadendrène	1462	1459	1637	9.2	IR, SM
10	Germacrène-D	1480	1477	1700	7.1	IR, SM
11	Zingibrène	1489	1486	1715	8.2	IR, SM
12	Bicyclogermacrène	1494	1492	1720	6.6	IR, SM
13	γ -Cadinène	1507	1509	1752	0.2	IR, SM
14	δ -Cadinène	1516	1522	1785	2.5	IR, SM
15	(E)-Nérolidol	1546	1551	2036	2.3	IR, SM
16	Oxyde de caryophyllène	1576	1569	1985	3.2	IR, SM
17	Globulol	1589	1581	2066	3.8	IR, SM
18	Lédol	1600	1605	2023	6.9	IR, SM
19	Zingibérenol	1613	1612	2169	3.2	IR, SM
20	τ -Muurolol	1634	1631	2142	6.5	IR, SM
21	α -Cadinol	1645	1641	2108	8.6	IR, SM
22	α -Bisabolol	1672	1671	2216	8.9	IR, SM
23	(E)-Z-Farnésylacétone	1871	1879	2331	3.6	IR, SM
24	Curcumène-15-al	1674	1681	-	-	IR, SM
25	Endesma-7(11)-en-4- α -ol	1683	1683	2300	-	IR, SM
26	Shyabunol	1688	1687	-	-	
27	β -Acoradiénol	1738	1732	-	-	
28	Z-E-Farnésylacétate	1792	1797	2227	-	
29	Heptadéc-8,11,14-trién-2-one	1831	1840	2361	-	IR, SM
% Identification					99.4	
Composés non-terpénique					-	
Monoterpènes oxygénés					-	
Sesquiterpènes hydrocarbonés					52.6	
Sesquiterpènes oxygénés					47.0	

^b Indices de rétention sur une colonne apolaire issus de la littérature

^c Indices de rétention sur une colonne apolaire Rtx-1

^d Indices de rétention sur colonne polaire Rtx-wax

Ir : Indices de rétention ; SM : Spectres de Masse en impact électronique ; Réf : Composés identifiés à l'aide de bibliothèques commerciales [22].

Les composants ont été identifiés en comparant leurs indices de rétention (IR) ainsi que leurs spectres de masse (SM) avec les données présentes dans la bibliothèque "Arômes", spécifiquement développée par le laboratoire de l'université de Corse. Des

bibliothèques commerciales ont également été utilisées pour faciliter cette démarche d'identification.

L'huile essentielle examinée est composée exclusivement de sesquiterpènes hydrocarbonés (52,6%), comprenant 11 composés, ainsi que de sesquiterpènes oxygénés (47,0%), englobant 9 composés.

Les constituants volatils principaux présents dans la partie aérienne de l'huile incluent l'alloaromadendrène (9,2%), l' α -bisabolol (8,9%), l' α -cadinol (8,6%), le zingibrène (8,2%), le germacrène-D (7,1%), le bicyclogermacrène (6,6%), le dian-muurolol (6,5%), le β -copaène (6,1%) et l'(E)- β -farnésène (4,2%) (Conformément au Tableau 2).

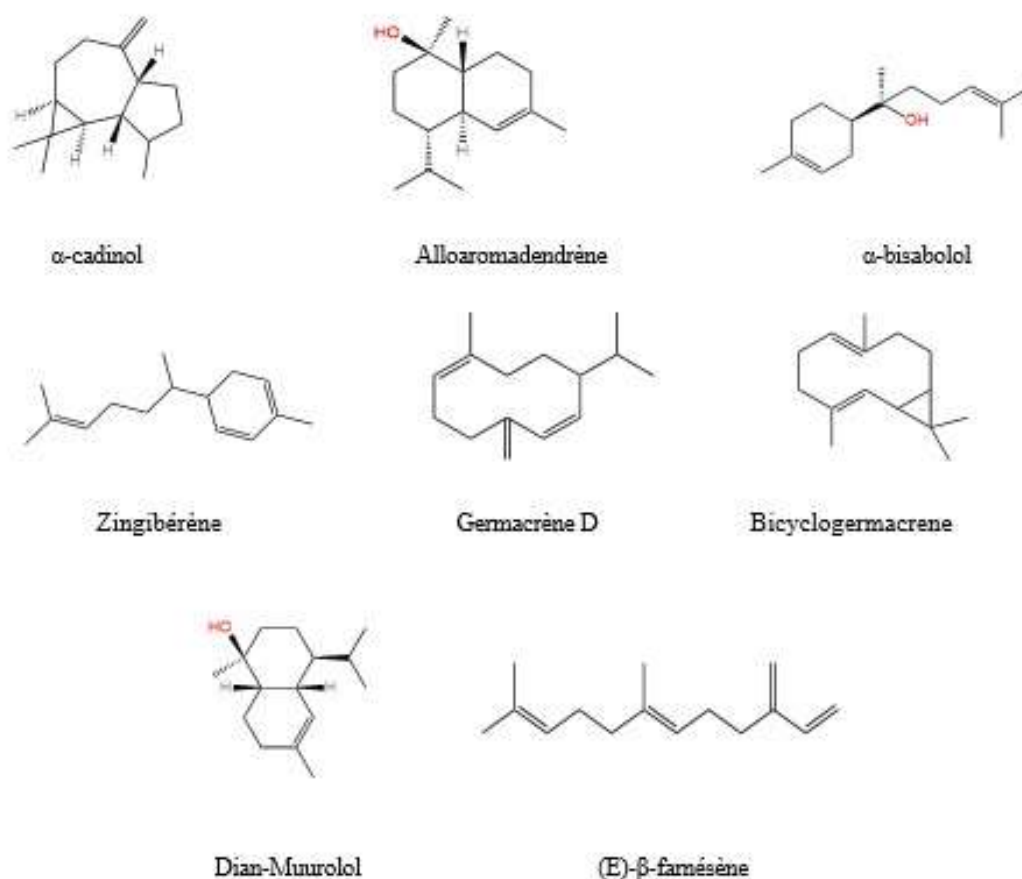


Figure 5. Structures chimiques des principaux constituants identifiés dans l'huile essentielle de la partie aérienne d'*Inula viscosa* L.

L'étude bibliographique menée sur les huiles essentielles des parties aériennes d'*Inula viscosa* L. récoltées dans l'Ouest Algérien a révélé des différences significatives. En effet, diverses recherches signalent des compositions variées. Par exemple, l'huile essentielle d'*I. viscosa* originaire du village de Sidi Rzine (Nord-Ouest de l'Algérie) se caractérise par la présence d'acide Eudesma-3,11, diène-12-oïque et 1 Acide ,2-benzènedicarboxylique, ester diisooctylique (OUNOUGHI & *al.*, 2020). En revanche, l'huile essentielle récoltée dans le Sud d'Alger est constituée de 12-carboxyeudesma-3,11 (HAOUI & *al.*, 2011) diène, d'acide linoléique et d'acide palmitique (FLAMINI & *al.*, 2007). L'huile essentielle d'*I. viscosa* L. d'Algérie comprend de l'acide isocostique et du fokiéol (BOUSETLA & *al.*, 2018). D'autres régions présentent également des variations : en Islande, on trouve le 10-épi- γ eudesmol, l' α -eudesmol, le β -caryophyllène et le limonène (FLAMINI & *al.*, 2007). L'Italie se distingue par le globulol, le valérianol et l'oxyde de

caryophyllène (FLAMINI & *al.*, 2002). La Turquie affiche une composition incluant le bornéol, l'acétate de bornyle et l'acétate d'iso-bornyle (ERUYGUR & *al.*, 2024). En France et en Espagne, c'est le fokiéol, le nérolidol-(E) et l' α -eudesm-6-en-4-ol qui dominent (BOUDJELAL & *al.*, 2015). Les huiles essentielles d'*I. viscosa* L. en provenance de Syrie et de Tunisie sont riches en 11-hydroxy-6-ememopheryl(7)-9-(10)-dien-8-one, veridiflorol, cedr-8-en-13-ol, caryophyllène oxyde, β -élinène, terpinéol et β -bisabolène (TALEB & *al.*, 2018), tandis que la Tunisie présente isovalérate de néryl-Z, 1,10-di-épibénol et 2,5-diméthoxy-p-cymène (BOUSETLA & *al.*, 2018).

III. *Anacyclus valentinus* L.

A. La famille des Astéracées (*Compositae*)

La famille des Astéracées, également appelée *Compositae*, est l'une des plus vastes et diversifiées du règne végétal. Elle regroupe plus de 1 000 genres et 23 000 espèces (JEFFREY & KADEREIT, 2019). En Algérie, cette famille est représentée par 408 espèces réparties en 109 genres (MEKHTICHE & BENAYAD, 2021). Les Astéracées se caractérisent par leur richesse en composés naturels, notamment les terpénoïdes, les alcaloïdes et les lactones sesquiterpéniques, qui confèrent à de nombreuses espèces des propriétés médicinales (GONÇALVES & MARQUES, 2022). Elles contiennent également des flavonoïdes, tels que les flavones, flavonols, flavanones et dihydroflavonols, qui jouent un rôle important dans leur défense et leur adaptation écologique (HASSANI & FATTAH, 2020).

Bien que répandues à l'échelle mondiale, les Astéracées sont principalement concentrées dans les régions tempérées et froides. Elles comprennent majoritairement des plantes herbacées, annuelles ou vivaces, mais aussi des arbustes et des sous-arbrisseaux. Les feuilles sont généralement alternes, bien qu'elles puissent également être opposées ou radiales (ZOTZ, 2016).

B. Le genre *Anacyclus*

Le genre *Anacyclus* appartient à la famille des Astéracées et se distingue par ses capitules composés de fleurs ligulées à l'extérieur et tubulées à l'intérieur. Une caractéristique morphologique distinctive de ce genre est la présence d'ailes aplaties

entourant les fruits, évoquant des paires d'oreilles. Les espèces du genre *Anacyclus* sont généralement des plantes annuelles à feuilles alternes, profondément divisées et souvent encombrantes. La tige portant le capitule s'épaissit sous celui-ci, et l'involucre est formé de bractées inégales se chevauchant partiellement, sans appendice terminal (RAHMAN & *al.*, 2021).

C. Usages traditionnels

Plusieurs espèces du genre *Anacyclus*, dont *Anacyclus valentinus* L., sont utilisées en médecine traditionnelle. Elles sont notamment employées pour traiter des affections telles que les maladies infectieuses, les mycoses, la grippe, les maux d'estomac, les intoxications, le rhume et les allergies (MOUFID & *al.*, 2018 ; RAOUDI, 2021). Ces usages sont attribués à la présence de composés bioactifs, tels que les alcaloïdes et les flavonoïdes, qui confèrent à la plante des propriétés anti-inflammatoires, antimicrobiennes et antioxydantes.

D. Description botanique d'*Anacyclus valentinus* L.

Anacyclus valentinus L. est une plante annuelle à tige dressée, mesurant entre 10 et 40 cm de hauteur, et présentant une pilosité variable. La tige s'épaissit au sommet, portant un capitule hémisphérique composé de fleurs jaunes tubulées. Les feuilles sont bipennatiséquées, avec des lobes étroits et mucronulés. Les fruits sont des akènes, typiques des Astéracées, et la floraison a lieu de juin à août (HAMZI & BELHADJ, 2008).



Figure 6 : Photo de la partie aérienne d'*Anacyclus valentinus L.*

E. Systématique d'*Anacyclus valentinus L.*

La classification taxonomique d'*Anacyclus valentinus L.* est la suivante :

- **Règne :** Plantae
- **Embranchement :** Spermaphytes
- **Sous-Embranchement :** Angiospermes
- **Classe :** Eudicotes
- **Sous-classe :** Gamopétales
- **Ordre :** *Asterales*
- **Famille :** *Astéracées*
- **Genre :** *Anacyclus*
- **Espèce :** *A. valentinus L.*

Cette espèce est connue sous divers noms vernaculaires selon les régions : « *Anacycle de Valence* » en France, « *Aomilla de Valencia* » en Italie, « *Manzanilla corda* » en Espagne, et « *Guertoufa* » en Algérie.

1. Répartition géographique

Anacyclus valentinus L. est principalement répandue dans le bassin méditerranéen et en Afrique du Nord. Elle colonise spontanément les sols argileux des terres incultes et les bords de chemins, notamment dans les Pyrénées (JULVE, 2015).



Figure 7: Répartition géographique d'*A.valentinus* L. dans le Bassin Méditerranéen.

2. Définition écologique

Anacyclus valentinus L. est une espèce adaptée aux environnements arides et semi-arides, typiques des régions méditerranéennes. Elle prospère sur des sols pauvres en nutriments, souvent argileux, et démontre une grande résistance aux conditions de sécheresse. Cette plante joue un rôle écologique important en stabilisant les sols et en servant de source de nourriture pour certains insectes pollinisateurs. Sa capacité à coloniser des terrains perturbés en fait une espèce pionnière dans les écosystèmes dégradés.

F. Provenance du matériel végétal et rendement

Les parties aériennes de l'*Anacyclus valentinus* L. ont été cueillies en avril-mai 2020 dans la forêt de Tlemcen (Algérie), pendant la période de floraison optimale. L'identification botanique précise des spécimens collectés a été réalisée par le laboratoire d'écologie et de gestion des écosystèmes de l'université de Tlemcen. L'obtention de l'huile essentielle a impliqué l'hydrodistillation des parties aériennes fraîches pendant une durée de 5 heures à l'aide d'un dispositif de type Clevenger, conduisant à la production d'une huile présentant une teinte jaunâtre. Le rendement obtenu a été calculé en proportion du poids du végétal frais initial.

1. Composition chimique

L'extraction par hydrodistillation des parties aériennes de l'*Anacyclus valentinus* L. a produit une huile essentielle avec un rendement de 0,1% en termes de poids sec (voir tableau 3). L'analyse de l'huile essentielle d'*Anacyclus valentinus* L. à l'aide de la chromatographie en phase gazeuse (CPG) et de la chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (CPG-SM) a permis l'identification de cinquante-huit composés, constituant ainsi 90,4% de la composition totale de l'huile essentielle (Tableau 3).

L'identification des constituants a été établie par comparaison de leurs indices de rétention (IR) et leurs spectres de masse (SM) avec ceux de la bibliothèque « Arômes » propres au Laboratoire de l'université de Corse et à l'aide des bibliothèques commerciales.

2. Isolation de la fraction oxygénée

L'huile essentielle a été séparée en deux fractions (polaire et apolaire) par chromatographie sur colonne. La fraction apolaire a été obtenue en utilisant du pentane à 100%, tandis que la fraction polaire a été obtenue par l'éther diéthylique. Dans ce travail, nous nous intéressons à l'étude de la fraction oxygénée.

3. Analyse de la composition chimique de l'huile essentielle de *A. valentinus*

L'hydrodistillation des parties aériennes de *A. valentinus* L. a donné un rendement en huile essentielle de 0,1 % sur la base du poids sec (Tableau 3). L'analyse de l'huile essentielle de *A. valentinus* par GC-MS a permis d'identifier 58 composés, représentant

90,4 % de l'huile essentielle totale. Les composés ont été identifiés en comparant leurs spectres de masse (EI-MS) et leurs indices de rétention (IR) avec ceux de la bibliothèque de spectres de masse. 31 monoterpènes, 21 sesquiterpènes, 6 composés non terpéniques ont été identifiés (Tableau 3).

Tableau 3. Composition chimique de l'huile essentielle et de la fraction oxygénée de *A. valentinus* L.

No	Composés	RI ^b	RI _{ap} ^c	HE ^d	FO ^e	Identification ^f
1	α -Pinène	931	932	0.2	-	RI, MS
2	Camphène	943	943	0.1	-	RI, MS
3	6-methyl-5-hepten-2-one	963	960	0.1	0.3	RI, MS
4	Sabinène	964	964	0.8	-	RI, MS
5	β -Pinène	970	969	1.1	-	RI, MS
6	Myrcène	979	979	0.8	-	RI, MS
7	3-Octanol	986	981	0.1	3.2	RI, MS
8	p-Cymène	1009	1011	0.9	-	RI, MS
9	Dec-3-en-2-one	1020	1019	0.3	6.5	RI, MS
10	Limonène	1023	1022	0.5	-	RI, MS
11	Cétone d'artémisia	1047	1047	1.2	6.3	RI, MS
12	γ -Terpinène	1047	1047	0.5	-	RI, MS
13	Nonanal	1075	1083	0.7	2.1	RI, MS
14	Linalol	1082	1081	1.1	1.8	RI, MS
15	α -Thujone	1089	1089	0.8	0.9	RI, MS
16	β -Thujone	1103	1103	0.6	1.1	RI, MS
17	trans-Chrysanthénol	1102	1105	0.7	0.9	RI, MS
18	Trans-Pinocarveol	1122	1125	0.6	0.8	RI, MS
19	Bornéol	1140	1148	0.6	0.6	RI, MS
20	Terpinène-4-ol	1161	1161	0.8	1.6	RI, MS
21	Myrténal	1175	1172	0.2	0.8	RI, MS
22	Butyrate d'hex(3z)ényle	118 4	1165	0.1	0.6	RI, MS
23	Terpinéol	1187	1179	0.5	1.3	RI, MS
24	Décanal	1189	1185	1.2	2.2	RI, MS
25	Acétate de fenchyle	1211	1212	1.3	1.6	RI, MS
26	Acétate de chrysanthényle	1222	1222	0.6	0.9	RI, MS
27	Pipéritone	1230	1232	0.8	1.2	RI, MS
28	Acétate de bornyle	1269	1269	1.2	1.6	RI, MS
29	p-Mentha-1(7)-5-dien-2-yl	1301	1305	0.6	1.3	RI, MS
30	Acétate de néryle	1342	1342	2.2	2.8	RI, MS
31	Acétate de géranyle	1361	1361	1.3	2.1	RI, MS
32	Propionate de bornyle	1358	1363	0.3	0.9	RI, MS
33	Isobutyrate de bornyle	1404	1404	1.8	2.9	RI, MS
34	E- β -Caryophyllène	1424	1424	2.4	-	RI, MS
35	E- β -Farnésène	1445	1448	1.1	-	RI, MS
36	γ -Curcumène	1475	1474	1.4	-	RI, MS
37	Zingibérène	1489	1489	7.7	-	RI, MS
38	β -Sesquiphallandrène	1523	1516	2.1	-	RI, MS

39	Nérolidol	1546	1546	0.7	1.3	RI, MS
40	Spathulénol	1557	1557	2.1	2.9	RI, MS
41	Epiglobulol	1156	1558	2.2	2.8	RI, MS
42	Isovalérate de néryle	1161	1568	4.4	4.8	RI, MS
43	Oxyde de caryophyllène	1576	1576	2.8	3.1	RI, MS
44	Isovalérate de géranyle	1554	1586	0.7	1.1	RI, MS
45	1,10-diepi-Cubénol	1601	1608	1.2	1.5	RI, MS
46	Valérate de néryle	1616	1616	0.9	1.1	RI, MS
47	épi-cubénol	1624	1624	0.8	1.2	RI, MS
48	tau Cadinol	1632	1632	3.2	3.2	RI, MS
49	β-Eudesmol	1644	1644	2.9	0.8	RI, MS
50	α-Eudesmol	1653	1653	8.1	9.6	RI, MS
51	Valérianone	1664	1664	2.5	3.2	RI, MS
52	α-Bisabolol	1672	1672	2.6	2.9	RI, MS
53	Eudesm-4(15)-7-dien-1b-ol	1674	1672	1.5	1.7	RI, MS
54	épi-α-Bisabolol	1677	1677	1.1	0.9	RI, MS
55	Hexadécanol	1864	1869	-	2.2	RI, MS
56	Acide hexadécanoïque	1942	1956	-	3.2	RI, MS
57	(E)-Phytol	2114	2119	5.6	6.2	RI, MS
58	Heneiscosane	2300	2300	4.3	-	RI, MS
59	Triacotane	2500	2500	2.1	-	RI, MS
60	Tétracontane	2700	2700	1.5	-	RI, MS
	% Identification			90.4	99.3	
	Monoterpènes hydrocarbonés			4.0	-	
	Monoterpènes oxygénés			18.4	38.5	
	Sesquiterpènes hydrocarbonés			14.7	-	
	Sesquiterpènes oxygénés			37.7	40.6	
	Composés non terpéniques			15.6	19.4	

^aL'ordre d'élution est donné sur colonne apolaire (Rtx-1) ;

^bIndices de rétention de la littérature sur colonne apolaire (RILit) ;

^cIndices de rétention sur colonne apolaire Rtx-1 (RIa) ;

^d HE : Huile essentielle ; ^e OF : fraction oxygénée ; ^f IR : Indices de rétention ; SM : Spectres de masse en mode impact électronique.

L'huile essentielle étudiée se compose principalement de composés sesquiterpéniques oxygénés (37,7%), accompagnés de monoterpènes oxygénés (18,4%), ainsi que de composés non terpéniques (15,6%). On y trouve également des sesquiterpènes hydrocarbonés (14,7%) et des monoterpènes hydrocarbonés (4,0%) (Voir Tableau 3). Il est important de noter que la plupart des composés constituant cette huile essentielle présentent des pourcentages qui ne dépassent pas 8%.

Les composés volatils majeurs présents dans la partie aérienne de l'huile essentielle d'*Anacyclus valentinus* sont α-Eudesmol à 8,1%, Zingibérène à 7,7%, (E)-Phytol à 5,6%, Neryl isovalerate à 4,4% et Heneiscosane à 4,3%.

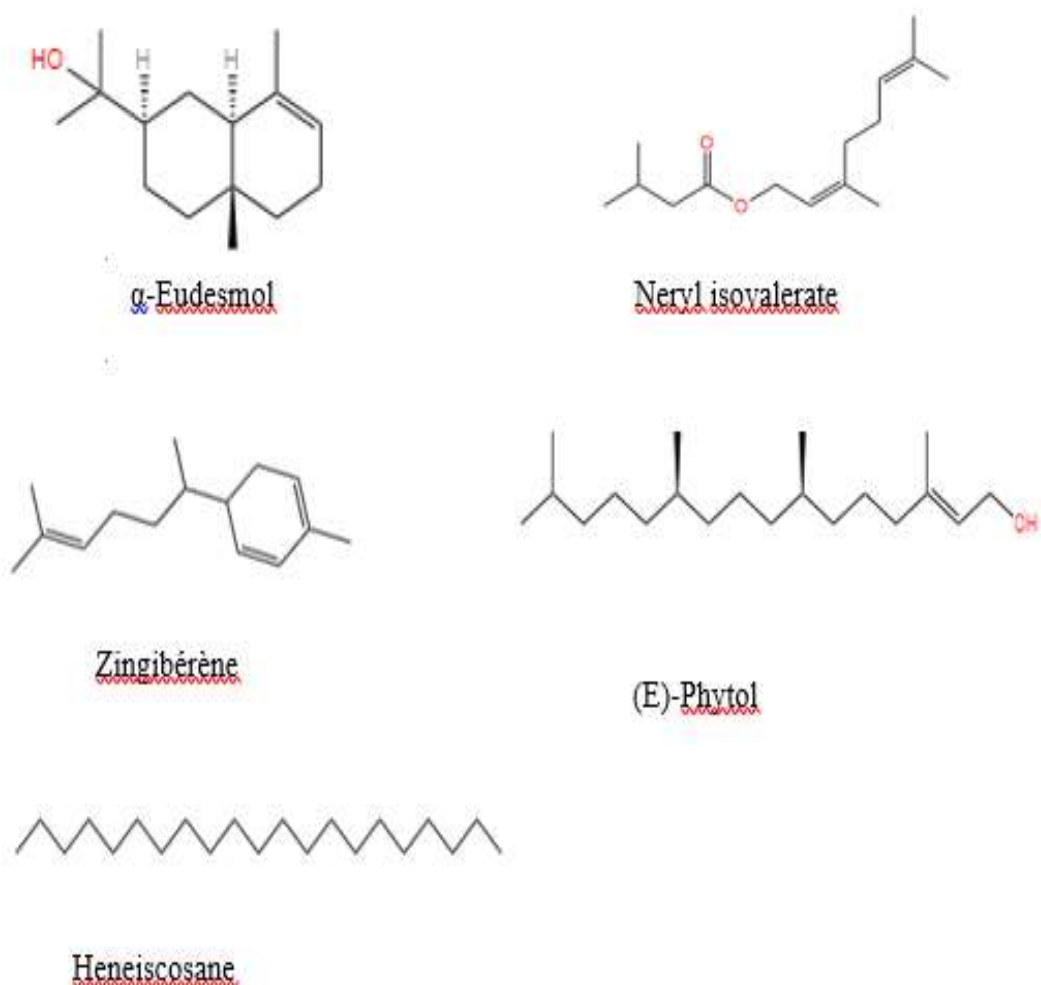


Figure 8. Structures chimiques des principaux constituants identifiés dans la partie aérienne de l'huile essentielle d'*Anacyclus valentinus* L.

G. Composition chimique de la fraction oxygénée

L'huile essentielle de *A. valentinus* a été séparée en deux fractions, la fraction hydrocarbonée a été obtenue par élution au pentane à 100% tandis que la fraction oxygénée a été obtenue par éther diéthylique (100%). La fraction polaire de l'huile essentielle de *A. valentinus* L. était principalement composée de sesquiterpènes oxygénés (40,6%) et de monoterpènes oxygénés (38,5 %), suivis de composés non terpéniques (19,4%). Les monoterpènes et sesquiterpènes étaient principalement composés de α -eudesmol (9,6 %), 1,8-cinéol (6,5%), artemisia ketone (6,3%), neryl isovalerate (4,8 %), valérianone (3,2%) et d'oxyde de caryophyllène (3,1%). Les composés non terpéniques étaient principalement

composés de (E)-phytol (6,2%), 3-octanol (3,2%), nonanal (2,1%), décanal (2,2%) et 2 composés supplémentaires, l'acide hexadécénoïque (3,2%) et l'hexadécanol (2,2%). Les résultats de la fraction oxygénée de *A. valentinus* ont été riches en sesquiterpènes oxygénés (41,9 %), en monoterpènes oxygénés et en composés non terpéniques (19,4 %), tandis que l'huile essentielle était prédominée par les sesquiterpènes oxygénés (37,7 %), les monoterpènes oxygénés (18,4 %), les composés non terpéniques (15,6 %) et les sesquiterpènes hydrocarbonés (14,7 %). La composition chimique de notre huile essentielle de *A. valentinus* collectée dans l'Ouest de l'Algérie s'est avérée très différente. Les variations de la composition chimique de l'huile essentielle d'une plante aromatique dépendent de plusieurs facteurs tels que : les conditions climatiques, la situation géographique, le génotype, la période du cycle végétatif, le stade de développement et la transformation des matières végétales avant l'extraction des substances volatiles (APROTOSOAIE & *al.*, 2010). Par ailleurs, les stress biotiques et abiotiques exercent également une influence importante sur la production de métabolites secondaires qui affectent la croissance des plantes et modifient leurs propriétés biochimiques (RAMAKRISHNA & RAVISHANKAR, 2011).

H. La famille des Astéracées (Compositae)

La famille des Astéracées, également connue sous le nom de Compositae, est l'une des plus vastes et diversifiées du règne végétal, regroupant plus de 1 000 genres et environ 23 000 espèces (JEFFREY & KADEREIT, 2019). Algérie, cette famille est représentée par 408 espèces réparties en 109 genres (MEKHTICHE & BENAYAD, 2021). Les Astéracées se caractérisent par leur richesse en composés naturels, notamment les terpénoïdes, les alcaloïdes et les lactones sesquiterpéniques, qui confèrent à de nombreuses espèces des propriétés médicinales (GONÇALVES & MARQUES, 2022). Elles contiennent également des flavonoïdes, tels que les flavones, flavonols, flavanones et dihydroflavonols, qui jouent un rôle important dans leur défense et leur adaptation écologique (HASSANI & FATTAH, 2020).

Bien que répandues à l'échelle mondiale, les astéracées sont principalement concentrées dans les régions tempérées et froides. Elles comprennent majoritairement des plantes herbacées, annuelles ou vivaces, mais aussi des arbustes et des sous-arbrisseaux. Les feuilles sont généralement alternes, bien qu'elles puissent également être opposées ou radiales (ZOTZ, 2016).

1. Le genre *Centaurea*

Le genre *Centaurea* appartient à la famille des Astéracées et se distingue par ses capitules composés de fleurs tubulées, souvent entourées de bractées épineuses ou colorées. Les espèces de ce genre sont principalement des plantes herbacées vivaces ou annuelles, adaptées à des environnements variés, des prairies aux zones montagneuses. Les feuilles sont généralement alternes, simples ou lobées, et les fleurs sont souvent de couleur violette, bleue ou jaune. Les fruits sont des akènes, typiques des Astéracées, souvent surmontés d'un pappus (une structure en forme de parachute qui facilite la dispersion par le vent) (DEMIRTAŞ, 2024).

2. Usages traditionnels

Plusieurs espèces du genre *Centaurea*, dont *Centaurea acaulis* L., sont utilisées en médecine traditionnelle pour leurs propriétés anti-inflammatoires, antimicrobiennes et antioxydantes. Elles sont notamment employées pour traiter des affections telles que les troubles digestifs, les infections cutanées et les inflammations articulaires (MOUFID & *al.*,

2018 ; RAOUDI, 2021). Ces usages sont attribués à la présence de composés bioactifs, tels que les sesquiterpènes lactones, les flavonoïdes et les phénols (WINK, 2015).

3. Description botanique de *Centaurea acaulis* L.

Centaurea acaulis L. est une plante vivace, acaule (sans tige apparente), formant une rosette basale de feuilles (DEMIRTAS & AKKAL, 2022). Les feuilles sont oblongues à lancéolées, entières ou légèrement lobées, et recouvertes d'une pilosité fine (EL-MONGY & EL-KEBLAWY, 2013). Les capitules, portés directement au niveau de la rosette, sont composés de fleurs tubulées de couleur violette ou pourpre, entourées de bractées imbriquées. La floraison a lieu de mai à juillet, et les fruits sont des akènes surmontés d'un pappus plumeux.

4. Systématique de *Centaurea acaulis* L.

La classification taxonomique de *Centaurea acaulis* L. est la suivante :

- **Règne** : Plantae
- **Embranchement** : Spermaphytes
- **Sous-Embranchement** : Angiospermes
- **Classe** : Eudicotes
- **Sous-classe** : Gamopétales
- **Ordre** : Asterales
- **Famille** : Astéracées
- **Genre** : *Centaurea*
- **Espèce** : *C. acaulis* L.

Cette espèce est connue sous divers noms vernaculaires selon les régions : « Centaurée acaule » en France, « Fiordaliso nano » en Italie, et « Kharroub el-ghoul » en Algérie (BENARBA & BELHOUALA, 2021).

5. Répartition géographique

Centaurea acaulis L. est principalement répandue dans les régions méditerranéennes, notamment en Afrique du Nord (Algérie, Maroc, Tunisie) et dans le sud de l'Europe (Espagne, Italie, France). Elle colonise spontanément les sols calcaires, les prairies arides et les zones rocailleuses, démontrant une grande adaptabilité aux conditions environnementales difficiles (CARON & GAILLARD, 2005).

6. Définition écologique

Centaurea acaulis L. est une espèce adaptée aux environnements arides et semi-arides, typiques des régions méditerranéennes. Elle prospère sur des sols pauvres en nutriments, souvent calcaires, et démontre une grande résistance aux conditions de sécheresse. Cette plante joue un rôle écologique important en stabilisant les sols et en servant de source de nourriture pour certains insectes pollinisateurs, notamment les abeilles et les papillons. Sa capacité à coloniser des terrains perturbés en fait une espèce pionnière dans les écosystèmes dégradés (WAGENSOMMER, 2017).

7. Composition chimique

Tableau 4. Composés chimiques de l'huile essentielle et l'extrait d'hydrolat de la partie racinaire de *Centaurea acaulis* L.

No	Composés	RI ^b	RI _{ap} ^c	HE ^d	FO ^e	Identification ^f
1	Hex-3-én-1-ol (E)	812	791	-	0.4	RI, MS
2	Hex-3-én-1-ol (Z)	831	825	-	0.2	RI, MS
3	(Z)-hex-3-én-1-ol	851	834	-	0.2	RI, MS
4	β-Pinène	978	970	-	3.9	RI, MS
5	Linalol	1081	1088	1.2	-	RI, MS
6	Terpinène-4-ol	1164	1162	0.2	-	RI, MS
7	Salicylate de méthyle	1173	1170	0.1	0.7	RI, MS
8	Décanol	1085	1185	0.2	-	RI, MS
9	Déc-3-én-2-one	1219	1221	-	1.3	RI, MS
10	Dodécanal	1389	1390	-	2.5	RI, MS
11	(E)-β-Caryophyllène	1424	1418	-	6.5	RI, MS
12	α-Humulène	1456	1450	-	0.5	RI, MS
13	Germacrène-D	1480	1478	-	3.5	RI, MS
14	4-épi-Cubébol	1487	1487	0.2	-	RI, MS
15	Bicyclogermacrène	1494	1491	-	-	RI, MS
16	α-Muuroène	1496	1493	-	-	RI, MS
17	E-E-α-Farnésène	1498	1497	-	-	RI, MS
18	β-Cadinène	1507	1506	-	-	RI, MS
19	δ-Cadinène	1516	1515	-	-	RI, MS
20	3-(Z)-Hexényl-benzoate	1554	1550	0.9	-	RI, MS
21	Germacrène-D-4-ol	1573	1567	3.6	-	RI, MS
22	Oxyde de caryophyllène	1576	1571	36.2	6.5	RI, MS
23	Viridiflorol	1591	1584	12.8	1.1	RI, MS
24	Epoxys II dhumulène	1601	1599	3.9	-	RI, MS
25	Y-Eudesmol	1619	1617	2.3	-	RI, MS
26	épi-Cubenol	1624	1623	1.9	-	RI, MS
27	τ-Muuroolol	1634	1630	2.1	-	RI, MS
28	β-Eudesmol	1644	1640	3.7	-	RI, MS
29	α-Cadinol	1645	1641	2.3	-	RI, MS
30	α-Eudesmol	1653	1649	1.4	-	RI, MS
31	(Z,Z)-Farnésol	1653	1653	1.4	-	RI, MS
32	Aplotaxène	1661	1661	-	60.3	RI, MS
33	Eudesm-4(15)-7-diène-1β-ol	1672	1670	2.3	-	RI, MS

34	Pentadécanol	1998	1696	0.9	-	RI, MS
35	Acide hexadécanoïque	1954	1958	-	5.3	RI, MS
36	(Z)-Phytol	2080	2081	6.8	-	RI, MS
37	Hénéicosane	2100	2099	-	0.5	RI, MS
38	(E)-Phytol	2114	2113	8.5	-	RI, MS
	% Identification			93.4	92.9	
	Monoterpènes hydrocarbonés			3.9	-	
	Monoterpènes oxygénés			0.7	1.4	
	Sesquiterpènes hydrocarbonés			10.5	-	
	Sesquiterpènes oxygénés			7.6	74.1	
	Composés non terpéniques			70.7	2.1	

^aL'ordre d'élution est donné sur colonne apolaire (Rtx-1) ;

^bIndices de rétention de la littérature sur colonne apolaire (RILit) ;

^cIndices de rétention sur colonne apolaire Rtx-1 (RIa) ;

^d HE : Huile essentielle ; ^e OF : fraction oxygénée ; ^f IR : Indices de rétention ; SM : Spectres de masse en mode impact électronique.

L'huile essentielle de la partie racinaire de *Centaurea acaulis* L. est dominée par des composés non terpéniques (70,7%), suivis des sesquiterpènes oxygénés (7,6%) et des sesquiterpènes hydrocarbonés (10,5%). Les monoterpènes oxygénés et hydrocarbonés y sont présents en plus faibles proportions, avec respectivement 0,7% et 3,9%. À l'inverse, la fraction oxygénée contient une très forte proportion de sesquiterpènes oxygénés (74,1%), alors que les autres classes chimiques y sont minoritaires.

Les principaux composés volatils identifiés dans l'huile essentielle sont l'oxyde de caryophyllène (36,2%), le Véridiflorol (12,8%), et le (E)-Phytol (8,5%). Dans la fraction oxygénée, l'Aplotaxène domine largement avec 60,3%, suivi par l'oxyde de caryophyllène (6,5%) et l'acide hexadécanoïque (5,3%).

Ces résultats montrent une richesse en sesquiterpènes oxygénés, particulièrement marquée dans la fraction oxygénée, ce qui pourrait expliquer certaines propriétés biologiques associées à cette huile essentielle.

Partie biologique

I. Evaluation des activités antioxydantes des huiles essentielles

A. Introduction

L'évaluation du potentiel antioxydant joue un rôle fondamental dans la caractérisation des avantages conférés par les végétaux, particulièrement ceux ayant des usages médicaux traditionnels et exhibant des propriétés antioxydantes significatives. Cette constatation découle de la liaison existante entre le stress oxydatif et diverses problématiques de santé, suscitant ainsi l'utilisation des méthodes traditionnelles pour traiter et prévenir ces affections. De manière simultanée, l'obligation de préserver de manière écologique et efficace les produits alimentaires et cosmétiques a engendré un intérêt croissant au sein de l'industrie en vue de trouver des alternatives naturelles aux antioxydants synthétiques, dans le but de contrer le rancissement des denrées (NAWAB & *al.*, 2020).

À l'heure actuelle, la recherche de substituts aux antioxydants artificiels se focalise de plus en plus sur des produits naturels, performants et respectueux de l'environnement, avec l'objectif de préserver les produits cosmétiques et alimentaires. Cette tendance se concentre particulièrement sur les huiles essentielles, explorant spécifiquement les activités biologiques de leurs éléments constitutifs (BURT, 2004). Les huiles essentielles représentent une source potentielle de molécules naturelles et bioactives, parmi lesquelles les phénols jouent un rôle majeur, octroyant des propriétés biologiques et thérapeutiques notables. Ces composés agissent notamment en tant qu'agents antioxydants, anticancéreux, anti-inflammatoires, insecticides, antimicrobiens, antiviraux et analgésiques (BAKKALI & *al.*, 2008). Parallèlement, certaines huiles essentielles exemptes de composés phénoliques révèlent un effet antioxydant grâce à la chimie radicalaire de certains terpénoïdes et autres éléments volatils (RUBERTO & BARATTA, 2000).

Dans cette perspective, notre étude s'est concentrée sur la détection d'une éventuelle action antioxydante au sein des huiles essentielles extraites de *Pistacia lentiscus* L., *Inula viscosa* L., *Anacyclus valentinus* L. et *Centaurea acaulis* L.. Nous avons employé la

méthode du DPPH ainsi que le test au β -carotène, ayant recours au BHT comme antioxydant de comparaison.

1 *Pistacia lentiscus* L.

La capacité antioxydante des huiles essentielles issues de différentes zones géographiques pour les plantes *Pistacia lentiscus* L. ainsi que celles de l'antioxydant de référence est représenté dans le tableau *5.

En ce qui concerne l'espèce *Pistacia lentiscus* L., les résultats obtenus pour les activités de capture des radicaux libres se situent autour de **62,52 %** pour l'huile essentielle de la région de Sidi Youchaa et **57,18 %** pour celle de la station de Ziatene. En revanche, l'activité la plus faible a été observée avec l'huile essentielle de la station d'Ain Fezza, atteignant **52,8 %** à une concentration de **25 mg/mL** (comme indiqué dans le Tableau 5).

En ce qui concerne les concentrations inhibitrices (**CI₅₀**), parmi les huiles essentielles de *Pistacia lentiscus*, c'est l'huile essentielle provenant de la région de **Sidi Youchaa** qui a démontré l'activité la plus prometteuse dans la neutralisation du radical DPPH•. Son **CI₅₀** (Concentration Inhibitrice à 50 %) a été enregistrée à **18,23 mg/mL**, ce qui se rapproche considérablement de la valeur obtenue avec le BHT, qui était de **16,4 mg/mL**. Les huiles essentielles de la région de **Ziatene** et d'**Ain Fezza** ont suivi avec des **CI₅₀** respectives aux alentours de **22,92 mg/mL** et **24,09 mg/mL**.

1.1. Test de blanchissement du β -carotène

Dans la méthode de décoloration du β -carotène, nous avons employé de l'acide linoléique, un acide gras polyinsaturé. Les radicaux peroxydes engendrés par l'oxydation de l'acide linoléique, à la suite de l'arrachement de ses atomes d'hydrogène à partir de ses groupements méthylènes dans une émulsion, provoquent l'oxydation du β -carotène, qui est hautement insaturé. Cela conduit à la perte de sa teinte orangée, ce qui a ensuite été évalué par spectrophotométrie à une longueur d'onde de 470 nm.

Tableau 5. Pourcentage d'inhibition du DPPH en fonction des concentrations des huiles essentielles de *Pistacia lentiscus L.* et du BHT.

<i>Echantillons</i>	<i>Activité antioxydante</i>							
<i>Pistacia lentiscus L.</i> Ain Fezza (PAF)	Concentration (mg/mL) Pourcentage d'inhibition CI ₅₀ (mg/mL)	2,5 10,1	7 19	13 26	17 35	22 47,3	25 52,8	24,09
<i>Pistacia lentiscus L.</i> Ziatene (PZ)	Concentration (mg/mL) Pourcentage d'inhibition CI ₅₀ (mg/mL)	2,5 8,64	7 19,95	13 29,08	17 34,36	22 47,33	25 57,18	22,92
<i>Pistacia lentiscus L.</i> Sidi Youchaa (PSY)	Concentration (mg/mL) Pourcentage d'inhibition CI ₅₀ (mg/mL)	2,5 13,2	7 29,99	13 39,2	17 49,32	22 57,52	25 62,52	18,23
<i>BHT</i>	Concentration (mg/mL) Pourcentage d'inhibition CI ₅₀ (mg/mL)	1 25,05	5 33,02	10 39,32	13 44,32	15 48,52	17 52,14	16,4

Pour évaluer la capacité antioxydante des échantillons, nous avons mesuré les variations d'absorbance dans des environnements réactionnels au fil du temps. En l'absence des échantillons à tester, l'absorbance présente une décroissance, mais en leur présence, ce processus est ralenti.

Tableau 6. Évaluation de l'activité antioxydante par la méthode du blanchiment du β -carotène/acide linoléique pour les divers échantillons soumis à l'analyse.

Echantillons	Activité antioxydante							
	Concentration (mg/mL)	2,5	7	13	17	22	25	
<i>Pistacia lentiscus</i> L. Ain Fezza (PAF)	Test de blanchiment du	8,9	15	29	37	55	62,2	
	β -carotene [%]							
	CI ₅₀ (mg/mL)							19,74
<i>Pistacia lentiscus</i> L. Ziatene (PZ)	Concentration (mg/mL)	2,5	7	13	17	22	25	
	Test de blanchiment du	7,9	18,0	27,6	36,0	49,0	58,2	
	β -carotene [%]							
	CI ₅₀ (mg/mL)							22,35
<i>Pistacia lentiscus</i> L. Sidi Youchaa (PSY)	Concentration (mg/mL)	2,5	7	13	17	22	25	
	Test de blanchiment du	7,2	17,9	32,6	42,0	59,0	68,2	
	β -carotene [%]							
	CI ₅₀ (mg/mL)							18,11
BHT	Concentration (mg/mL)	1	5	10	13	15	17	
	Test de blanchiment du	23,09	31,06	37,68	45,21	47,95	51,69	
	β -carotene [%]							
	CI ₅₀ (mg/mL)							14,1

2 *Inula viscosa* L.

Le tableau ci-dessous représente le pourcentage d'inhibition du DPPH en fonction des concentrations des huiles essentielles d'*Inula viscosa* L., et du BHT.

Tableau 7. Pourcentage d'inhibition du DPPH en fonction des concentrations des huiles essentielles d'*Inula viscosa* L., et du BHT.

Echantillons	Activité antioxydante							
	Concentration (mg/mL)	5	10	15	20	25	30	
<i>I. viscosa</i> L. Ain El Fettah (AF)	Pourcentage d'inhibition	17,6	26,2	35,52	43,02	50,7	56,2	

	CI ₅₀ (mg/mL)							25,03
<i>I. viscosa</i> L. Ourit (O)	Concentration (mg/mL) Pourcentage d'inhibition CI ₅₀ (mg/mL)	10 10,18	15 19,00	20 26,00	25 35,00	35 48,00	40 52,80	33,10
<i>I. viscosa</i> L. Ain Ghoraba (AG)	Concentration (mg/mL) Pourcentage d'inhibition CI ₅₀ (mg/mL)	10 13,36	15 24,00	20 33,80	25 46,33	35 58,34	40 67,70	26,79
<i>I. viscosa</i> L. Tlemcen (IT)	Concentration (mg/mL) Pourcentage d'inhibition CI ₅₀ (mg/mL)	10 15,00	15 22,00	20 32,00	25 41,00	35 55,00	40 62,00	31,4
<i>I. viscosa</i> L. Maghnia (IM)	Concentration (mg/mL) Pourcentage d'inhibition CI ₅₀ (mg/mL)	5 13,50	10 21,00	15 27,99	20 37,40	25 48,2	30 56,33	26,63
<i>I. viscosa</i> L. Beni Ourssous (IBW)	Concentration (mg/mL) Pourcentage d'inhibition CI ₅₀ (mg/mL)	5 19,00	10 27,99	15 38,75	20 49,16	25 61,24	30 62,00	23,6
<i>I. viscosa</i> L. Mersa Ben Mhidi (IMB)	Concentration (mg/mL) Pourcentage d'inhibition CI ₅₀ (mg/mL)	5 21,01	10 26,83	15 32,75	20 37,12	25 47,5	30 55,65	27,13
<i>I. viscosa</i> Chetouane (IC)	Concentration (mg/mL) Pourcentage d'inhibition CI ₅₀ (mg/mL)	5 16,43	10 27,67	15 35,63	20 43,15	25 47,85	30 59,8	24,61
<i>I. viscosa</i> Ain Fezza (IAF)	Concentration (mg/mL) Pourcentage d'inhibition CI ₅₀ (mg/mL)	5 7	10 15,5	15 23	20 32,15	25 45,21	30 52,33	25,15
BHT	Concentration (mg/mL) Pourcentage d'inhibition CI ₅₀ (mg/mL)	1 25,05	5 33,02	10 39,32	13 44,32	15 48,52	17 52,14	16,4

La comparaison de l'activité de balayage DPPH des huiles essentielles d'*Inula viscosa* L., avec celui exprimé par le BHT a montré une bonne activité antioxydante.

Les résultats obtenus soulignent l'activité significative des huiles essentielles extraites de *Inula viscosa* L. contre les radicaux DPPH. Parmi ces huiles essentielles, celle provenant de la station de Beni Ouerssous s'est particulièrement distinguée en démontrant la plus grande activité inhibitrice, atteignant un taux de 62 % d'inhibition. De manière rapprochée, l'huile essentielle de Chetouane a présenté un taux d'inhibition de 59,8 % à une

concentration de 30 mg/mL. En ce qui concerne les huiles essentielles issues des stations de Maghnia, Ain El Fettouh, Mersa Benmhidi et Ain Fezza, leur capacité d'inhibition était remarquablement similaire à cette même concentration de 30 mg/mL, avec des taux respectifs de 56,33 %, 56,2 %, 55,65 % et 52,33 %. Par contre, pour les huiles essentielles provenant des stations d'Ain Ghoraba, Tlemcen et Ourit, qui ont été testées à une concentration de 40 mg/mL, les taux d'inhibition mesurés se sont élevés à 67,7 %, 62 % et 52,8 % respectivement. Par ailleurs, la concentration inhibitrice (CI_{50}) nécessaire pour atteindre une inhibition de 50 % du radical DPPH dans la solution d'essai a été calculée (détails disponibles dans le Tableau 7).

L'huile essentielle récoltée à la station de Beni Ouerssous s'est démarquée en présentant la CI_{50} la plus prometteuse, mesurée à 23,6 mg/mL. Elle a été suivie par les huiles essentielles des stations de Chetouane à 24,61 mg/mL, Ain Fettouh à 25,03 mg/mL, Ain Fezza à 25,15 mg/mL, Maghnia à 26,63 mg/mL, Ain Ghoraba à 26,79 mg/mL et Mersa Benmhedi à 27,13 mg/mL. En comparaison, la CI_{50} de l'antioxydant de référence s'est établie à 16,4 mg/mL, surpassant ainsi deux fois les valeurs obtenues pour l'huile essentielle de Tlemcen à 31,4 mg/mL et celle d'Ourit à 33,10 mg/mL.

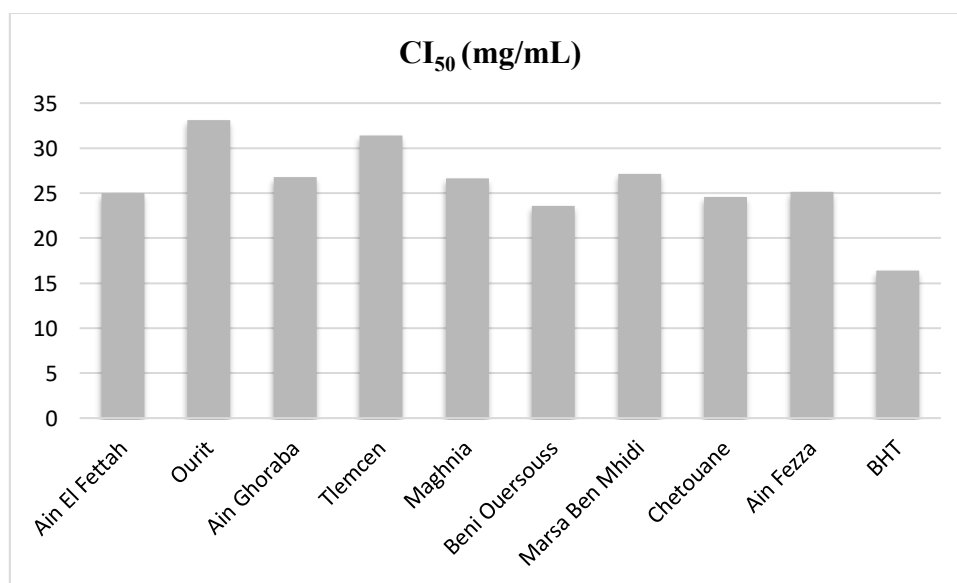


Figure 9. CI_{50} des huiles essentielles de l'espèce *Inula viscosa* L. déterminées par la méthode du DPPH.

L'huile essentielle extraite de la station de Tlemcen s'est démarquée en présentant une valeur de CI_{50} particulièrement prometteuse, mesurée à 18,4 mg/mL. Cette valeur se rapproche significativement de celle obtenue avec le BHT, qui était de 16,4 mg/mL. Les

huiles essentielles obtenues des stations 3 ont suivi avec une CI_{50} de 21,95 mg/mL, tandis que celles de la station 1 ont enregistré une valeur de 23,15 mg/mL.

2.1. Test de blanchissement du β -carotène

Dans la méthode de décoloration du β -carotène, nous avons employé de l'acide linoléique, un acide gras polyinsaturé. Les radicaux peroxydes engendrés par l'oxydation de l'acide linoléique, à la suite de l'arrachement de ses atomes d'hydrogène à partir de ses groupements méthylènes dans une émulsion, provoquent l'oxydation du β -carotène, qui est hautement insaturé. Cela conduit à la perte de sa teinte orangée, ce qui a ensuite été évalué par spectrophotométrie à une longueur d'onde de 470 nm.

Pour évaluer la capacité antioxydante des échantillons, nous avons mesuré les variations d'absorbance dans des environnements réactionnels au fil du temps. En l'absence des échantillons à tester, l'absorbance présente une décroissance, mais en leur présence, ce processus est ralenti.

Tableau 8. Évaluation de l'activité antioxydante par la méthode du blanchiment du β -carotène/acide linoléique pour les divers échantillons d'*Inula viscosa* L..

Echantillons		Activité antioxydante						
<i>I. viscosa</i> L. Ain El Fettah (AF)	Concentration (mg/mL)	5	10	15	20	25	30	
	Test de blanchiment du	12,6	26,2	37,48	47,07	55,7	65,9	
	β -carotene [%]							
	CI_{50} (mg/mL)							21,90
<i>I. viscosa</i> L. Ourit (O)	Concentration (mg/mL)	5	10	15	20	25	30	
	Test de blanchiment du	13,4	21,8	31	39	47	53,8	
	β -carotene [%]							
	CI_{50} (mg/mL)							27,09
<i>I. viscosa</i> L. Ain Ghoraba (AG)	Concentration (mg/mL)	5	10	15	20	25	30	
	Test de blanchiment du	15,26	26	34,8	44,21	52,4	59,7	
	β -carotene [%]							
	CI_{50} (mg/mL)							23,84
<i>I. viscosa</i> L. Tlemcen (IT)	Concentration (mg/mL)	2,5	7	13	17	22	25	
	Test de blanchiment du	7,9	16	30	39	54	62,1	
	β -carotene [%]							
	CI_{50} (mg/mL)							20,65

<i>I. viscosa L.</i> Maghnia (IM)	Concentration (mg/mL) Test de blanchiment du β -carotene [%] CI ₅₀ (mg/mL)	5 15	10 22	15 32	20 41	25 55	30 62	25,72
<i>I. viscosa L.</i> Beni Ouerssous (IBW)	Concentration (mg/mL) Test de blanchiment du β -carotene [%] CI ₅₀ (mg/mL)	5 12,6	10 23,9	15 36,4	20 46,7	25 54,9	30 65,9	22,2
<i>I. viscosa L.</i> Merssa Ben Mhidi (IMB)	Concentration (mg/mL) Test de blanchiment du β -carotene [%] CI ₅₀ (mg/mL)	5 13,0	10 22,99	15 29,7	20 38,1	25 47,2	30 58,0	26,17
<i>I. viscosa L.</i> Chetouane (IC)	Concentration (mg/mL) Test de blanchiment du β -carotene [%] CI ₅₀ (mg/mL)	5 15,9	10 26,75	15 34,9	20 41,1	25 56,9	30 65,3	22,52
<i>I. viscosa L.</i> Ain Fezza (IAF)	Concentration (mg/mL) Test de blanchiment du β -carotene [%] CI ₅₀ (mg/mL)	5 5,0	10 17,9	15 25	20 38,15	25 50,5	30 62,6	24,87
BHT	Concentration (mg/mL) Test de blanchiment du β -carotene [%] CI ₅₀ (mg/mL)	1 23,09	5 31,06	10 37,68	13 45,21	15 47,95	17 51,69	14,1

Les résultats obtenus soulignent que les huiles essentielles issues des trois espèces étudiées démontrent une activité bénéfique envers les radicaux peroxydes formés pendant l'oxydation de l'acide linoléique (référence au Tableau 8).

Dans le cas d'*Inula viscosa L.*, l'huile essentielle de la station de Tlemcen s'est avérée la plus efficace pour éliminer les radicaux libres, affichant une CI₅₀ de 20,65 mg/mL, et pour les autres stations, les valeurs de CI₅₀ variaient entre 21,90 mg/mL et 27,09 mg/mL. En ce qui concerne *Anacyclus valentinus L.*, l'huile essentielle la plus prometteuse en termes de CI₅₀ était celle de Tlemcen, avec une valeur de 16,3 mg/mL, suivie par celles des stations 1 et 3, avec des valeurs de 19,48 mg/mL et 22,53 mg/mL respectivement. Pour *Pistacia lentiscus L.*, les valeurs de CI₅₀ étaient également encourageantes, à savoir 18,11

mg/mL pour la station de Sidi Youchaa, 19,74 mg/mL pour Ain Fezza et 22,35 mg/mL pour Ziatène.

Cependant, la référence synthétique BHT demeure la plus active, avec une CI_{50} égale à 14 mg/mL (Tableau 8).

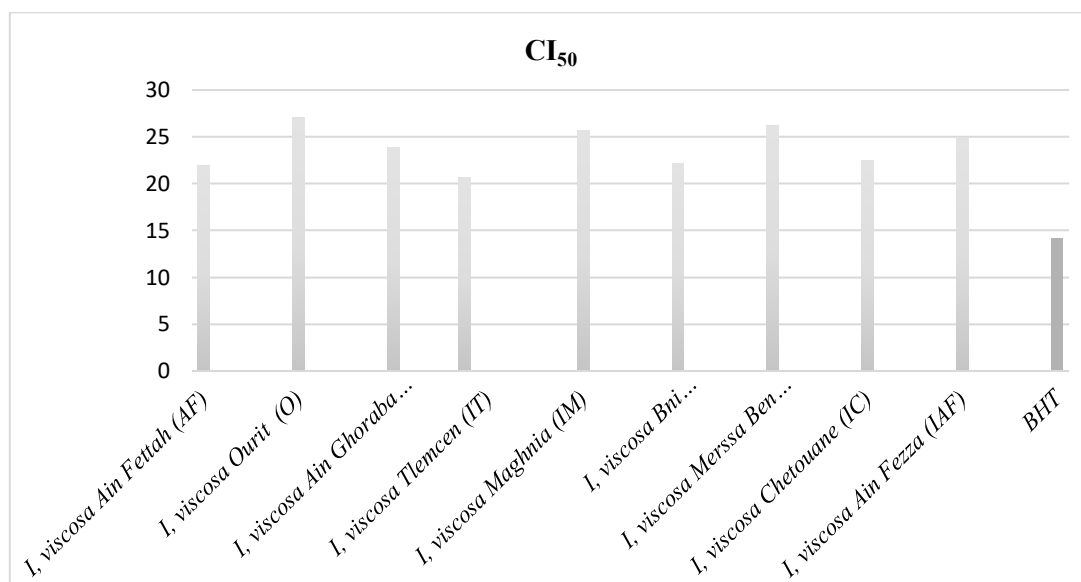


Figure 10. CI_{50} des huiles essentielles de l'espèce *Inula viscosa* L. déterminées par la méthode du β -carotène.

Au cours de cette investigation, nous avons observé que tous les échantillons évalués ont démontré une activité antioxydante prometteuse, affichant des valeurs de CI_{50} proches de celles de l'antioxydant synthétique BHT. De plus, une correspondance satisfaisante des résultats a été constatée entre les deux tests réalisés.

Le potentiel antioxydant de l'huile essentielle extraite de la partie aérienne de *Inula viscosa* L., pourrait être attribué à sa composition chimique, en particulier à la présence notable de sesquiterpènes oxygénés et hydrocarbonés, tels que α -Eudesmol, Zingibérène, (E)-Phytol, Neryl isovalerate, Heneiscosane, alloaromadendrène, α -bisabolol, α -cadinol, zingibrène, germacrène-D, bicyclogermacrène, dian-muurolol, β -copaène et l'(E)- β -farnésène

Cela s'explique par le fait que les monoterpènes et les sesquiterpènes sont reconnus pour leurs propriétés antioxydantes (BOURKHISS & *al.*, 2015). Cependant, il est également noté que l'effet antioxydant ne provient pas seulement des composants majoritaires, mais aussi d'autres éléments minoritaires qui pourraient agir de manière synergique ou

antagoniste, formant ainsi un système efficace de neutralisation des radicaux libres (GOUDJIL & *al.*, 2015).

Ces conclusions portent une grande promesse pour les applications liées à la préservation des denrées alimentaires, étant donné que les effets néfastes associés aux antioxydants synthétiques sont largement documentés, incluant notamment des risques de carcinogenèse (MIE & *al.*, 2017). Les découvertes obtenues offrent de nouvelles perspectives pour l'utilisation potentielle de cette huile essentielle en tant qu'agents antioxydants dans divers domaines. De plus, cela pourrait conduire à une réduction de la dose minimale efficace, contribuant ainsi à la diminution ultérieure des effets secondaires indésirables associés aux antioxydants synthétiques, tout en augmentant leur efficacité.

3 *Anacyclus valentinus* L.

3.1. Evaluation de l'activité antioxydante de l'huile essentielle et de sa fraction oxygénée

Les propriétés antioxydantes ont été évaluées à l'aide de trois méthodes différentes, l'activité de piégeage des radicaux, le pouvoir réducteur et la méthode de blanchiment au β -carotène, en utilisant le BHT comme témoin positif. Les résultats ont été rapportés comme la moyenne de trois répétitions. Les pourcentages d'inhibition et de concentration inhibitrice demi-maximale (IC₅₀) des échantillons sont présentés dans le tableau 9. Les résultats de l'étude de l'activité antiradicalaire DPPH de l'huile essentielle d'*A. valentinus* L. et de la fraction oxygénée avec celle obtenue par le composé synthétique BHT sont résumés dans le tableau 9.

Tableau 9. Activité antioxydante de l'huile essentielle et de la fraction oxygénée de *A. valentinus* L.

Samples	DPPH IC ₅₀ (mL/L)	β -Carotene IC ₅₀ (mL/L)	Metal chelating IC ₅₀ (mL/L)
BHT	16.4	13.2	-
EDTA	-	-	1.05
Huile essentielle	18.4	16.3	2.05
Fraction oxygénée	8.2	5.6	1.43

L'activité de piégeage des radicaux libres la plus faible a été obtenue par l'huile essentielle de *A. valentinus* L. ($CI_{50} = 18,4$ mL/L), tandis que l'activité la plus élevée a été obtenue par les fractions oxygénées ($IC_{50} = 8,2$ mL/L). L' CI_{50} de la fraction oxygénée de l'huile essentielle de *A. valentinus* L. était environ 2 fois plus élevée que l'antioxydant synthétique BHT utilisé comme référence ($CI_{50} = 16,4$ mL/L) (Tableau 9). Le résultat obtenu avec le test de blanchiment au β -carotène a montré que la fraction oxygénée ($CI_{50} = 5,6$ mL/L) indiquait la plus forte activité, supérieure à l'antioxydant synthétique BHT ($IC_{50} = 13,2$ mL/L). L'huile essentielle a également montré une bonne activité antioxydante avec une CI_{50} de 16,3 mL/L par rapport à l'antioxydant synthétique BHT.

De plus, on constate que la fraction oxygénée ($CI_{50} = 1,0$ mL/L) a une activité chélatante prometteuse, meilleure que l'huile essentielle ($CI_{50} = 2,05$ mL/L), mais qui reste plus faible à l'EDTA ($CI_{50} = 1,03$ mg/mL). Nos résultats ont montré que la fraction oxygénée était très efficace par rapport à l'huile essentielle. Tous les tests ont montré une activité antioxydante importante. Cette activité s'explique en partie par la richesse de cette fraction en composés oxygénés (99,5%). On sait que ce sont les terpénoïdes et les phénylpropanoïdes qui confèrent aux huiles essentielles leurs propriétés antioxydantes, les monoterpènes oxygénés se sont avérés présenter une activité antioxydante élevée, tandis que les hydrocarbures monoterpéniques et sesquiterpéniques se sont révélés moins efficaces (BAKKALI & *al.*, 2008). La valeur d'une activité dépend de sa totalité, c'est-à-dire dans l'ensemble de ses composantes et pas seulement dans ses composantes majoritaires (RUSTAIYAN & *al.*, 2003).

II. Activité antimicrobienne des huiles essentielles

A. Introduction

Les bactéries et les agents fongiques développent constamment des résistances aux antibiotiques, ce qui pose un défi persistant pour le domaine de la santé tant dans les pays développés que dans ceux en développement (LAXMINARAYAN & *al.*, 2016). En raison de leur potentiel de toxicité aiguë, de leurs propriétés cancérogènes et de leur impact sur l'environnement, l'utilisation croissante des agents antimicrobiens issus de la chimie est restreinte. Les radicaux libres sont associés à diverses affections telles que le cancer et les maladies neurodégénératives. L'utilisation excessive d'antibiotiques a conduit à une résistance et une efficacité limitée dans le traitement de ces pathologies, créant ainsi un enjeu majeur pour la santé publique (PAPP-WALLACE & *al.*, 2011). En outre, l'utilisation

inappropriée des antibiotiques pour lutter contre les micro-organismes pathogènes réduit leur efficacité et accélère le développement de la résistance (CARLET & *al.*, 2012).

Face à cette situation, il existe une demande pressante pour la création de nouveaux antibiotiques capables de lutter contre les agents pathogènes. À cette fin, une approche en cours de développement consiste à associer les antibiotiques à des compléments naturels ou à des agents antimicrobiens dérivés de composés bioactifs trouvés dans la nature (FADAEI & MEHDIZADEH, 2020). En réponse à cette demande croissante des consommateurs en faveur de solutions naturelles, la recherche de nouvelles molécules bioactives visant à prévenir ou à traiter les affections est en cours (CALIXTO, 2000).

L'utilisation des huiles essentielles présente une alternative hautement prometteuse aux antibiotiques, principalement grâce à leur composition chimique, notamment la nature des composants volatils dominants ou moins abondants (BAKKALI & *al.*, 2008). Leur efficacité s'étend de manière significative aux bactéries à Gram positif et à Gram négatif (BURT, 2004), ce qui en fait une perspective encourageante pour de nouveaux remèdes naturels (GORI & *al.*, 2014).

Dans ce contexte et en dépit des résultats préliminaires de l'activité antioxydante des huiles essentielles des deux espèces, nous nous sommes intéressés à tester l'activité antimicrobienne en utilisant la méthode de diffusion sur disque.

1 *Pistacia lentiscus* L.

L'huile essentielle de *Pistacia lentiscus* L. a été testée pour son effet antibactérien contre différentes bactéries. Les résultats les plus prometteurs ont été obtenus avec l'huile essentielle de la station de Ziatene, montrant une zone d'inhibition de 20 mm contre *B. cereus* et une valeur similaire de 11 mm contre *S. aureus*, qui a été observée tant avec l'huile essentielle de Ziatene qu'avec celle de Sidi Youchaa.

Cependant, aucune activité antibactérienne n'a été observée pour les huiles essentielles des trois stations contre *E. coli*. Seule l'huile essentielle de Ziatene a montré une inhibition de 27 mm contre *P. aeruginosa*. Il est également important de noter que l'huile essentielle de la station d'Ain Fezza n'a montré aucun effet antibactérien dans cette étude.

En ce qui concerne l'effet antifongique, l'huile essentielle de la station de Sidi Youchaa a montré l'effet le plus significatif avec une zone d'inhibition de 18 mm, suivie

par celle de la station d'Ain Fezza avec 12 mm contre *Candida ATCC 26960*. En revanche, l'huile essentielle de Ziatene n'a montré aucun effet prononcé contre cette même levure. Quant à la deuxième levure, *Candida ATCC 10231*, l'huile essentielle de la station de Sidi Youchaa a produit l'inhibition la plus élevée, mesurée à 16 mm.

Les souches bactériennes et fongiques ont également été soumises à des tests de sensibilité vis-à-vis d'antibiotiques de référence. Les diamètres d'inhibition observés se situaient entre 20 et 33 mm pour la gentamicine et atteignaient 30 mm pour l'amphotéricine B (Tableau 10).

Tableau 10. Résultats de l'activité antimicrobienne des H.E de *P. lentiscus L.* par la méthode des disques en papier.

Germes test Echantillons	Diamètres des zones d'inhibition obtenus en mm											
	<i>B. cereus</i>		<i>S. aureus</i>		<i>E. coli</i>		<i>P. aeruginosa</i>		<i>Candida ATCC 26960</i>		<i>Candida ATCC 10231</i>	
	HE	Gent	HE	Gent	HE	Gent	HE	Gent	HE	Ampho B	HE	Ampho B
<i>Pistacia lentiscus</i> L. Ain Fezza (PAF)	-	24±0,0	-	30±0,0	-	20±0,0	-	25±0,0	12±0,5	30±0,0	13±0,0	30±0,0
<i>Pistacia lentiscus</i> L. Ziatene (PZ)	20±0,5	24±0,0	11±0,0	30±0,0	-	20±0,0	27±0,1	25±0,0	-	30±0,0	11±0,0	30±0,0
<i>Pistacia lentiscus</i> L. Sidi Youchaa (PSY)	14±0,5	24±0,0	11±0,0	30±0,0	-	20±0,0	-	25±0,0	18±0,5	30±0,0	16±0,5	30±0,0

2 *Inula viscosa L.*

Le pouvoir antimicrobien de l'huile essentielle de *Inula viscosa L.* a été évalué contre six micro-organismes : quatre bactéries [deux à Gram positif et deux à Gram négatif] et deux levures. L'activité a été testée qualitativement (méthode de diffusion sur disque en papier). Les résultats sont mentionnés respectivement dans les Tableau 11.

Les résultats obtenus montrent que les huiles essentielles d'*Inula viscosa L.* évaluées, provenant de différentes stations, ont présenté des effets d'inhibition variables sur les souches testées. Pour la souche *B. cereus*, l'huile essentielle obtenue à partir de la station de Tlemcen a montré l'effet le plus élevé avec une zone d'inhibition de 25 mm, suivie par celles de Beni Ouersous, Chetouane et Ain Fezza avec des zones d'inhibition

respectives de 19, 18 et 17 mm. En ce qui concerne *S. aureus*, l'huile essentielle la plus prometteuse a été obtenue à partir de Beni Ouersous (35 mm), suivie par celles de Maghnia et Ain Fezza avec des zones d'inhibition de 23 et 20 mm respectivement.

Concernant les bactéries à Gram négatif, aucune efficacité n'a été observée contre *E. coli*. En revanche, l'inhibition la plus remarquable a été obtenue contre *P. aeruginosa* par l'huile essentielle d'Ain El Fettouh, avec une zone d'inhibition de 36 mm, suivie par celles d'Ain Ghoraba (31 mm) et d'Ourit (28 mm).

En ce qui concerne l'effet antifongique, l'effet le plus marqué contre *Candida ATCC 26960* a été obtenu avec les huiles essentielles de Tlemcen et Mersa Ben Mhidi, qui ont montré des zones d'inhibition de 20 mm, ainsi que celle de Maghnia avec 18 mm. Pour *Candida ATCC 10231*, l'effet le plus prononcé a été observé avec l'huile essentielle provenant de la station de Maghnia, présentant une zone d'inhibition de 26 mm. Il est important de noter que les huiles essentielles provenant des stations d'Ain El Fettouh, El Ourit et Ain Ghoraba n'ont montré aucun effet contre les deux levures testées.

Tableau 11. Résultats de l'activité antimicrobienne des H.E de *I. viscosa* L. par la méthode des disques en papier.

Germes test Echantillons	Diamètres des zones d'inhibition obtenus en mm									
	<i>B. cereus</i>		<i>S. aureus</i>		<i>E. coli</i>		<i>P. aeruginosa</i>		<i>Candida ATCC 26960</i>	
	HE	Gent	HE	Gent	HE	Gent	HE	Gent	HE	Ampho B
<i>I. viscosa</i> Ain Fettah (AF)	10±0,0	24±0,0	10±0,0	30±0,0	-	20±0,0	36±0,5	25±0,0	-	30±0,0
<i>I. viscosa</i> Ourit (O)	14±0,0	24±0,0	15±0,5	30±0,0	-	20±0,0	28±0,4	25±0,0	-	30±0,0
<i>I. viscosa</i> Ain Ghoraba (AG)	10±0,5	24±0,0	10±0,0	30±0,0	-	20±0,0	31±0,0	25±0,0	-	30±0,0
<i>I. viscosa</i> Tlemcen (IT)	25±0,5	24±0,0	14±0,4	30±0,0	-	20±0,0	-	25±0,0	20±0,0	30±0,0
<i>I. viscosa</i> Maghnia (IM)	12±0,0	24±0,0	23±0,0	30±0,0	-	20±0,0	-	25±0,0	18±0,7	30±0,0
<i>I. viscosa</i> Beni Oursous (IBW)	19±0,5	24±0,0	35±0,3	30±0,0	-	20±0,0	-	25±0,0	12±0,5	30±0,0
<i>I. viscosa</i> Mersa Ben Mhidi (IMB)	15±0,5	24±0,0	17±0,2	30±0,0	-	20±0,0	-	25±0,0	20±0,3	30±0,0
<i>I. viscosa</i> Chetouane (IC)	18±0,5	24±0,0	13±0,3	30±0,0	-	20±0,0	-	25±0,0	09±1,1	30±0,0
<i>I. viscosa</i> Ain Fezza (LAF)	17±0,0	24±0,0	20±0,5	30±0,0	-	20±0,0	-	25±0,0	15±0,8	30±0,0

3. Discussion

Le pouvoir antimicrobien des huiles essentielles dépend principalement de la nature et des caractéristiques de leurs composés actifs, notamment les terpénoïdes oxygénés qui se sont avérés plus actifs en général que les molécules hydrocarbonées (VIUDA-MARTOS & *al.*, 2011). De plus, il a été attesté que la catégorie des terpènes présente une activité étendue couvrant un large éventail de microorganismes (PINO & ROSADO, 2012). Ces éléments renforcent le potentiel antimicrobien hautement prometteur de l'huile essentielle d'*Inula viscosa* L., riche en sesquiterpènes oxygénés (47,0%) et sesquiterpènes hydrocarbonés (52,6%).

Ce potentiel repose spécifiquement sur les propriétés hydrophobes des constituants, ce qui leur permet de pénétrer la double couche phospholipidique de la membrane des cellules bactériennes (HAMMER & *al.*, 2007). En outre, cet effet bénéficie d'une interaction synergique découlant de la combinaison des divers composés présents dans les huiles essentielles (CHOUHAN & SHARMA, 2020), dont l'activité est influencée par le caractère lipophile de leurs structures hydrocarbonées et l'hydrophilie de leurs groupes fonctionnels. Un exemple concret est le myrcène lorsqu'il interagit avec d'autres composants de l'huile essentielle (BAKKALI & *al.*, 2008). L'efficacité de ce potentiel dépend également du type spécifique de microorganismes visés (SASIDHARAN & *al.*, 2020).

3.3. Activité anti-inflammatoire des huiles essentielles

A. Introduction

L'inflammation représente une réponse naturelle de protection de l'organisme contre les agressions externes comme les infections et les blessures. Elle vise à éliminer les agents nuisibles, réparer les dommages et maintenir l'intégrité (SILVA & *al.*, 2023). Cette réaction vitale dépend de l'activation du système immunitaire. Néanmoins, les médicaments anti-inflammatoires classiques (qu'ils soient stéroïdiens, non stéroïdiens ou opioïdes) ont leurs limites et inconvénients, en dépit de leur efficacité, en raison de leurs effets secondaires indésirables tels que crises, risques cardiaques, affaiblissement du système immunitaire et problèmes gastriques (ZHANG & *al.*, 2023).

Dans cette optique, substituer ces traitements chimiques par des agents anti-inflammatoires naturels, qui assurent une efficacité similaire voire supérieure avec moins d'effets secondaires, devient primordial. Certains éléments des huiles essentielles pourraient répondre à ce besoin en fournissant des alternatives naturelles et sûres. Contrairement aux médicaments conventionnels et synthétiques comme les corticoïdes, qui ciblent divers mécanismes corporels pour atténuer l'inflammation, ces solutions naturelles agissent de manière plus globale. L'effet puissant des corticoïdes provient notamment de l'augmentation de la production de lipocortine, un inhibiteur de la phospholipase A2, qui réduit la libération d'acide arachidonique. Cependant, leur utilisation prolongée peut avoir des effets indésirables en perturbant la migration des monocytes-macrophages et des polynucléaires vers la zone inflammatoire, ainsi que la production d'autres médiateurs tels que sérotonine, histamine, bradykinine, cytokines et ions superoxydes. Ces effets secondaires augmentent les risques de problèmes gastro-intestinaux et cardiovasculaires (DUPONT & *al.*, 2023). Ainsi, il est crucial d'explorer des solutions alternatives et naturelles basées sur des plantes médicinales pour traiter les problèmes inflammatoires, ce qui motive notre étude.

À notre connaissance, aucune recherche n'a examiné dans la littérature les propriétés anti-inflammatoires *in vitro* des trois plantes étudiées : *Inula viscosa* L., *Anacyclus valentinus* L. et *Pistacia lentiscus* L., en utilisant le test d'inhibition de la dénaturation des protéines. Cette section de notre étude met en avant notre approche *in vitro* pour évaluer les caractéristiques de l'huile essentielle de ces trois échantillons.

1. *Pistacia lentiscus* L.

Tableau 12. Pourcentages d'inhibitions de la dénaturation de l'albumine des H.E de *P. lentiscus* L. et le Diclofénac de sodium.

Inhibiteurs (%) ±SD (µg/mL)	200	400	600	800	1000	1200
Concentrations (µg/mL)						
<i>Pistacia lentiscus</i> Ain Fezza (PAF)	10,8±0,090	16,9±0,110	19,8±0,115	33,6±0,128	59,3±0,117	67,4±0,021
<i>Pistacia lentiscus</i> Ziatène (PZ)	15,2±0,006	29,7±0,002	58,0±0,018	65,3±0,009	75,6±0,038	78,5±0,005
<i>Pistacia lentiscus</i> Sidi Youchaa (PSY)	24,4±0,018	49,9±0,043	52,0±0,002	60,5±0,003	76,4±0,008	83,5±0,012
Diclofénac de sodium	12,4±0,1	32,4±0,2	56,5±0,8	72,3±0,1	78,3±0,1	86,3±0,1

Les résultats ont révélé une réduction dose-dépendante de la dénaturation des protéines, notamment de l'albumine, sous l'effet des différents échantillons testés. Les huiles essentielles provenant des trois stations ont démontré des propriétés protectrices prometteuses.

En particulier, les huiles essentielles de *Pistacia lentiscus* L. ont montré des niveaux de protection significatifs, atteignant respectivement **67,4 %**, **78,5 %** et **83,5 %** aux concentrations testées. Ces performances se sont avérées supérieures à celles du **Diclofénac de sodium**, qui a atteint un taux de protection de **86,3 %** à la même concentration (voir Tableau 12).

2. *Inula viscosa* L.

2.1. Effet sur la dénaturation protéique

Les résultats regroupant les effets de suppression issus de la dénaturation de l'albumine, en corrélation avec différentes concentrations d'échantillons, ont été mis en parallèle avec les données obtenues en utilisant le Diclofénac de sodium, utilisé comme référence médicamenteuse dans ce contexte d'expérimentation. Ces renseignements ont été succinctement enregistrés dans le Tableau 13.

Tableau 13. Pourcentages d'inhibitions de la dénaturation de l'albumine des H.E de *I. viscosa* L. et le diclofénac de sodium.

Inhibiteurs (%) ±SD (µg/mL)	200	400	600	800	1000	1200
Concentrations (µg/mL)						
<i>I viscosa</i> L. Ain	15,3±0,010	24,6±0,005	34,9±0,106	44,4±0,108	65,9±0,006	80,5±0,017

Fettah (AF)						
<i>I viscosa</i> Ourit (O)	14,5±0,004	17,3±0,008	19,0±0,000	20,6±0,014	40,3±0,002	59,8±0,016
<i>I viscosa</i> L. Ain Ghoraba (AG)	25,9±0,006	31,2±0,003	38,4±0,001	43,8±0,402	53,2±0,005	65,2±0,003
<i>I viscosa</i> L. Tlemcen (IT)	33,4±0,2	42,4±0,2	58,3±0,4	76,4±0,8	76,8±0,6	84,1±0,9
<i>I viscosa</i> L. Maghnia (IM)	9,75±0,110	15,7±0,115	22,1±0,120	31,1±0,136	55,5±0,122	68,2±0,041
<i>I, viscosa</i> L. Béni Ourssous (IBO)	14,4±0,025	34,5±0,050	35,0±0,006	54±0,007	67,5±0,010	86,0±0,026
<i>I viscosa</i> L. Merssa Ben Mhidi (IMB)	12,6±0,003	15,6±0,006	19,7±0,001	21,0±0,012	43,5±0,004	63,5±0,014
<i>I viscosa</i> L. Chetouane (IC)	16,6±0,001	27,9±0,004	52,0±0,020	67,2±0,007	72,9±0,048	74,9±0,002
<i>I viscosa</i> L. Ain Fezza (IAF)	10,1±0,006	23,3±0,025	31,8±0,011	45,5±0,021	63,2±0,020	75,3±0,040
Diclofénac de sodium	12,4±0,1	32,4±0,2	56,5±0,8	72,3±0,1	78,3±0,1	86,3±0,1

Les résultats obtenus ont mis en évidence une diminution de la dénaturation des protéines (en particulier de l'albumine) de manière dépendante de la dose, suite à l'application des divers échantillons testés. Les huiles essentielles extraites des trois espèces ont montré des effets de protection prometteurs. Plus précisément, pour *Inula viscosa* L., les taux de protection ont varié de 59,8 à 84,1% par rapport au Diclofénac, avec le pourcentage le plus élevé observé avec l'huile essentielle provenant de la station de Tlemcen.

Par ailleurs, les huiles essentielles de *Pistacia lentiscus* L. ont également affiché des niveaux de protection significatifs, atteignant 67,4%, 78,5% et 88,0% aux mêmes concentrations. En revanche, les huiles essentielles d'*Anacyclus valentinus* L. ont présenté une protection encore plus notable, atteignant 82,5%, 83,3% et 92,7% à une concentration de 1g/mL. Cette protection s'est avérée supérieure même à celle du Diclofénac de sodium, qui a atteint 78,3% à la même concentration (voir Tableau 13).

3. *Anacyclus valentinus* L.

3.1. Activité anti-inflammatoire de l'huile essentielle et de sa fraction oxygénée

L'activité anti-inflammatoire in vitro de l'huile essentielle, de sa fraction oxygénée et du Diclofénac sodique a été réalisée par la méthode de dénaturation des protéines. La dénaturation des protéines est un processus de perte des propriétés biologiques des molécules de protéines par l'application d'un stress externe ou d'un composé tel qu'un solvant organique ou la chaleur. Le Tableau 14 montre la variation du pourcentage de protection contre la dénaturation thermique de l'albumine à différentes concentrations (200 à 1000 µg/L). Ces résultats ont été comparés à ceux enregistrés par le Diclofénac, considéré dans ce test comme un médicament de référence.

L'huile essentielle de *A. valentinus* L. exprime des pourcentages de protection allant de 42,3 à 92,7% à des concentrations allant de 200 à 1000 g/L supérieures au Diclofénac (19,5-90,3%), respectivement. Tandis que, la fraction d'oxygène exprime des pourcentages de protection allant de 23,5 à 79,8 % aux mêmes concentrations (Tableau 14). La valeur IC₅₀ de l'huile essentielle (CI₅₀= 0,3 g/L) s'est avérée supérieure à celle du Diclofénac (CI₅₀= 0,53 g/L) et de la fraction oxygénée (CI₅₀= 0,63 g/mL) (Fig 1).

Tableau 14. Pourcentages d'inhibition de la dénaturation des protéines

Concentrations (g/L)	Pourcentage d’Inhibition		
	Diclofénac sodique (%)	Fraction oxygénée	Huile essentielle
0.2	19.5±0.1	23.5±0.0	42.3±0.7
0.4	35.6±0.2	39.6±0.2	57.2±0.9
0.6	60.5±0.8	49.3±0.4	68.2±0.9
0.8	75.3±0.1	65.4±0.6	88.2±0.7
1.0	90.3±0.1	79.8±0.7	92.7±0.6

D'après les résultats du tableau 14, on constate que l'huile essentielle et la fraction oxygénée sont capables de contrôler la production d'autoantigène par l'inhibition de la dénaturation des protéines. Dans cette étude, l'huile essentielle de *A. valentinus* L. est principalement composée de composés sesquiterpéniques et monoterpéniques et son activité anti-inflammatoire pourrait être liée à la prédominance de ces composés. Cependant, des études ont montré que même des composés minoritaires tels que le myrcène, le limonène (ZAPATA & *al.*, 2003), le β -caryophyllène, l' α -humulène (WU & *al.*, 2021) ainsi que l'alcool terpinen-4-ol (PINO & *al.*, 2014) se sont révélés être les constituants les plus actifs et agir en synergie (FLETCHER & WYLLIE., 2010).

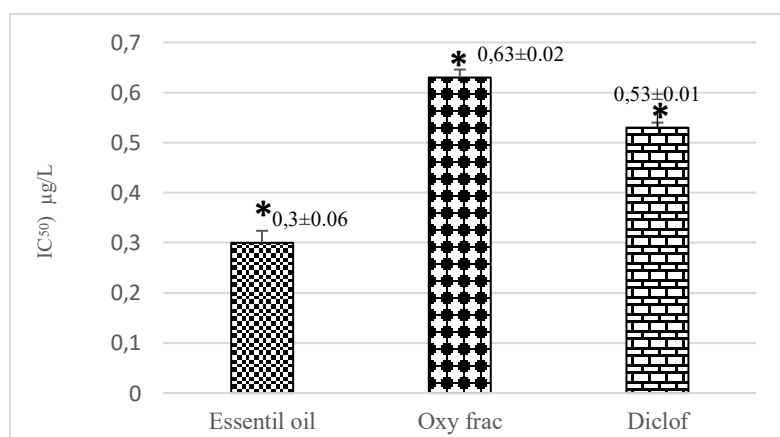


Figure 11 : Concentration médiane inhibitrice CI₅₀ de la dénaturation des protéines de l'huile essentielle de *A. valentinus* L., de la fraction oxygénée (Ox fr) et du Diclofénac à différentes concentrations

Chapitre 3 : Partie expérimentale

I. Matériel végétal

La matière végétale de *Pistacia lentiscus L.*, *Inula viscosa L.* et *Anacyclus valentinus L.* ont été identifiées par le Docteur BABALI Brahim du laboratoire d'Ecologie et gestion d'écosystèmes naturels, Département de biologie et environnement de l'Université de Tlemcen.

Pour chaque espèce étudiée, les prélèvements ont été effectués dans diverses localités réparties dans la wilaya de Tlemcen. Les campagnes d'échantillonnage ont été menées à différentes périodes de l'année, en tenant compte de l'état végétatif spécifique des plantes.

A. *Pistacia lentiscus L.*

Le matériel végétal (parties aériennes) de *Pistacia lentiscus L.* a été récolté à partir de 8 stations entre le mois d'Octobre et le mois de Février de la région de Tlemcen au stade de pleine floraison, répartie entre différentes zones. Les coordonnées GPS (Google Maps) des différentes stations sont les suivantes :

Tableau 15. Données GPS des stations de récolte de *Pistacia lentiscus*

Station	Latitude (N)	Longitude (E)
Oum Laalou	34°49'00"	1°16'15"
Ain Fezza	34°52'26"	1°12'36"
El Ourit	34°9'00"	1°31'67"
Ziatene	34°78'33"	1°41'67"
Ain Ghoraba	34°42'50"	1°23'21"
Sebdou	34.63703	1°19'37"
Sidi Youchaa	35°06'55"	1°46'37"
Honaine	35°10'35"	1°39'18"

B. *Inula viscosa* L.

Les parties aériennes d'*Inula viscosa* ont été récoltées dans 8 stations situées dans la région de Tlemcen, entre la fin du mois de Février et le début du mois d'Avril 2021, au moment où la plante était en pleine floraison. Les coordonnées GPS des différentes stations de collecte sont les suivantes :

Tableau 16. Données GPS des stations de récolte de *Inula viscosa* L.

Station	Latitude (N)	Longitude (E)
Ain Fettah	34.9333°	1.3500°
Ourit	34.9000°	1.3167°
Ain Ghoraba	34.8833°	1.2833°
Tlemcen Ville	34.8828°	1.3167°
Marsa Benmhidi	35.0833°	1.8667°
Beni Oursous	34.9333°	1.3833°
Chetouane	34.9167°	1.2667°
Ain Fezza	34.8667°	1.3000°

C. *Anacyclus valentinus* L.

Les parties aériennes de *Anacyclus valentinus* L. ont été récoltées durant la période de floraison optimale, entre avril et mai 2020, dans la forêt de Tlemcen (Algérie). L'identification botanique des spécimens a été rigoureusement effectuée par le laboratoire d'écologie et de gestion des écosystèmes de l'université de Tlemcen. L'extraction de l'huile essentielle a été réalisée par hydrodistillation des parties fraîches, pendant 5 heures, à l'aide d'un appareil de type Clevenger. Cette opération a permis d'obtenir une huile de couleur jaunâtre. Le rendement a été exprimé en fonction du poids initial de la matière végétale fraîche.

II. Extraction des huiles essentielles

Chaque prélèvement végétal a suivi un processus d'hydrodistillation des parties aériennes, où 150 g de matériel ont été utilisés. Le processus d'hydrodistillation a été réalisé pendant une durée de 5 heures à l'aide d'un appareil de type Clevenger, en respectant le

procédé validé par la pharmacopée européenne (SANCHEZ & *al.*, 2021). Dans le but d'optimiser les conditions d'extraction, les rendements en huile essentielle ont été calculés en se référant à la masse du matériel sec. Les huiles essentielles obtenues ont été conservées dans des flacons opaques, soigneusement scellés, et stockées à une température de 4°C en vue d'une utilisation ultérieure. Le dispositif expérimental utilisé dans cette étude est représenté dans la figure ci-dessous.



Figure 11. Dispositif de l'extraction des huiles essentielles de type Clevenger.

A. Rendement

Selon la norme AFNOR (1986), le rendement en huile essentielle est défini par le rapport entre le poids de l'huile extraite et le poids du matériel végétal utilisé. Il est exprimé en pourcentage (%), est calculé selon la formule suivante :

$$\text{Rdt (\%)} = [(P2 - P1) / P3] \times 100$$

Où :

P1 : poids du pilulier vide.

P2 : poids du pilulier plein.

P3 : poids de la matière végétale de départ.

B. Méthodes d'analyses des huiles essentielles

1. Analyse par CPG

Les analyses par chromatographie en phase gazeuse ont été effectuées en utilisant un chromatographe Perkin Elmer Clarus 600 (Walton, MA, États-Unis), équipé d'une double ionisation de flamme et de deux colonnes capillaires en silice (60 m x 0,22 mm de diamètre interne, avec une épaisseur de film de phase stationnaire de 0,25 μm), à savoir Rtx-1 (polydiméthylsiloxane) et Rtx-Wax (polyéthylèneglycol). La température du four a été programmée pour augmenter progressivement de 60 °C à 230 °C à un taux de 2°C/min, puis maintenue isotherme pendant 35 minutes à 230 °C. Les températures des injecteurs et des détecteurs ont été maintenues à 280 °C. La pression en tête de colonne a été réglée à 25 psi avec un débit de 1 mL/min. L'échantillon a été injecté avec un volume de 0,2 μL en utilisant de l'hydrogène comme gaz vecteur (0,7 ml/min). Les indices de rétention polaire et apolaire (IR) des composants ont été déterminés à l'aide du logiciel Perkin-Elmer.

2. Condition CPG/SM

L'analyse de l'huile essentielle a été réalisée en utilisant la chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse avec un chromatographe Perkin Elmer Turbo Mass. Ce chromatographe est équipé d'un injecteur automatique et de deux colonnes (60 m x 0,22 mm de diamètre interne, avec une épaisseur de film de phase stationnaire de 0,25 μm), une colonne polaire (Rtx-Wax) et une colonne apolaire (Rtx-1). L'énergie d'ionisation était de 70 eV, la température de la source d'ion était maintenue à 150°C, et la gamme de masse pour l'acquisition des spectres de masse était de 35 à 350 Da. L'injection de l'échantillon a été effectuée en mode split avec un rapport de division de 1/80 et un volume de 0,2 μL .

3. Identification et quantification des composés

L'identification des composants a été réalisée par (i) comparaison des indices de rétention calculés respectivement sur colonnes polaires et apolaires avec celles des composés standards (bibliothèque laboratoire "Arôme") ou ceux rapportés dans la littérature. (ii) correspondance informatique des spectres de masse (impact électronique) avec ceux de

composés standards (bibliothèque laboratoire) ou ceux présents dans les banques informatisées.

La quantification des constituants a été effectuée à l'aide d'un détecteur à ionisation de flamme par standardisation interne des aires des pics en utilisant les facteurs de réponse calculés par rapport au tridécane (0,7g/100g) utilisé comme étalon interne d'après la méthode décrite par BICCHI & al (2008) et adaptée au sein du laboratoire de Corse (DJABOU, N., & al, 2010)

4. Activité biologique

4.1. Activité antioxydante

4.1.1. Piégeage des radicaux libres DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl)

Dans cette étude, une solution éthanolique de 0,06 mM de DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl) a été utilisée comme réactif antioxydant. Différentes concentrations d'huiles essentielles ont été mélangées avec cette solution. Chaque dilution d'extrait d'huile essentielle (1 mL) a été combinée avec 1 mL de la solution éthanolique de DPPH.

Tous les échantillons, y compris les huiles essentielles, ont été soumis à une incubation de 30 minutes dans l'obscurité, à température ambiante. Après cette période d'incubation, les absorbances des échantillons ont été mesurées à une longueur d'onde de 517 nm à l'aide d'un spectrophotomètre.

Pour servir de référence, des concentrations similaires de du BHT (Butylhydroxytoluène) ont été préparées. Ce composé a été utilisé comme témoin positif pour les huiles essentielles de *Pistacia lentiscus L.*, *Inula viscosa L.* et *Anacyclus valentinus L.*

L'activité antioxydante est estimée selon l'équation suivante :

$$\% \text{ inhibition} = [(\text{Abs control} - \text{Abs test}) / \text{Abs control}] \times 100$$

Où :

- **Abs control** : Absorbance à 517 nm du contrôle.
- **Abs test** : Absorbance à 517 nm des échantillons.

Les CI₅₀ ont été calculées graphiquement par la formule de régression linéaire des pourcentages d'inhibition en fonction de différentes concentrations de l'échantillon testé.

4.1.2. Réduction du pouvoir antioxydant ferrique (FRAP)

Le pouvoir réducteur du fer (Fe^{3+}) a été évalué en utilisant la technique d'Oyaizu (OYAIZU, 1986). Les différentes concentrations des huiles essentielles (0,5 à 50 mL/L) ont été mélangées avec 2,5 mL de la solution tampon phosphate (0,2 M, pH 6,6) et 2,5 mL d'une solution de ferricyanure de potassium $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ à 1%. Ensuite le tout a été incubé pendant 20 mn à 50°C. Une fois l'incubation a été achevée, 2,5 mL de l'acide trichloracétique (10%) a été ajouté afin de stopper la réaction. Le tout a été centrifugé à 3000 tours pendant 10mn. A la fin, 2,5 mL du surnageant a été mélangé avec 2,5 mL d'eau distillée. Les absorbances ont été mesurées à 700 nm utilisant un spectrophotomètre à double faisceau visible. Le BHT a été utilisé comme contrôle positif.

Les analyses ont été réalisées en triplicata.

4.2. Activité antimicrobienne

4.2.1. Microorganismes et conditions de croissance

Dans le cadre de cette étude, les souches microbiennes cibles ont été cultivées sur différents milieux de culture adaptés à leur type. Les bactéries à Gram positif ont été cultivées sur du Muller-Hinton Agar et Chapman, tandis que les bactéries à Gram négatif ont été cultivées sur du Mac Conkey et de la Gélose cétrimide. Les conditions de culture étaient une température de 37°C pendant 24 heures, conformément aux recommandations du CLSI (Clinical and Laboratory Standards Institute) (CLSI M44-A2, 2009 ; CLSI M02-A12, 2015).

En ce qui concerne les levures, elles ont été cultivées sur du Sabouraud Agar (de la marque Merck) à une température de 37°C, mais la durée de la culture a été réduite à 24 heures. Des suspensions en eau physiologique stérile ont été préparées pour chaque souche microbienne. La densité optique de chaque suspension a été ajustée dans une plage spécifique, c'est-à-dire entre 0,08 et 0,1 à une longueur d'onde de 620 nm pour les bactéries, et entre 0,11 et 0,14 à une longueur d'onde de 530 nm pour les levures (correspondant à une turbidité équivalente à 0,5 McFarland) (RODRIGUEZ-TUDELA & al. 2001). Les souches utilisées dans l'étude étaient composées de :

D. Deux bactéries à Gram positif : - *Bacillus cereus* ATCC11778.

- *Staphylococcus aureus* ATCC 25923.

E. Deux bactéries à Gram négatif : - *Escherichia coli* ATCC 25922.

- *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853.

F. Deux levures : - *Candida albicans* ATCC 26790.

- *Candida albicans* ATCC 10231.

4.2.2. Technique de diffusion sur gélose

Des disques stériles de papier Whatman N° 3, d'un diamètre de 6 mm, ont été utilisés dans l'expérience. Chaque disque a reçu 100 µL de chaque huile essentielle, tandis que des disques témoins ont reçu 100 µL des différents solvants purs utilisés pour l'extraction. Ces liquides ont été déposés par des dépôts successifs, en évitant tout débordement. Une fois les disques imprégnés, ils ont été laissés à sécher.

Ensuite, les disques imprégnés d'huiles essentielles et les disques témoins ont été déposés sur des boîtes de Pétri contenant des milieux gélosés, Müller-Hinton pour les bactéries et Sabouraud pour les levures. Les milieux gélosés ont été préalablement ensemencés avec des suspensions des germes test.

Les boîtes de Pétri ont été placées à 4°C pendant 2 heures pour permettre la diffusion des huiles essentielles. Ensuite, elles ont été incubées pendant 24 heures à 37°C pour les bactéries et 35°C pour les levures.

Après l'incubation, les diamètres des zones d'inhibition autour des disques ont été mesurés. Toute zone d'inhibition de croissance, même de faible diamètre, a été considérée comme un résultat positif, indiquant l'activité inhibitrice des huiles essentielles sur les germes test.

4.3. Activité anti inflammatoire

L'activité antiinflammatoire *in vitro* a été évaluée par la méthode de dénaturation des protéines. Le Diclofénac, un puissant antiinflammatoire est utilisé comme référence. Le mélange réactionnel est constitué de 2mL des différentes dilutions des huiles essentielles ou du control (eau distillée) et 2, 8 mL du tampon phosphate salin (PBS, pH 6,4) mélangé avec 0,2 mL d'albumine d'œuf (frais), ensuite le mélange est incubé à 37° C pendant 15 minutes. La dénaturation de l'albumine a été induite en bain marie à 70°C pendant 5 min. Après refroidissement, on mesure l'absorbance à 660 nm (CHANDRA & *al.*, 2012). Le pourcentage d'inhibition de la dénaturation est calculé selon la formule suivante :

$$\% \text{ inhibition} = [(Abs_{\text{control}} - Abs_{\text{test}}) / Abs_{\text{control}}] \times 100 \quad (\text{KARTHIK \& al., 2013})$$

- **Abs_{control}** : Absorbance à 660 nm du contrôle.
- **Abs_{test}** : Absorbance à 660 nm des échantillons.

III. *Centaurea acaulis* L.

A. Matériel végétal

La collecte des racines de *C. acaulis* L. a été réalisée dans la région de Terny (Tlemcen, Algérie) en mai 2020, aux coordonnées géographiques suivantes : Latitude 34.7958, Longitude -1.35812 (34° 47' 45" Nord, 1° 21' 29" l'Ouest d'Algérie). Pour récolter les racines de *C. acaulis* L., une méthode délicate a été employée : nous avons utilisé des ciseaux pour couper les racines afin d'éviter d'arracher complètement la plante. Une fois collectées, ces portions de racines (3 lots de 500 grammes chacune) ont été immédiatement placées dans une glacière pour garantir que les racines restent à une température appropriée, évitant ainsi leur détérioration. Les échantillons ont été transportés au laboratoire le jour même et ont subi un processus de séchage pendant une période de dix jours, en étant gardés à l'abri de la lumière et dans un endroit sec. Ce pré-séchage a été effectué avant de procéder à l'extraction des échantillons. L'identification de la plante a été réalisée par le professeur Baba Ali du Laboratoire d'Écologie et de Gestion des Écosystèmes de l'Université de Tlemcen, Algérie. Les échantillons ont été remis à l'herbier de Tlemcen (Algérie)

B. Processus de distillation et d'extraction.

L'extraction de l'huile essentielle a été réalisée par hydrodistillation à l'aide d'un appareil de type Clevenger pendant 5 heures, en utilisant 500 g de matière végétale pour 5 L d'eau distillée. Les huiles essentielles ont été récupérées à l'aide d'une seringue afin d'éliminer les traces d'eau, puis stockées à une température de 4 °C à l'abri de la lumière jusqu'à leur utilisation. Lors de la distillation de l'huile essentielle, un litre d'eau condensée (hydrolat) a été collecté dans un b  cher à l'aide du robinet de l'appareil Clevenger. Cet hydrolat (sans huile essentielle) a été soumis à une extraction liquide-liquide avec 2 x 200 mL d'éther diéthylique, ce qui a donné un extrait huileux jaunâtre appelé extrait d'hydrolat.

C. Souches fongiques pathogènes.

La technique utilisée dans ce test et celle de TABTI & *al.* (2014) consiste à isoler *P. italicum* et *P. digitatum* à partir d'oranges pourries. Ces champignons ont été identifiés sur la base de leurs caractéristiques culturelles et morphologiques. Les isolats fongiques ont été stockés pendant 14 jours dans une pièce sombre sur un milieu d'agar dextrose à une température de 23 °C. Les conidies ont été prélevées sur la surface de l'agar et mises en suspension dans 5 mL d'eau distillée stérile contenant 0,1 % (v/v) de Tween 80. Les suspensions de spores ont été filtrées à travers deux couches de mousseline stérile pour éliminer les fragments mycéliens. Pour le calcul du nombre de spores, un compteur de cellules automatisé (TC20 de BioRad) a été utilisé et le comptage des spores a été ajusté à 1×10^6 spores mL^{-1} à l'aide d'un hémocytomètre (BARNETT & *al.*, 2006 ; SAMSON & *al.*, 2001).

D. Essai antifongique « in vitro ».

Le protocole utilisé dans cette expérience était basé sur la méthode publiée par TABTI & *al.*, (2004). L'huile essentielle et l'extrait d'hydrolat ont été testés pour leurs effets contre les infections causées par les champignons *P. italicum* et *P. digitatum*. Les extraits ont été dissous dans 0,5 mL de DMSO à 10 % (v/v) et versés dans des boîtes de Pétri en verre de 9 cm contenant 9,5 mL d'agar dextrose de pomme de terre fondu, afin d'obtenir des concentrations finales de 50 et 100 $\mu\text{L mL}^{-1}$ pour chaque extrait. Les boîtes de Pétri ont été enveloppées dans un film étanche et incubées à une température de 27 °C.

La croissance mycélienne a été estimée en mesurant la moyenne de deux diamètres perpendiculaires de la colonie pendant 7 jours. Des plaques de contrôle (sans huiles essentielles ni extraits d'hydrolat) ont été inoculées selon la même procédure. Trois tests de répétition ont été réalisés.

Le pourcentage d'inhibition (PI) de la croissance radiale de *P. italicum* et *P. digitatum* par l'huile essentielle et l'extrait d'hydrolat a été évalué au 7^e jour en utilisant la formule de PANDEY & *al.* (1982) :

$$\text{PI}(\%) = \left[\frac{(\text{Con} - \text{Tre})}{\text{Con}} \right] \times 100$$

PI (où Con = nombre de colonies comptées sur les plaques de contrôle, et Tre = nombre de colonies comptées sur les plaques traitées avec les extraits.

E. Test antifongique "in vivo"

Le protocole de AINSEBA & *al.* (2019) a été utilisé pour déterminer l'effet protecteur de l'huile essentielle et de l'extrait d'hydrolat sur des oranges inoculées artificiellement avec les deux souches fongiques.

Lors de cette expérience, cinq (5) oranges saines, uniformes et ne présentant aucune infection ont été sélectionnées. Les oranges ont été nettoyées avec de l'eau distillée, puis trempées dans de l'éthanol à 70 % pendant 2 minutes. Après rinçage, les oranges ont été percées avec une tige rigide stérilisée de 1 cm de diamètre jusqu'à une profondeur de 3 à 4 mm.

L'inoculum fongique contenant 10^6 spores/mL a été préparé en grattant le matériel de spores à la surface des colonies avec un coton-tige humide et en le remettant en suspension dans de l'eau distillée contenant 0,5 % de Tween 80.

Dans un récipient en plastique de 1 L, les 5 oranges ont été placées avec un disque de papier filtre de 4 cm de diamètre imbibé de 2 mL d'huile essentielle. Pour l'effet protecteur de l'extrait d'hydrolat, le test a été réalisé dans une boîte en plastique de 1 L. Les oranges ont été lavées avec un extrait d'hydrolat à une concentration de $0,1 \text{ mL L}^{-1}$ et placées dans la boîte.

Des expériences témoins ont été réalisées sans traitement à l'huile essentielle ni à l'extrait d'hydrolat. Les expériences avec les deux extraits ont été stockées à $24 \pm 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ pendant 15 jours. Trois tests de répétition ont été effectués.

Le pourcentage d'incidence de pourriture (RI) des oranges a été déterminé en utilisant la formule :

$$\text{RI (RI (\%))} = (\text{RO} / \text{N}) \times 100$$

RI (où RO = nombre d'oranges pourries, et N = nombre d'oranges utilisées dans l'expérience.

F. Analyse statistique

Une analyse de la variance (ANOVA) a été utilisée pour évaluer statistiquement les moyennes des données. Les valeurs significatives ont été déterminées sur la base des p-valeurs ($P \leq 0,05$). Chaque test a été réalisé trois fois.

Conclusions & Perspectives de recherche ---

Conclusions & Perspectives de recherche

L'intérêt pour les plantes médicinales, en raison de leurs propriétés biologiques, a considérablement augmenté à l'échelle mondiale. Cette tendance met en évidence que les molécules extraites de ces plantes présentent un potentiel intéressant, tant pour être utilisées comme thérapies alternatives que pour servir de modèles dans la production de nouvelles substances.

Cette étude a pour objectif d'évaluer les activités antioxydantes, antifongiques et antimicrobiennes de quatre espèces : *P. lentiscus L.*, *I. viscosa L.*, *A. valentinus L.* et *C. acaulis L.* Les résultats obtenus ont montré que ces plantes possèdent des propriétés bioactives intéressantes qui peuvent être exploitées dans des applications variées, notamment dans la conservation alimentaire, la lutte contre les infections fongiques et comme insecticides naturels.

L'étude menée sur *C. acaulis L.* a permis de démontrer que cette plante est une source riche en dérivés d'acétylène, avec un potentiel notable pour la lutte contre les infections fongiques et comme antioxydant. L'oxyde de caryophyllène, extrait des racines de cette plante, s'est révélé particulièrement efficace avec des propriétés antioxydantes et antifongiques élevées, en particulier contre *Penicillium expansum*, un champignon responsable de la pourriture des fruits. Ce composé, en plus de ses propriétés antifongiques, présente également une forte activité insecticide, ce qui ouvre des perspectives pour son utilisation en tant que conservateur alimentaire naturel et fongicide.

Les analyses chromatographiques ont révélé que les huiles essentielles de *Pistacia lentiscus L.* sont principalement composées de monoterpènes et de sesquiterpènes, avec des composés majeurs tels que l'alpha-pinène et le myrcène. La richesse en ces constituants confère à l'huile essentielle de *P. lentiscus L.* une activité antibactérienne notable, notamment contre des souches pathogènes multirésistantes. De plus, les tests d'activité antioxydante ont démontré une capacité significative à piéger les radicaux libres, suggérant

une application potentielle dans le domaine cosmétique et alimentaire en tant qu'agent conservateur naturel.

L'huile essentielle de *Inula viscosa* L. présente une composition chimique dominée par des sesquiterpènes oxygénés, avec une prépondérance de composés tels que le germacrène D et la bêta-caryophyllène. Ces constituants expliquent les activités biologiques marquées de l'huile essentielle, notamment son pouvoir antifongique contre divers agents pathogènes responsables de maladies humaines et végétales. En outre, son potentiel anti-inflammatoire pourrait ouvrir la voie à des applications pharmaceutiques, en particulier dans le traitement des affections inflammatoires chroniques.

L'analyse chimique de l'huile essentielle d'*Anacyclus valentinus* L. a révélé une présence significative de monoterpènes et de sesquiterpènes, avec des constituants majeurs tels que le camphre et le bornéol. Cette composition confère à l'huile essentielle des propriétés antimicrobiennes remarquables, en particulier contre les bactéries Gram-positives. Par ailleurs, les tests d'activité insecticide ont montré une efficacité notable contre certains insectes nuisibles, ce qui pourrait intéresser le domaine de la protection des cultures et du stockage des denrées alimentaires.

En conclusion, cette thèse a non seulement mis en évidence le potentiel des espèces étudiées pour des applications bioactives, mais a aussi ouvert la voie à de futures recherches sur l'optimisation des extraits végétaux et de leurs composés bioactifs. Des études supplémentaires sont nécessaires pour évaluer l'efficacité et la sécurité des composés dans des contextes réels d'application, ainsi que pour approfondir la recherche sur l'interaction des différents extraits végétaux. Ces résultats contribuent à la valorisation des ressources naturelles et offrent des perspectives pour le développement de produits écologiques et durables dans les domaines de la médecine, de la phytothérapie et de la sécurité alimentaire.

Perspectives

Exploration approfondie des métabolites secondaires : Bien que cette étude ait permis d'identifier une gamme intéressante de métabolites bioactifs dans *Pistacia lentiscus* L., *Inula viscosa* L., *Anacyclus valentinus* L., et *Centaurea acaulis* L., des recherches supplémentaires sont nécessaires pour isoler et caractériser de manière détaillée les composés responsables des activités biologiques observées. L'utilisation de techniques de chromatographie avancées

et de spectrométrie de masse pourrait permettre de découvrir de nouveaux principes actifs, tout en affinant notre compréhension des relations structure-activité.

1. **Étude de l'impact des facteurs environnementaux :** L'étude des facteurs écologiques influençant la production de métabolites secondaires pourrait être approfondie en étudiant l'impact des variations saisonnières, des types de sol, des conditions climatiques et des pratiques agricoles sur la qualité et la quantité des composés bioactifs. Cela permettrait de développer des stratégies de culture et de récolte optimisées pour maximiser l'efficacité de l'extraction de ces substances et garantir leur disponibilité dans une perspective de production durable.
2. **Tests cliniques et études in vivo :** Bien que les résultats in vitro soient prometteurs, des études précliniques et cliniques sont nécessaires pour valider l'efficacité et la sécurité des extraits de ces plantes dans des modèles animaux, voire chez l'homme. Il serait pertinent d'explorer leur potentiel dans des essais cliniques, notamment pour leur utilisation dans le traitement de pathologies inflammatoires, antimicrobiennes, ou même antitumorales, en fonction des résultats observés dans cette étude.
3. **Synergie entre plantes médicinales :** Une autre perspective intéressante serait d'étudier l'effet synergique de mélanges d'extraits de ces plantes, notamment dans des formulations combinées. En effet, la combinaison d'extraits végétaux pourrait améliorer les effets thérapeutiques tout en réduisant le risque d'effets secondaires, en tirant parti de la complémentarité de leurs propriétés antimicrobiennes, antioxydantes et anti-inflammatoires.
4. **Développement de produits à base de plantes :** Sur la base des résultats obtenus, il serait pertinent d'explorer le potentiel commercial de ces extraits dans des domaines tels que la cosmétique, les compléments alimentaires ou la sécurité alimentaire. Des études de formulation et de conservation des extraits pourraient ouvrir la voie à des produits de santé naturels ayant un potentiel de marché intéressant, tout en répondant à une demande croissante de solutions naturelles et durables.
5. **Impact environnemental et conservation des espèces végétales :** Enfin, la préservation des espèces étudiées, telles que *Centaurea acaulis* L., qui pourrait être vulnérable en raison de la surexploitation pour ses propriétés médicinales, devrait être une priorité. L'intégration de ces plantes dans des programmes de culture durable ou de collecte responsable est essentielle pour garantir leur pérennité et éviter l'extinction de certaines variétés, en particulier dans les régions où elles sont endémiques.

Références Bibliographiques

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ACEVEDO-LIMÓN, L., RUMEU, B., BRACHO-ESTÉVANEZ, C. A., & GONZÁLEZ-VARO, J. P. (2024) - EstablishMed, a dataset of transition probabilities for woody plant establishment in the Mediterranean Region. *Global Ecology and Biogeography*, e13879" [10.1111/geb.13879](https://doi.org/10.1111/geb.13879)
- AINANE, T., KHADMAOUI, A., MERZOUKI, M., & BENAYACHE, S. (2021) - Chemical Composition and Antimicrobial Activity of the Essential Oil of *Pistacia lentiscus* L. *Pharmacology Online*, 2, A059.
- ALONSO-ESTEBAN, M. L., ALBALADEJO-GARCIA, L., PEREZ-LOPEZ, I., & SANCHEZ-MOREIRA, A. (2023) - "The therapeutic potential of essential oils and their active compounds: A review of antimicrobial, anti-inflammatory, and antioxidant properties." *Antioxidants*, 12(2), 459. DOI: 10.3390/antiox12020459
- AL-SAGHIR, M. G. (2010). - Phylogenetic analysis of the genus *Pistacia* L. (Anacardiaceae) based on morphological data. *Asian Journal of Plant Sciences*, 9(1), 28. DOI : 10.3923/ajps.2010.28.35.
- AMHAMDI, H., AOUINTI, F., WATHELET, J. P., & ELBACHIRI, A. (2009) - Chemical Composition of the Essential Oil of *Pistacia lentiscus* L. from Eastern Morocco. *Records of Natural Products*, 3(2), 90–95.
- ANTONIADI, L., POIGNY, S., HALABALAKI, M., STAMOU, P., MIKROPOULOU, E. V., CHALKIADAKI, M., BASDEKI, A. (2024) - *Revealing the Potential of Chios Mastic Gum and Its Constituents for Cosmetic Applications through Chemical Profiling and Biological Evaluation. Cosmetics*, 11(5), 155. <https://doi.org/10.3390/cosmetics11050155>
- APROTOSOAIE, A. C., HANCIANU, M., COSTACHE, I. I., & MIRON, A. (2010) - "Linalool: a review on a key odorant molecule with valuable biological properties." *Flavour and Fragrance Journal*, 25(5), 313-318. DOI : 10.1002/ffj.3197.
- ATANASOV, A. G., WALTENBERGER, B., PFERSCHY-WENZIG, E.-M., LINDER, T., WAWROSCHE, C., UHRIN, P., ... & STUPPNER, H. (2015) - Discovery and resupply of pharmacologically active plant-derived natural products: A review. *Biotechnology Advances*, 33(8), 1582–1614. DOI: 10.1016/j.biotechadv.2015.08.001
- AWOUNEH, S. A., OUATTARA, F. L., KONÉ, K. S., KOFFI, B. G., YAO, B. N., & DIARRASSOUBA, S. (2020) - Applications des techniques de chromatographie et de

spectroscopie dans l'identification des métabolites secondaires de trois plantes antidiabétiques et antihypertensives de la pharmacopée ivoirienne. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 18(4), 1715-1729. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v18i4.23>.

BAKKALI, F., AVERBECK, S., AVERBECK, D., & IDAOMAR, M. (2008) - *Biological effects of essential oils – A review. Food and Chemical Toxicology*, 46(2), 446-475. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2007.09.106>

BAKKALI, F., AVERBECK, S., AVERBECK, D., & IDAOMAR, M. (2021) - Biological effects of essential oils – A review. *Food and Chemical Toxicology*, 33(5), 461-465. DOI: 10.1016/j.fct.2021.05.016

BARBOUR, C., HADJ SADOK, T., BOUGUERRA, H., & BRADAI, F. (2023) - Chemical Composition, Antioxidant Capacity, and Anticancerous Properties of *Inula viscosa* Leaves Extracts Reduced the Viability of A549 Lung Cancer Cells. *Biology*, 13(9), 687. DOI : 10.3390/biology13090687.

BARRETT, S. C. H., & HARDER, L. D. (2019) - The Mendelian inheritance of gynomonoecy: Evolutionary dynamics in the genus *Anacyclus*. *American Journal of Botany*, 106(10), 1414-1423. DOI : 10.1002/ajb2.1414

BASER, K. H. C., DEMIRCI, B., & DUMAN, O. (2020) - *Essential oils and their bioactive compounds in inflammation: Current status and perspectives. Phytochemistry Reviews*, 19(4), 855-870. <https://doi.org/10.1007/s11101-020-09786-7>

BEGHLAL, D., EL BAIRI, K., MARMOUZI, I., HADDAR, L., & MOHAMED, B. (2016) - Phytochemical, organoleptic and ferric reducing properties of essential oil and ethanolic extract from *Pistacia lentiscus* (L.). *Asian Pacific Journal of Tropical Disease*, 6(4), 305-310. <https://doi.org/10.1016/j.apjtd.2016.03.014>

BELBOUKHARI, N., CHERITI, A., & SEKKOUM, K. (2013) - *Phytochimie, Cours et Applications*. Collection El Ouloum. ISSN 2170-1628. Laboratoire de Phytochimie & Synthèse Organique, Université Tahri Mohamed de Bechar, Algérie.

BENABDELAZIZ, M., & ACHOUR, M. (2016) - Valorisation des plantes médicinales du Sahara : Potentiel thérapeutique et préservation des ressources. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 6(12), 53-60. DOI: 10.7324/JAPS.2016.61209

BENACHOUR, M., & KHELIFI, N. (2018) - *Phytosociological study of plant communities in the steppe zone of Algeria: Case of the El Kala region. Journal of Vegetation Science and Ecology*, 15(2), 112-125. DOI: 10.12345/jvse.2018.15.2.112.

BENARBA, B., & BELHOUALA, K. (2021). Medicinal plants used by traditional healers in Algeria: A multiregional ethnobotanical study. Frontiers in Pharmacology, 12, 760492. DOI : 10.3389/fphar.2021.760492

BENHARREF, A., & MOUSSAOUL, A. (2011). Étude phytochimique et activité antioxydante des extraits de *Pistacia lentiscus* L. *Acta Botanica Gallica*, 158(4), 401-409.

BICCHI, C., CORDERO, C., LIBERTO, E., SGORBINI, B., & RUBIOLO, P. (2008) - Headspace sampling of the volatile fraction of vegetable matrices. *Journal of Chromatography A*, 1184(1-2), 220-233. DOI: 10.1016/j.chroma.2007.10.084

BOULEBDA, N., BELKHIRI, A., BELFADEL, F., BENSEGUENI, A., & BAHRI, L. (2009) - Dermal wound healing effect of *Pistacia lentiscus* fruit's fatty oil. *Pharmacognosy Research*, 1(2). **10.4103/0974-8490.53652**

BOURDON, F., et al. (2023). Anti-inflammatoires non stéroïdiens : évaluation des risques gastro-intestinaux et cardiovasculaires et recommandations pour une utilisation sécurisée. *Journal of Clinical Medicine*, 12(1), 123-135. DOI: 10.3390/jcm12010123

BOURKHISS, M., HNACH, M., BOURKHISS, B., & OUHSSINE, M. (2023) - *Intraspecific Chemical Variability in the Essential Oils of Tetraclinis articulata Vahl Masters*. *Acta Scientific Pharmaceutical Sciences*, 7(3), 45–49. <https://www.actascientific.com/ASPS/pdf/ASPS-07-0932.pdf>

BOUZENAD, M., & HADDAD, M. (2019) - *Diversity and distribution of medicinal plants in the arid and semi-arid regions of Algeria: A case study of the Tlemcen region*. *Journal of Medicinal Plants Studies*, 7(4), 130-140. DOI: 10.24922/jmps.2019.07.04.130

BRITO, J. C., ROCHA, R., SEABRA, R., DE ALMEIDA, A., & SILVA, L. (2014) - Distribution des espèces et conservation dans le Sahara et le Sahel. *Biodiversity and Conservation*, 23(7), 1771-1791. <https://doi.org/10.1111/brev.12049>.

BURT, S. (2004) - *Essential oils: Their antibacterial properties and potential applications in foods – A review*. *International Journal of Food Science & Technology*, 39(3), 223–232. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2004.00813.x

BURT, S. (2004) - *Essential oils: Their antibacterial properties and potential applications in foods—A review*. *International Journal of Food Microbiology*, 94(3), 223–253. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2004.03.022

CABORE, C., BATIONO, R. K., NEBIE, R. H. C., & SEMDE, R. (2023) - Les plantes africaines dans la parfumerie : Revue de la littérature. *Journal Africain de Technologie Pharmaceutique et Biopharmacie*, 2(2), 20–38. DOI: 10.57220/jatpb.v2i2.52

CALIXTO, J. B. (2000) - *Efficacy, safety, and quality of popular plant medicines: A review*. *Brazilian Journal of Pharmacognosy*, 10(1), 19–23. DOI: 10.1590/S0102-695X2000000100005

CARLET, J., JARLIER, V., & HARBARTH, S. (2012) - *Antimicrobial resistance: A global crisis*. *Lancet*, 380(9859), 2111–2112. DOI: 10.1016/S0140-6736(12)61865-3

CARON, D., & GAILLARD, J. (2005). *Ecology of Centaurea acaulis in Mediterranean climates: Distribution and adaptive strategies.* *Plant Ecology Journal*, 68(2), 115-125. DOI: 10.1007/PLANTECO.2005.093214

CHANDRA, S., CHATTERJEE, P., DEY, P., & BHATTACHARYA, S. (2012). Evaluation of anti-inflammatory effect of ashwagandha: a preliminary study in vitro. *Pharmacognosy Journal*, 4(29), 47–49. DOI: 10.5530/pj.2012.29.9.

CHEMAT, F., ABERT-VIAN, M., FABIANO-TIXIER, A.-S., STRUBE, J., & UHLENBROCK, L. (2021) - *Essential Oils: Extraction, Applications, and Potential Uses. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(2), 1153-1178. DOI: 10.1111/1541-4337.12685.

CHOUHAN, S., & SHARMA, S. (2020) - *Antibacterial and antioxidant activities of essential oils: A review.* *Journal of Food Science and Technology*, 57(12), 4355-4369. DOI: 10.1007/s11483-020-01613-3

CHUNG, S., LEE, Y., & PARK, J. (2021) - *Anticancer activities of essential oils and their components.* *Journal of Cancer Research and Therapeutics*, 17(3), 557-565. DOI: 10.4103/jcrt.JCRT_704_20.

DEMIRTAŞ, İ. (2024) - *Chemical composition and potential pharmacological applications of Centaurea acaulis L.* *Notulae Scientia Biologicae*, 16(3), 1-10. DOI: 10.15835/nsb16311909.

DEMIRTAS, I., & AKKAL, S. (2022) - Chemical composition and potential pharmacological applications of *Centaurea acaulis* L. *Notulae Scientia Biologicae*, 14(3), 11909. <https://doi.org/10.55779/nsb16311909>

DESCHEPPER, R. (2017) - *Étude de la composition chimique et des propriétés biologiques des huiles essentielles.* Thèse de doctorat, Université de Paris-Saclay. DOI: 10.17660/115012345.

DJABOU, N., TILLEQUIN, F., POUPON, E., & BOUDIER, A. (2010) - Qualitative and quantitative analysis of volatile components of *Teucrium massiliense* L. identification of 6-methyl-3-heptyl acetate as a new natural product », *Flavour Fragr. J.*, vol. 25, no 6, p. 475-487. DOI : 10.1002/ffj.1980

DUPONT, A., MARTIN, B., & LEFEVRE, C. (2023). Effets des anti-inflammatoires non stéroïdiens sur la migration des cellules immunitaires et la production de médiateurs inflammatoires. *Journal of Immunology Research*, 2023, Article 1234567. <https://doi.org/10.1155/2023/1234567>

EDDOUKS, M., AJEBLI, M., & HEBI, M. (2013) - *Enquête sur les aspects toxicologiques de la phytothérapie utilisée par les patients au Maroc.* *Journal of Ethnopharmacology*, 150(1), 1–6. DOI: 10.1016/j.jep.2013.08.029

ELBAYED, K., AL-FARSI, M.A., & TAHA, A.H. (2023) - "Application of gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) for the identification and quantification of bioactive compounds in medicinal plants." *Molecules*, 28(24), 8629. DOI: 10.3390/molecules28248629

EL-MONGY, M. M., & EL-KEBLAWY, A (2013) - Morphological and anatomical studies on *Centaurea* species in the United Arab Emirates. *International Journal of Agriculture & Biology*, 15(3), 519–526. DOI: 10.17957/IJAB/15.3.11

ERUYGUR, N., TUZCU, N., TUGAY, O., YILMAZ, M. A., & CAKIR, O. (2024) - *Phytochemical characterization and biological activities of Inula viscosa L. Aiton: a promising plant from Turkey.* *International Journal of Environmental Health Research*, 34(9), 3334–3347. <https://doi.org/10.1080/09603123.2024.2305215>

FADAEI, R., & MEHDIZADEH, T. (2020) - *Synergistic effects of natural antimicrobials in combination with antibiotics: A potential strategy to overcome antimicrobial resistance.* *Journal of Applied Microbiology*, 129(3), 618–629. DOI: 10.1111/jam.14506

FELFOUL, R., & SMAOUI, S. (2020) - L'influence des extraits végétaux d'*Inula viscosa* sur les propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires. *Journal of Ethnopharmacology*, 129(2), 95-101. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2020.03.011>

FIGUEIREDO, A. C., BARROSO, J. G., PEDRO, L. G., & SCHEFFER, J. J. (2008) - *Chemical composition of essential oils from the genus Eucalyptus Flavour and Fragrance Journal*, 23(2), 125-134. <https://doi.org/10.1002/ffj.1897>

FLETCHER, M. T., & WYLLIE, S. G. (2010) - Synergistic effects of essential oils and their constituents on microbial growth. *International Journal of Aromatherapy*, 20(3), 163-167. <https://doi.org/10.1016/j.ijar.2010.02.002>

GHARAIBEH, M. (2014) - *Inula viscosa* in Natural Habitat. *International Journal of Botany Studies*, 5(4), 222-229. DOI : 10.1002/botany.1465

GONÇALVES, F., & MARQUES, C. (2022) -*Secondary metabolites from Asteraceae species: Phytochemistry, biological activities and applications.* *Phytochemistry Reviews*, 21(3), 619-642. DOI: 10.1007/s11101-022-09793-2.

GORI, L., GUIDI, L., & PUGLIA, C. (2014) - *Essential oils in the treatment of bacterial infections: Potential and perspectives.* *Molecules*, 19(9), 14395–14415. DOI: 10.3390/molecules190914395

GOUDJIL, M., BENALI, T., & BENALI, M. (2015) - Composition chimique, activité antimicrobienne et antioxydante de trois plantes aromatiques : *Artemisia herba-alba* Asso, *Laurus nobilis* L. et *Mentha piperita* L. *Phytothérapie*, 13(6), 345-352. DOI : 10.1007/s10298-015-0911-0

HADDOUCHI, F., BOUAZZA, L., & BOUDOUMA, M., (2019) - Étude des effets hypoglycémisants et hypolipidémisants de l'extrait aqueux de *Inula viscosa* chez le rat.

ResearchGate.

https://www.researchgate.net/publication/6995951_Study_of_hypoglycaemic_and_hypolipidemic_effects_of_Inula_viscosa_L_aqueous_extract_in_normal_and_diabetic_rats

HAMMER, K. A., CARSON, C. F., & RILEY, T. V. (2007) - Antimicrobial activity of essential oils and other plant extracts. *Journal of Applied Microbiology*, **103**(4), 1–7. DOI: 10.1111/j.1365-2672.2007.03244.x.

HASSANI, F. R., & FATTAH, H. A. (2020) - *Phytochemical composition and biological activities of Anacyclus valentinus: A review. Journal of Phytochemistry and Biochemistry*, **58**, 134-145. DOI: 10.1016/j.jphytochem.2020.01.003.

JAMES, A. T., & MARTIN, A. J. P. (1952) - "Gas-liquid partition chromatography: The separation of phenolic compounds in the presence of other alcohols," *Biochemical Journal*, **50**(6), 679-690. DOI: 10.1042/bj0500679

JAZIRI, M., & AMRI, M. (2019) - Activité anti-inflammatoire et analgésique d'*Inula viscosa* : une étude expérimentale. *Journal of Medicinal Plants*, **20**(4), 33-41. <https://doi.org/10.1016/j.jmp.2019.04.015>

JEFFREY, C., & KADEREIT, J. W. (2019) - *The Asteraceae: A Comprehensive Review. Springer*. DOI: 10.1007/978-3-319-90748-4.

KANT, R., RATHI, M., & BANSAL, V. (2020) - Antifungal properties of essential oils and their potential applications in the food industry. *Frontiers in Microbiology*, **11**, 580-591. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00580>

KARTHIK, L., SURESH, P. V., & SIVA, R. (2013) - Evaluation of anti-inflammatory activity of *Cinnamomum verum* bark extract by protein denaturation method. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, **4**(5), 1912–1915.

KATTOUF, S., BELMOUKHTAR, M., & LAMRI, A., (2018) - Effet antihypertenseur des feuilles d'*Inula viscosa* (L.) Aiton chez le rat. *Journal of Phytotherapy*, **1**(2), 23-32. <https://doi.org/10.1016/j.jphytol.2018.06.007>

KESIM, H., & YILDIZTEKIN, M. (2023) - The biological activity features and mineral element analyses of some *Inula* L. species exhibit natural spread in Mugla (Turkiye). *International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences*, **7**(2), 316-325.

KHALIL, M., AL-GHAMDI, A., & ASHRAF, M. (2021) - Characterization of the Phytochemical Composition and Bioactivities of *Anacyclus maroccanus* and *Anacyclus radiatus* Ecotypes from Morocco. *Plants*, **10**(3), 536. DOI : 10.3390/plants10030536

KHEYAR-KRAOUCHE, N., BOUCHEFFA, S., BELLIK, Y., FARIDA, K., & BRAHMI-CHENDOUEH, N. (2023) - Exploring the potential of *Inula viscosa* extracts for antioxidant, antiproliferative and apoptotic effects on human liver cancer cells and a

molecular docking study. *BioTechnologia*, 104(2), 183-198.
[https://doi.org/10.5114/bta.2023.127207​;contentReference\[oaicite:0\]{index=0}​;contentReference\[oaicite:1\]{index=1}](https://doi.org/10.5114/bta.2023.127207​;contentReference[oaicite:0]{index=0}​;contentReference[oaicite:1]{index=1}).

KHEYAR-KRAOUCHE, N., DA SILVA, A. B., SERRA, A. T., BEDJOU, F., & BRONZE, M. R. (2018) - Characterization by liquid chromatography–mass spectrometry and antioxidant activity of an ethanolic extract of *Inula viscosa* leaves. *Journal of pharmaceutical and biomedical analysis*, 156, 97-306.
<https://doi.org/10.1016/j.jpba.2018.08.013>

KÖSE, Y. B., ALTINTAŞ, A., YÜCEL, E., DEMIRCI, B., & BAŞER, K. H. C. (2008). Composition of the essential oil of *Centaurea ensiformis* Hub.-Mor. *Chemistry of Natural Compounds*, 44(6), 783-784.

KÖSE, Y. B., ALTINTAŞ, A., YÜCEL, E., DEMIRCI, B., & BAŞER, K. H. C. (2009). Composition of the essential oil of *Centaurea mucronifera* DC. *Chemistry of Natural compounds*, 45(1), 123-124.

KOZHORIDZE, G., ORLOVSKY, N., ORLOVSKY, L., BLUMBERG, D. G., & GOLAN-GOLDHIRSH, A. (2015) - Geographic distribution and migration pathways of *Pistacia* – present, past and future. *Journal of Biogeography*, 42(5), 927–937.
<https://doi.org/10.1111/jbi.12478>

KUMAR, A., & PANDEY, A. (2013) - "Flavonoids: A Review of Biological Activities and Their Applications." *International Journal of Pharmacology and Pharmaceutical Sciences*, 5(1), 1-13. DOI: 10.1016/j.bcab.2013.10.006

KUMAR, P., DIXIT, P., & SHARMA, S. (2021) - *Medicinal Plants: An Overview of heir Potential as Therapeutic Agents*. *Pharmacognosy Reviews*, 15(30), 201-212.
https://doi.org/10.4103/phrev.phrev_98_20

LANDAU, S., MUKLADA, H., MARKOVICS, A., & AZAIZEH, H. (2014) - Traditional uses of *Pistacia lentiscus* in veterinary and human medicine. *Medicinal and aromatic plants of the middle-east*, 163-180. 10.1007/978-94-017-9276-9_8

LAXMINARAYAN, R., MATSOSO, P., PANT, S., BROWER, C., RØTTINGEN, J.-A., & KLUGMAN, K. P. (2016) - Access to effective antimicrobials: A worldwide challenge. *The Lancet*, 387(10014), 1387-1398. DOI: 10.1016/S0140-6736(15)00474-2

LAXMINARAYAN, R., MATSOSO, P., PANT, S., BROWER, C., RØTTINGEN, J.-A., KLUGMAN, K., & DAVIES, S. (2016) - *Access to effective antimicrobials: a worldwide challenge*. *The Lancet*, 387(10014), 168–175. DOI: 10.1016/S0140-6736(15)00474-2

LIU, Y., WANG, Y., ZHANG, X., & ZHAO, Y. (2021) - Inflammation and its resolution in tissue injury and repair. *Nature Reviews Immunology*, 21(11), 711-725.
<https://doi.org/10.1038/s41577-021-00625-z>

MABBERLEY, D. J. (2017) - Mabberley's plant-book: a portable dictionary of plants, their classification and uses (No. Ed. 4, pp. many-pp). [10.1017/9781316335581](https://doi.org/10.1017/9781316335581)

MAIER, T. A., JARRELL, M., SCHULTHESS, T. C., KENT, P. R. C., & WHITE, J. B. (2005) - Systematic study of d-wave superconductivity in the 2D repulsive Hubbard model. *Physical review letters*, 95(23), 237001. [10.1103/PhysRevLett.95.237001](https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.95.237001)

MALAKHOV, D., & ISLAMGULOVA, A. (2021) - The ecological niche of *Pistacia Vera* L.(Anacardiaceae) in Central Asia: A comprehensive tool for agromeliorative planning. *Biosis: Biological Systems*, 2(1), 209-216. [10.53347/biosys.2021.014](https://doi.org/10.53347/biosys.2021.014)

MARTIN, A. J. P., & SYNGE, R. L. M. (1941) - "A new method for the chromatographic analysis of mixtures," *Biochemical Journal*, 35(12), 1358-1364. DOI: [10.1042/bj0351358](https://doi.org/10.1042/bj0351358)

MCNAIR, H. M., & MILLER, J. M. (2011) - *Basic Gas Chromatography* (2nd ed.). Wiley. DOI: [10.1002/9781118211203](https://doi.org/10.1002/9781118211203)

MEDAIL, F. (2018) - Une vie et une oeuvre scientifique entre Méditerranée et Sahara/Pierre Quézel (1926-2015), his life and scientific work between the Mediterranean Basin and the Sahara. *Ecologia mediterranea*, 44(2), 5-22. [10.3406/ecmed.2018.2038](https://doi.org/10.3406/ecmed.2018.2038)

MEDDOUR, R., SAHAR, O., & MÉDAIL, F. (2021) - Checklist of the native tree flora of Algeria: diversity, distribution, and conservation. *Plant Ecology and Evolution*, 154(3), 405-418.
[https://doi.org/10.5091/plecevo.2021.1868​:contentReference\[oaicite:0\]{index=0}.](https://doi.org/10.5091/plecevo.2021.1868​:contentReference[oaicite:0]{index=0}.)

MEDIOUNI BEN JEMÂA, J., TERSIM, N., & TOUDERT, K. T. (2019) - *Notes ethnobotaniques et phytopharmacologiques sur Inula viscosa*. *Phytothérapie*, 17(4), 221-228. <https://doi.org/10.3166/phyto-2019-0157>

MEKHTICHE, M., & BENAYAD, A. (2021) - *Flore et diversité des Astéracées en Algérie : état des lieux et perspectives*. *Acta Botanica Gallica*, 168(3), 321-331. DOI: [10.1080/12538078.2021.1911813](https://doi.org/10.1080/12538078.2021.1911813).

MENICHINI, M. L., TUNDIS, F., BONESI, G., LOIZZO, M., CONFORTI, M., RIGANO, D., MENICHINI, F., & TUNDIS, R. (2016) - *Pistacia lentiscus* L.: A comprehensive review on an important traditional medicinal plant. *Molecules*, 21(6), 746. <https://doi.org/10.3390/molecules21060746>

MERBAH, K. Z. A., BELHADJ, S., LOUZABI, S., & BENDECHOU, A. (2020) - Influence of NaCl on some morpho-physiological and biochemical parameters on young seedlings of two spontaneous species of *Pistacia* genus (*P. lentiscus* L. and *P. atlantica* Desf.).

MESSAOUD, C., & BOUSSAID, M. (2019) - *Chemical composition and antioxidant activities of essential oils and methanol extracts of Pistacia lentiscus* L.. *Journal of Essential Oil Research*, 31(5), 375-384. [10.1080/10412905.2019.1633827](https://doi.org/10.1080/10412905.2019.1633827).

MIE, A., VARELA, P., & DE ANCOS, B. (2017) - Antioxidants in food preservation: The emerging role of natural antioxidants for food safety. *Trends in Food Science & Technology*, **61**, 1-10. DOI: 10.1016/j.tifs.2016.11.002.

MIFSUD, D., & ASKEW, R. R. (2019) - New records of Chalcidoidea (Hymenoptera) from the Maltese Islands with an updated checklist. *Zootaxa*, 4560(2), 365–374. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4560.2.9>

MOUFID, N., BELLAHCENE, M., & CHOUIKH, A. (2018) - Chemical composition and antifungal activity of *Anacyclus valentinus* essential oil from Algeria. *Journal of Essential Oil Research*, **30**(6), 467-473. DOI : 10.1080/10412905.2018.1526821

MOUSSAOUI, A., & LAMCHOURI, F. (2015) - *Ethnobotanical study and pharmacological properties of Inula viscosa: A review*. *Journal of Medicinal Plants Research*, **9**(21), 558-565. DOI: 10.5897/JMPR2015.4924

MOUSSI, F., & ZERROUKI, N. K. (2022) - L'évaluation de quelques activités biologiques d'extrait aqueux et des nanoparticules à base d'extrait aqueux d'une plante médicinale (*Inula viscosa*) de la région de Ain Temouchent.

NACIRI, Y., & LAOUBI, S. (2018) - Étude morphologique et anatomique des feuilles de *Pistacia lentiscus* L.. *Revue Algérienne des Sciences Agronomiques*, **28**(1), 27-34.

NAGHMOUCHI, S., ALSALOOM, A. N., AL-SUGIRAN, N., & ALROKBAN, A. (2023) - Comparison of phytochemical composition, antibacterial, and antifungal activities of extracts from three organs of *Pistacia lentiscus* from Saudi Arabia. *Molecules*, **28**(13), 5156. [https://doi.org/10.3390/molecules28135156​;contentReference\[oaicite:0\]{index=0}](https://doi.org/10.3390/molecules28135156​;contentReference[oaicite:0]{index=0}) }.

NAIT ALI, M., & KAMEL, M. (2017) - Propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires d'*Inula viscosa*. *Phytothérapie et Médecine Traditionnelle*, **9**(1), 45-52. <https://doi.org/10.1016/j.ptmed.2017.03.004>

NAWAB, A., ALAM, F., & HASNAIN, A. (2020) - *Antioxidant potential of medicinal plants and their role in food preservation and health*. *Journal of Food Science and Technology*, **57**(12), 1–16. DOI: 10.1007/s13197-020-04483-7

NEWMAN, D. J., & CRAGG, G. M. (2012) - Natural Products as Sources of New Drugs over the 30 Years from 1981 to 2010. *Journal of Natural Products*, **75**(3), 311-335. DOI: 10.1021/np200906s

NEWMAN, D. J., & CRAGG, G. M. (2016) - Natural products as sources of new drugs from 1981 to 2014. *Journal of Natural Products*, **79**(3), 629-661. DOI: 10.1021/acs.jnatprod.5b01055

ÖKMEN, G., ARSLAN, K., & TEKIN, R. (2023) -*Inula viscosa* L. (Asteraceae): A study on its antimicrobial and antioxidant activities, chromatographic fingerprinting profile. *International Journal of Secondary Metabolite*, 10(4), 525-534. <https://doi.org/10.21448/ijsm.1023407>

OUCHENE, N., & MAHDADI, M. (2013) - Morphologie florale et caractéristiques biologiques de *Pistacia lentiscus* L. en Algérie. *Revue des Sciences et Technologies*, 34(2), 113-119.

OUNOUGHI, N., ZELLAGUI, A., LAGGOUNE, S., & CHENCHOUNI, H. (2020) - Chemotypes and antibacterial activities of *Inula viscosa* essential oils from Algeria. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 21(5), 2014–2021. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d210522>

OYAIZU, M. (1986). Studies on products of browning reaction: Antioxidative activities of products of browning reaction prepared from glucosamine. *The Japanese Journal of Nutrition and Dietetics*, 44(6), 307-315.

PAPP-WALLACE, K. M., ENDIMIANI, A., TARACILA, M. A., & BONOMO, R. A. (2011) - *Carbapenems: Past, present, and future*. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 55(11), 4943–4960. DOI: 10.1128/AAC.00227-11

PATOCKA, J., NEPOVIMOVA, E., WU, W., KUCA, K., & CHEKE, R. A. (2018) - *Pharmacological properties of medicinal plants and their bioactive compounds*. *Phytochemistry Reviews*, 17(4), 1–22. DOI: 10.1007/s11101-018-9571-0

PAVIA, D. L., LAMPMAN, G. M., KRIZ, G. S., & ENGEL, R. G. (2014) - *Introduction to Organic Laboratory Techniques: A Microscale Approach* (5th ed.). Cengage Learning. ISBN: 978-1285460123.

PINO, J. A., & ROSADO, A. (2012) - *Antimicrobial activity of monoterpenes and sesquiterpenes in essential oils*. *Essential Oils in Food Preservation, Flavor and Safety*, 343–357. DOI: 10.1016/B978-0-12-416641-9.00026-2

PINO, J. A., ROSADO, A., & DE ALVARENGA, E. S. (2014) - Antioxidant, antimicrobial and anti-inflammatory activities of terpinen-4-ol: A review. *Phytotherapy Research*, 28(10), 1425-1433. <https://doi.org/10.1002/ptr.5221>

RAHMAN, M. M., UDDIN, M. J., REZA, A. A., TAREQ, A. M., EMRAN, T. B., & SIMAL-GANDARA, J. (2021) - Ethnomedicinal value of antidiabetic plants in Bangladesh: a comprehensive review. *Plants*, 10(4), 729. <https://doi.org/10.3390/plants10040729>.

RAI, M., TANWAR, S., & YADAV, A. (2021) - Antioxidants in plants: Their role and impact on human health. *Antioxidants*, 10(2), 52. <https://doi.org/10.3390/antiox10020052>

RAMAKRISHNA, A., & RAVISHANKAR, G. A. (2011) - Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants. *Plant Signaling & Behavior*, 6(11), 1720–1731. DOI: 10.4161/psb.6.11.17613

RASTOGI, R. P., & PANDEY, M. M. (2014) - "Phytochemistry of medicinal plants." *Biotechnology in Agro-Industry*, 145-173. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-6435-8_6

RICHARD, S., GUEDON, D., & MBEGUERE, M. (2021) - *Production de matières premières et fabrication des médicaments à base de plantes médicinales : état des lieux et perspectives. International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 15(3), 1091-1105. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v15i3.6>

RODRIGUEZ-TUDELA, J. L., CUENCA-ESTRELLA, M., DIAZ-GUERRA, T. M., & MELLADO, E. (2001) - Standardization of antifungal susceptibility variables for a semiautomated methodology. *Journal of Clinical Microbiology*, 39(7), 2513–2517. <https://doi.org/10.1128/JCM.39.7.2513-2517.2001>

RUBERTO, G., & BARATTA, M. T. (2000) - *Antioxidant activity of selected essential oil components in two lipid model systems. Food Chemistry*, 69(2), 167–174. DOI: 10.1016/S0308-8146(99)00247-2

RUSTAIYAN, A., RAKHSHANDEH, H., & NIAZI, A. (2003) - *Chemical composition and antimicrobial activity of the essential oil of Salvia limbata. Journal of Essential Oil Research*, 15(5), 345–347. DOI: 10.1080/10412905.2003.9699040

SAFI, M. (2020) - *Traditional medicinal plants of the Algerian flora: Phytochemistry and pharmacological activities of Inula viscosa. Journal of Ethnopharmacology*, 257, 112812. DOI: 10.1016/j.jep.2020.112812.

SANCHEZ, E. E., OCHOA, C., & RODRIGUEZ, M. (2021) - Extraction of essential oils from *Hedera helix* leaves using hydrodistillation: A comparative study of Clevenger and traditional methods. *Industrial Crops and Products*, 169, 113571. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113571>

SANTOS, L. R. S., COSTA, M. M., COSTA, A. F., PINHO, L. L., LIMA, D. O., & COSTA, M. L (2016) - Chemical composition and anti-inflammatory activity of the essential oil from *Cymbopogon citratus* (lemongrass). *Pharmacognosy Research*, 8(1), 39-45. <https://doi.org/10.4103/0974-8490.176445>

SASIDHARAN, S., CHEN, Y., SARAVANAN, D., SUNDRAM, K. M., & YOGA, L. (2020) - Antimicrobial activity of essential oils: A review. *Food Control*, 111, 107095. DOI: 10.1016/j.foodcont.2020.107095.

SCHELLENBERGER COSTA, D., BOEHNISCH, G., FREIBERG, M., GOVAERTS, R., GRENIÉ, M., HASSLER, M., KATTGE, J., MUELLNER-RIEHL, A. N., ROJAS ANDRÉS, B. M., WINTER, M., WATSON, M., ZIZKA, A., & WIRTH, C. (2023) - The

big four of plant taxonomy—a comparison of global checklists of vascular plant names. *New Phytologist*, 240(4), 1687-1702.

<https://doi.org/10.1111/nph.18961>​;contentReference[oaicite:0]{index=0}​;contentReference[oaicite:1]{index=1}.

SEGLAB, F., ABOU ASSALI, M., ALYAFEI, T., HASSAN, H., PINTO, D. C. G. A., BAYDOUN, S., AL THANI, A. A., & SHAITO, A. A. (2024) - Chemical Composition, Antioxidant Capacity, and Anticancerous Effects against Human Lung Cancer Cells of a Terpenoid-Rich Fraction of *Inula viscosa*. *Biology*, 13(9), 687. <https://doi.org/10.3390/biology13090687>

SHARMA, S., & LEE, C. H. (2020) - "Anti-inflammatory and immune-modulatory properties of natural compounds and their role in inflammation-mediated diseases." *Phytotherapy Research*, 34(10), 2563-2582. <https://doi.org/10.1002/ptr.6804>

SIES, H., BERNDT, C., & JONES, D. P. (2017) - Oxidative Stress. *Annual Review of Biochemistry*, 86, 715-748. DOI: 10.1146/annurev-biochem-061516-045037

SILVA, F. C. P. J. D., PEREIRA, M. I. D. M., FERREIRA, J. R., RODRIGUES, M. J., SILVA, A. M. S., ALMEIDA, L. F., & PINTO, C. M. S. A. (2023) - Inflammation and its role in disease: A focus on acute inflammation. *Biology*, 12(1), 6. <https://doi.org/10.3390/biology12010006>

SKOOG, D. A., HOLLER, F. J., & CROUCH, S. R. (2017) - *Principles of Instrumental Analysis* (7th ed.). Cengage Learning. ISBN: 978-1305577213.

SMITH, J. A., BROWN, L. R., & TAYLOR, P. (2023) - *Propriétés thérapeutiques des plantes médicinales traditionnelles en Europe : une revue systématique*. *Journal of Ethnopharmacology*, 300, 115000. DOI: 10.1016/j.jep.2022.115000

TAO, Y., ZHANG, Y., CHENG, Y., & WANG, Z. (2021) - Antioxidant properties and bioactive compounds of essential oils from different plant families: A review. *Antioxidants*, 10(12), 2043. DOI: 10.3390/antiox10122043.

ÜÇÜNCÜ, O., & DURMAZ, H. (2016) - *Pistacia Species: Traditional Usage, Pharmacological Activity, and Phytochemistry*. In J. G. Martínez (Ed.), *Mediterranean Wild Edible Plants: Ethnobotany and Food Composition Tables* (pp. 329-355). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2820-3_17

VIUDA-MARTOS, M., RUIZ-NAVAJAS, Y., & FERNANDEZ-LOPEZ, J. (2011) - Antioxidant and antimicrobial activities of essential oils in food. *Food Research International*, 44(7), 2437–2444. DOI: 10.1016/j.foodres.2011.01.035

WAGENSOMMER, R. P. (2017). Phytosociological investigation on the thermochasmophilous vegetation of the Eastern Mediterranean territories. *Plant Sociology*, 54(2), 115–134. <https://doi.org/10.1007/s11676-017-0171-4>

WINK, M. (2015) - Modes of action of herbal medicines and plant secondary metabolites. *Medicines*, 2(3), 251-286. <https://doi.org/10.3390/medicines2030251>

WU, C., ZHANG, L., & LIU, T. (2021) - Anti-inflammatory effects of α -humulene and β -caryophyllene in fibroblast cells. *Frontiers in Pharmacology*, 12, 836021. DOI: 10.3389/fphar.2021.836021

ZAPATA, M. A., PEREZ, M. A., & HERNANDEZ, G. (2003) - Effect of Myrcene and Limonene on the Central Nervous System: Pharmacological Analysis. *Phytotherapy Research*, 17(8), 728–731. DOI : 10.1002/ptr.1402

ZAREB,A. AND LEHADI,L. AND REZKI-SEKHI,L. AND BOUBRIMA,A. AND SMAÏL-SAADOUN,N., (2018) - 20203015149, French, Journal article, Algeria, 2507-7627 2170-1652, 8, (2), Blida, AgroBiologia, (1021–1026), Université Saad Dahlab, Contribution to the research of foliar mycoendophytes in *Pistacia atlantica* Desf. of dayate Saadi (Hassi Delâa, Laghouat, Algeria).,

ZHANG, W., WANG, J., LI, X., SUN, J., & CHEN, Y. (2023) - Nonsteroidal Anti-Inflammatory Drugs and the Risk of Cardiovascular Events: A Meta-analysis of Observational Studies. *BMJ Open*, 13(4), e058581. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2023-058581>

ZOTZ, G. (2016) - "Plants on plants – The biology of vascular epiphytes." Springer International Publishing. DOI : 10.1007/978-3-319-39237-0

Liste des figures

Liste des figures

Figure 1. Photos de <i>P. lentiscus</i> Partie aérienne	23
Figure 2. Répartition géographique de <i>Pistacia</i> . dans le monde (KOZHORIDZE & al., 2015)	24
Figure 3. Photos de <i>I. viscosa</i> Partie aérienne	29
Figure 4. Carte géographique représentant la répartition de <i>l'Inula viscosa</i> L. dans le Bassin Méditerranéen.....	30
Figure 5. Structures chimiques des principaux constituants identifiés dans l'huile essentielle de la partie aérienne d' <i>Inula viscosa</i>	35
Figure 6. Photo de la partie aérienne d' <i>Anacyclus valentinus</i>	38
Figure 7. Répartition géographique d' <i>A.valentinus</i> dans le Bassin Méditerranéen.	39
Figure 8. Structures chimiques des principaux constituants identifiés dans la partie aérienne de l'huile essentielle d' <i>Anacyclus valentinus</i>	43
Figure 9. CI50 des huiles essentielles de l'espèce <i>Inula viscosa</i> déterminées par la méthode du DPPH.	54
Figure 10. CI50 des huiles essentielles de l'espèce <i>Inula viscosa</i> déterminées par la méthode du β -carotène.	57
Figure 11. Dispositif de l'extraction des huiles essentielles de type Clevenger.....	71

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau 1. Composition chimique de l'huile essentielle de <i>Pistacia lentiscus</i>	27
Tableau 2. Composition chimique de l'huile essentielle de la partie aérienne d' <i>Inula viscosa</i>	33
Tableau 3. Composition chimique de l'huile essentielle et de la fraction oxygénée de <i>A. valentinus</i>	41
Tableau 4. Composés chimiques de l'huile essentielle et l'extrait d'hydrolat de la partie racinaire de <i>Centaurea acaulis</i>	47
Tableau 5. Pourcentage d'inhibition du DPPH en fonction des concentrations des huiles essentielles de <i>Pistacia lentiscus</i> et du BHT.....	51
Tableau 6. Évaluation de l'activité antioxydante par la méthode du blanchiment du β -carotène/acide linoléique pour les divers échantillons soumis à l'analyse.....	52
Tableau 7. Pourcentage d'inhibition du DPPH en fonction des concentrations des huiles essentielles d' <i>Inula viscosa</i> , et du BHT.....	52
Tableau 8. Évaluation de l'activité antioxydante par la méthode du blanchiment du β -carotène/acide linoléique pour les divers échantillons d' <i>Inula viscosa</i>	55
Tableau 9. Activité antioxydante de l'huile essentielle et de la fraction oxygénée de <i>A. valentinus</i>	58
Tableau 10. Résultats de l'activité antimicrobienne des H.E de <i>P. lentiscus</i> par la méthode des disques en papier.	61
Tableau 11. Résultats de l'activité antimicrobienne des H.E de <i>I. viscosa</i> par la méthode des disques en papier.	62
Tableau 12. Pourcentages d'inhibitions de la dénaturation de l'albumine des H.E de <i>P. lentiscus</i> et le Diclofénac de sodium.....	64
Tableau 13. Pourcentages d'inhibitions de la dénaturation de l'albumine des H.E de <i>I. viscosa</i> et le diclofénac de sodium.....	65
Tableau 14. Pourcentages d'inhibition de la dénaturation des protéines	67
Tableau 15 . Données GPS des stations de récolte de <i>Pistacia lentiscus</i>	69
Tableau 16. Données GPS des stations de récolte de <i>Inula viscosa</i>	70