

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université IBN KHALDOUN -Tiaret-
Faculté de science de la nature et de la vie
Département de Biologie



Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master académique

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Biologie moléculaire et cellulaire

Présenté par :

HACHEMI Chaimaa
LATRACH Qatar Al Nada
NAIMA Kamar

Thème

**Étude phytochimique et évaluation de l'activité biologique
des extraits de menthe verte (*Mentha spicata* L.)**

Soutenu publiquement le :

Devant les membres de jury :

Président :	Dr. TADJ Abdelkader	Université de Tiaret
Examineur :	Dr. BENKHETTOU Abdelkader	Université de Tiaret
Encadrant :	Pr. BOUSSAID Mohamed	Université de Tiaret
Examineur :	Pr. TAIBI Khaled	Université de Tiaret

Année universitaire 2024 – 2025

Remerciements

Nous remercier Dieu Tout-Puissant pour ses innombrables bienfaits.

*Avec toute ma reconnaissance et ma gratitude, j'adresse mes sincères remerciements et ma gratitude à mon estimé directeur de thèse, le professeur **[Boussaid. Mohammed]**. Votre encadrement distingué, vos précieux conseils et votre soutien constant tout au long de ce parcours de recherche ont été le pilier fondamental qui nous a permis de finaliser ce mémorandum et de l'enrichir scientifiquement.*

Nous remercier sincèrement les membres du comité de discussion d'avoir accepté d'évaluer ce travail.

Nous me réjouis de bénéficier de leur précieuse expertise et de leurs commentaires constructifs, qui contribueront sans aucun doute à son développement.

Nous remercions Mm Semmar .F, ingénierie de laboratoire Biochimie.

Nous remercier également nos familles et amis pour leur soutien constant.

Enfin, nous remercions tous les responsables de la bonne conduite de l'Université Ibn Khaldoun des Sciences de la nature et la vie –Tiaret

Dédicaces

À ceux qui m'ont inculqué l'amour de la connaissance et de l'apprentissage, au pouls de mon cœur et à mon soutien dans la vie, mes chers parents... à eux je dédie les fruits de mon travail.

À ceux qui sont restés éveillés la nuit pour me souhaiter du succès, à ceux qui ont été et sont toujours la motivation première de mes ambitions. À ma chère famille, mes oncles, ma grand-mère et ma tante Nouria... chers, qui ont été mon meilleur soutien et mon aide à chaque étape... à vous tous mon amour et ma loyauté. À mes belles sœurs Fatima et Nasima... et ma petite Nour Al Huda. À ceux qui ont partagé avec moi des moments de sérieux, de fatigue et de joie, à mes compagnons de chemin... mes amies Ikram m. Fatima b... et Karima a.

À ceux qui ont illuminé mon chemin de connaissances et de sciences, à mon modèle et honorable professeur Boussaid Mohamed. Et à tous les diplômés de la promotion 2024/2025 de biologie moléculaire et cellulaire. À mes professeurs d'université et à toute personne ayant contribué de près ou de loin à ce travail.

Hachemi Chaima à .

Dédicaces

À ma chère maman, papa et famille

Aujourd'hui, alors que je célèbre ma remise de diplôme, je tiens à vous dire que cette réussite est le reflet de vos efforts inlassables et de votre soutien.

Ma mère, tu étais le cœur compatissant et la prière qui m'accompagnaient à chaque pas. Tu m'as appris la patience et la détermination, et tu as été ma source de force dans chaque moment de faiblesse. Et mon père, mon premier soutien, qui n'a ménagé aucun effort pour moi. Tu as toujours été un modèle dont je suis fier. Tes leçons de vie m'ont motivé à atteindre ce jour.

À mon frère Ghaouti et ma sœur Nora vous avez toujours été mon soutien et ma force. Votre présence dans ma vie a été la sécurité et la joie dont j'avais besoin pour accomplir ce voyage.

Cette remise de diplôme n'est pas seulement un certificat, mais l'aboutissement de chaque instant passé à mes côtés et de chaque prière que vous avez adressée à moi. Je vous aime tous du plus profond de mon cœur et je vous dédie ce succès, qui est votre grâce après Dieu.

Kamar. N

Dédicaces

C'est avec une grande fierté que je dédie ma remise de diplôme tant attendue et ma joie à ceux qui ont toujours été une source de soutien et de générosité.

À la lumière qui a illuminé mon chemin, à l'homme qui a toujours œuvré pour que nous soyons les meilleurs.

Mon cher père.

À celui qui m'est le plus cher, à celui qui prie sincèrement et qui a été mon principal soutien pour réaliser mon rêve.

Ma chère mère.

Et à ceux que Dieu a entourés de moi, à ceux qui ont attendu ce moment pour être fiers de moi comme je suis fière de leur présence.

Mes sœurs.

À mon compagnon et à la prune de mes yeux.

À celui qui a été ma force lorsque j'étais faible, mon espoir lorsque j'étais perdue et mon soutien lorsque tout le reste m'était absent.

Mon cher mari.

À ma seconde famille, qui m'a fait ressentir son amour et mon appartenance.

La famille de mon mari.

Enfin, à mes compagnons et amis de toujours, ainsi qu'à tous ceux qui ont partagé mon chemin et contribué, de près ou de loin, à l'accomplissement de ce voyage, je demande à Dieu de récompenser chacun d'eux par la meilleure récompense ici-bas et dans l'au-delà.

Katrennada

الملخص

تهدف هذه الدراسة إلى التوصيف الفيتوكيميائي للمستخلصات المائية والإيثانولية للأجزاء الهوائية من نبات (*Mentha spicata* L. النعناع السنبلي)، التي تم جمعها من منطقتين بالجزائر (تيارت والبيض)، بالإضافة إلى تقييم أنشطتها المضادة للأكسدة والمضادة للالتهابات *in vitro*. تم تحضير المستخلصات بطريقة النقع، ثم تحليلها لتحديد محتواها من المستقلبات الثانوية باستخدام تقنيات طيفية معيارية.

أظهرت النتائج وجود مستويات مرتفعة من المركبات الفينولية، خصوصاً في المستخلص الإيثانولي لرُسغ نبات البيض (61.23 ملغ مكافئ حمض الغاليك/غ من المستخلص الجاف)، يليه المستخلص المائي لرُسغ نبات تيارت (57.22 ملغ/غ). أما بالنسبة للفلافونويدات، فقد تميز المستخلص الإيثانولي لرُسغ نبات البيض بنسبة 18.05 ملغ مكافئ كويرسيتين/غ، في حين بلغت أعلى نسبة للعفصات (التانينات) في المستخلص المائي لنفس الجزء (37.19 ملغ مكافئ كاتيشين/غ).

أما النشاط المضاد للأكسدة، الذي تم تقييمه بطريقة DPPH ، فقد أظهر فعالية كبيرة في تثبيط الجذور الحرة، خاصة في المستخلصات الإيثانولية لرُسغ ($IC_{50} = 0.10 \mu g/mL$) وأوراق ($IC_{50} = 0.13 \mu g/mL$) نبات تيارت. كما أظهرت النتائج الخاصة بالنشاط المضاد للالتهاب، الذي تم تقييمه عبر اختبار تثبيط تشوه بروتين BSA، فعالية واعدة، لا سيما في مستخلص رُسغ نبات البيض الإيثانولي ($IC_{50} = 0.14 \mu g/mL$) وأوراق تيارت ($IC_{50} = 0.16 \mu g/mL$).

تؤكد هذه النتائج غنى نبات *Mentha spicata* بالمركبات الفعالة حيويًا، وتدعم إمكاناته كمصدر طبيعي لمضادات الأكسدة والعوامل المضادة للالتهاب، مما يشجع على استغلاله في المجالات الصيدلانية، التجميلية، والغذائية.

الكلمات المفتاحية: النعناع الأخضر، متعددات الفينول، الفلافونويدات، العفصات،، النشاط المضاد

للتهاب، النشاط المضاد للأكسدة، الجزائر *Mentha spicata* L.

Résumé:

La présente étude vise à caractériser phytochimiquement les extraits aqueux et éthanoliques de la partie aérienne de *Mentha spicata* L., collectée dans deux régions d'Algérie (Tiaret et El Bayadh), et à évaluer leurs activités antioxydantes et anti-inflammatoires in vitro. Les extraits ont été préparés par macération, puis analysés pour leur teneur en métabolites secondaires à l'aide de méthodes spectrophotométriques standardisées.

Les résultats ont révélé des teneurs remarquables en composés phénoliques, notamment dans l'extrait éthanolique des rameaux d'El Bayadh, avec une concentration de 61,23 mg EAG/g d'extrait sec, suivie par l'extrait aqueux des rameaux de Tiaret (57,22 mg EAG/g ES). En ce qui concerne les flavonoïdes, l'extrait éthanolique des rameaux de El Bayadh s'est distingué avec une teneur de 18,05 mg EQ/g ES, tandis que les tanins ont atteint un maximum de 37,19 mg EC/g ES dans l'extrait aqueux des rameaux de la même région.

L'évaluation de l'activité antioxydante par la méthode DPPH a montré une très forte capacité de piégeage des radicaux libres, particulièrement dans l'extrait éthanolique des rameaux de Tiaret ($IC_{50} = 0,10 \mu\text{g/mL}$) et des feuilles ($IC_{50} = 0,13 \mu\text{g/mL}$). L'activité anti-inflammatoire, évaluée par inhibition de la dénaturation des protéines (BSA), a également révélé des valeurs prometteuses, notamment pour l'extrait éthanolique des rameaux de El Bayadh ($IC_{50} = 0,14 \mu\text{g/mL}$) et celui des feuilles de Tiaret ($IC_{50} = 0,16 \mu\text{g/mL}$).

Ces résultats confirment la richesse en métabolites bioactifs de *Mentha spicata*, et soutiennent son potentiel en tant que source naturelle d'antioxydants et d'agents anti-inflammatoires, encourageant son exploitation dans les domaines pharmaceutique, cosmétique et alimentaire.

Mots-clés : *Mentha spicata* L. – Polyphénols – Flavonoïdes – Tanins – Activité antioxydante – Activité anti-inflammatoire – Algérie –.

Abstrat:

This study aimed to phytochemically characterize the aqueous and ethanolic extracts of the aerial parts of *Mentha spicata* L., collected from two regions of Algeria (Tiaret and El Bayadh), and to evaluate their in vitro antioxidant and anti-inflammatory activities. The extracts were prepared using maceration and analyzed for their secondary metabolite content using standardized spectrophotometric methods.

The results revealed high levels of phenolic compounds, particularly in the ethanolic extract of El Bayadh stems (61.23 mg GAE/g dry extract), followed by the aqueous extract of Tiaret stems (57.22 mg GAE/g DE). Regarding flavonoids, the ethanolic extract of El Bayadh stems stood out with a concentration of 18.05 mg QE/g DE, while the highest tannin content was recorded in the aqueous extract of El Bayadh stems (37.19 mg CE/g DE).

Antioxidant activity assessed by the DPPH radical scavenging method showed strong free radical inhibition, especially in the ethanolic extracts of Tiaret stems ($IC_{50} = 0.10 \mu\text{g/mL}$) and leaves ($IC_{50} = 0.13 \mu\text{g/mL}$). Anti-inflammatory activity, evaluated through inhibition of protein denaturation (BSA method), also showed promising values, notably in the ethanolic extract of El Bayadh stems ($IC_{50} = 0.14 \mu\text{g/mL}$) and Tiaret leaves ($IC_{50} = 0.16 \mu\text{g/mL}$).

These findings confirm the richness of *Mentha spicata* in bioactive secondary metabolites and support its potential as a natural source of antioxidants and anti-inflammatory agents, promoting its utilization in pharmaceutical, cosmetic, and food industries.

Keywords: *Mentha spicata* L – Polyphenols – Flavonoids – Tannins – Antioxidant activity – Anti-inflammatory activity – Algeria –.

Liste des figures

Figure 1. <i>Mentha spicata</i> L.....	4
Figure 2. Description de la menthe verte	5
Figure 3. Répartition géographique de la menthe verte.....	6
Figure 4. La <i>menthasipcata</i> L.....	15
Figure 5. MentheséchéeetMenthebroyée.....	16
Figure 6. Etapes de préparation des extraits de <i>Menthe spicata</i> L.....	17
Figure 7. Forme libre et réduit de DPPH	20
Figure 8. Teneur en polyphénols des différents extraits testés.....	23
Figure 9. Teneur en flavonoïdes des différents extraits testés.....	25
Figure 10. Teneurs en tanins des différents extraits testés	26

Liste des tableaux

Tableau 1. Taxonomie de <i>Mentha spicata</i> L.....	6
Tableau 2. Rendements des différents extraits (en pourcentage).....	22
Tableau 3. IC50 des différents extraits testés.....	27
Tableau 4. Pourcentage d'inhibition des différentes concentrations des différents Extraits.....	29

Liste des abréviations

ABS : Absorbance

Ac: absorbance du contrôle négatif (blanc).

APR : Pouvoir antiradicalaire

AQ : extrait aqueux

At : absorbance de l'extrait testé

CCM : Chromatographie sur couche mince

DPPH : 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl

EAG/Mg d'extrait : microgramme d'équivalent acide gallique par milligramme d'extrait μg

EC50: Concentration effective à 50%

ECh: Echantillon

ECT/Mg d'extrait : microgramme d'équivalent catéchine par milligramme d'extrait μg

EQ/Mg d'extrait : microgramme d'équivalent quercétine par milligramme d'extrait

Eth: éthanol

Ext : Extrait

IC50 : Concentration inhibitrice à 50%

SM: Solution Mère

Table des matières

Résumé:

Liste des abréviations

Liste des figures

Introduction.....1

Synthèse Bibliographique

1. Généralités sur le *Mentha spicata* L4.

1.1 Description botanique4

1.2 Répartition géographique5

1.3 Systématique6

1.4 Utilisation de *Mentha spicata. L*7

2 Les métabolites secondaires7

2.1 Les différentes classes de métabolites secondaires.....8

2.1.1 Les composés phénoliques8

3 Activités biologiques10

3.1 Activité antioxydante10

3.2 Activité anti-inflammatoire11

3.3 Activité anti hémolytique11

3.4 Activité anti microbienne.....12

Matériel et méthodes

1. Objectif15

2.1 Matériel végétal15

2.2 Méthodes15

2.2.1 Préparation des extraits15

2.2.2 Détermination de rendement17

2.3 Caractérisation phytochimique17

2.3.1 Dosage des polyphénols totaux18

2.3.2 Dosage des Flavonoïdes18

2.3.3 Dosage des Tanins18

2.3.4 Activité antioxydante19

2.3.5 Activité anti- inflamtoire20

Résultatset discussion.

1. Rendement en extraits 22

2. Analyse phytochimique	22
2.1 La teneur en polyphénol totaux	22
2.2 Teneur en flavonoïde	24
2.3 Teneurs en Tanins	25
3 Activité Antioxydant	27
3.1 Détermination d'IC50 inhibiteur des radicaux libre DPPH	27
3.2. Activité anti-inflamtoire	28
<i>Conclusion</i>	33
<i>Références bibliographiques</i>	35

Introduction

Introduction

La valorisation des ressources phytogénétiques constitue aujourd'hui un enjeu majeur tant sur le plan économique que sanitaire et environnemental. L'Algérie, de par son étendue géographique considérable (plus de 2,38 millions de km²) et sa diversité écologique marquée, abrite une flore exceptionnellement riche, composée de plusieurs milliers d'espèces végétales, dont un nombre significatif est endémique. En effet, le territoire algérien s'étend des zones humides du nord méditerranéen aux vastes steppes semi-arides du centre, jusqu'aux étendues sahariennes au sud, offrant ainsi une grande variété de niches écologiques propices à une biodiversité végétale exceptionnelle (Quezel & Santa, 1962). Ce contexte écologique favorise l'apparition de métabolites secondaires spécifiques, souvent responsables des propriétés biologiques et thérapeutiques des plantes médicinales.

Depuis des siècles, les populations locales ont su tirer profit de cette biodiversité en recourant aux plantes médicinales pour le traitement de divers maux. Ces savoirs traditionnels, transmis de génération en génération, forment un patrimoine immatériel précieux, aujourd'hui redécouvert à la lumière des recherches scientifiques contemporaines. Dans les pays en développement, où l'accès aux soins de santé modernes reste limité et parfois coûteux, l'usage des plantes médicinales représente une alternative accessible, économique et culturellement acceptée. Selon l'Organisation mondiale de la santé (OMS), près de 80 % de la population mondiale utilise les plantes médicinales pour satisfaire ses besoins en soins de santé primaires, particulièrement en Afrique, en Asie et en Amérique latine (OMS, 2013).

En parallèle, la médecine conventionnelle, bien que fondée sur des bases scientifiques solides, se heurte à des limites croissantes : coût élevé des traitements, apparition de résistances médicamenteuses, et effets secondaires indésirables. Ces contraintes ont contribué à l'émergence d'un regain d'intérêt pour les approches naturelles, en particulier celles issues de la pharmacopée traditionnelle. Ainsi, les plantes médicinales sont aujourd'hui l'objet d'une attention scientifique renouvelée, visant à identifier, isoler et caractériser leurs principes actifs, en vue d'un usage pharmaceutique ou nutraceutique. Ces recherches s'inscrivent dans une logique de valorisation raisonnée et durable des ressources végétales locales, tout en intégrant les standards rigoureux de la phytothérapie moderne (Benarba et *al.*, 2015).

Dans ce cadre, la famille des Lamiacées, largement représentée dans le pourtour méditerranéen, regroupe plusieurs genres aux propriétés médicinales reconnues. Le

genre *Mentha*, notamment, est utilisé en médecine traditionnelle dans de nombreuses cultures pour traiter des affections variées : troubles digestifs, douleurs inflammatoires, infections respiratoires, etc. Parmi ses représentants, *Mentha spicata* L., connue sous le nom de menthe verte, se distingue par ses usages multiples et ses richesses en composés bioactifs tels que les phénols, flavonoïdes, tanins et huiles essentielles (Brahmi et *al.*, 2017). Ces composés, appartenant aux métabolites secondaires, sont responsables des activités antioxydantes, anti-inflammatoires, antimicrobiennes et parfois anticancéreuses de la plante, selon diverses études scientifiques (Benarba et *al.*, 2015 ; Gortzi et *al.*, 2007).

Dans cette optique, le présent travail s'inscrit dans une démarche de caractérisation phytochimique et d'évaluation de l'activité biologique de *Mentha spicata*, à travers l'étude de ses extraits aqueux et éthanoliques, issus de deux régions écologiquement contrastées d'Algérie : Tiaret et El Bayadh. L'objectif est double : mettre en évidence les teneurs en composés phénoliques et flavonoïdiques, ainsi que les potentiels antioxydant et anti-inflammatoire des extraits. Ce travail contribuera ainsi à la valorisation scientifique d'une ressource phytogénétique locale et à l'enrichissement des données sur l'usage thérapeutique rationnel des plantes médicinales, en particulier dans un contexte algérien où la recherche sur les pharmacopées locales mérite d'être davantage soutenue et exploitée.

Synthèse
bibliographique

1. Généralités sur la Menthe

La menthe est une plante herbacée vivace et aromatique appartenant à la famille des Lamiaceae. Elle figure parmi les plantes médicinales les plus anciennes et les plus largement répandues à travers le monde (Prakash et al., 2016). Le genre *Mentha* comprend entre 25 et 30 espèces, cultivées principalement dans les zones tempérées d'Australie, d'Europe, d'Asie et d'Afrique du Sud (Dorman et al., 2003).

2. En Algérie, cinq espèces majeures sont recensées : *Mentharotundifolia* (L.), *Menthapulegium* (L.), *Mentha spicata* (L.), *Menthaaquatica* (L.) et *Menthalongifolia* (L.) (Quézel & Santa, 1962). Parmi elles, *Mentha spicata* L., communément appelée « naânaâ », est particulièrement prisée. Utilisée dans la cuisine traditionnelle pour parfumer le thé et aromatiser divers plats, elle est également valorisée en médecine populaire pour ses vertus thérapeutiques. Ses feuilles sont notamment utilisées pour soulager les troubles digestifs (douleurs gastriques, constipation), les crampes menstruelles, les affections biliaires et les maux de tête (Brahmi et al., 2012).



Figure 1. *Mentha spicata* L (photo original)

1.1 Description botanique

Mentha spicata L., ou menthe verte, est une plante herbacée vivace dont la hauteur varie de 30 à 100 cm. Elle se caractérise par des tiges quadrangulaires, glabres ou légèrement pubescentes, et par des rhizomes souterrains assurant une propagation végétative rapide.

Les feuilles, opposées, simples, lancéolées à elliptiques, mesurent entre 5 et 9 cm de long et 1,5 à 3 cm de large. Elles présentent des marges dentelées et un limbe vert vif, souvent aromatique au froissement. Les fleurs, petites (2,5–3 mm), de couleur blanche à rosée, sont regroupées en épis terminaux. Chaque fleur est bisexuée, avec un calice tubulaire ou campanulé à cinq dents, et une corolle à quatre lobes presque égaux. L'ensemble protège quatre étamines de même taille (Snoussi et al., 2015 ; Gaur, 1999).

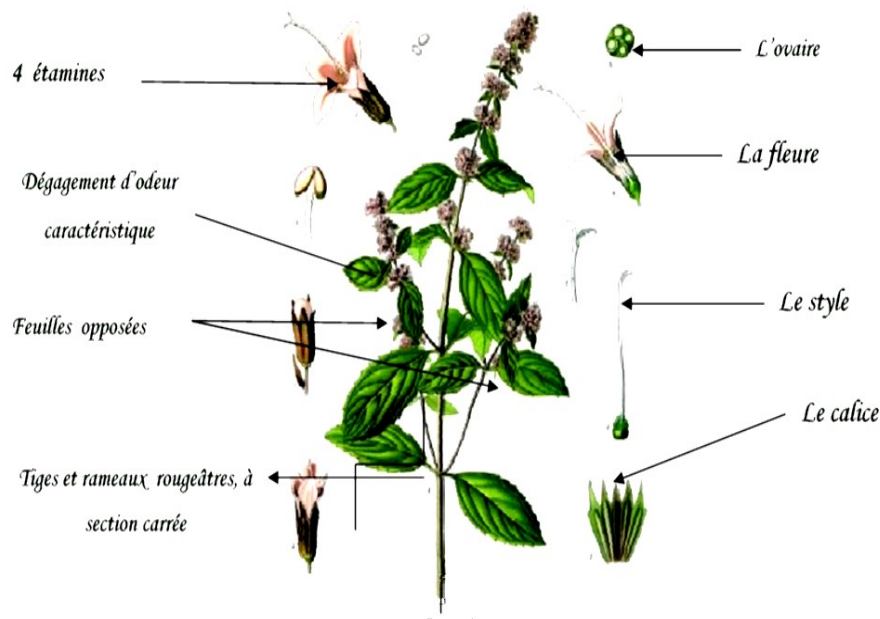


Figure 2. Morphologie de la Menthe

1.2. Répartition géographique et écologie

Les espèces du genre *Mentha* sont souvent qualifiées de plantes envahissantes en raison de leur capacité de croissance rapide et de leur propagation végétative incontrôlée. Elles prospèrent dans des habitats humides et frais, préférant les sols riches et bien drainés, situés dans des zones partiellement ombragées ou exposées à une lumière directe (Abbaszadeh et al., 2009).

La période de floraison de *Mentha spicata* s'étend généralement de juillet à septembre, pouvant se prolonger jusqu'en octobre selon les conditions climatiques locales.

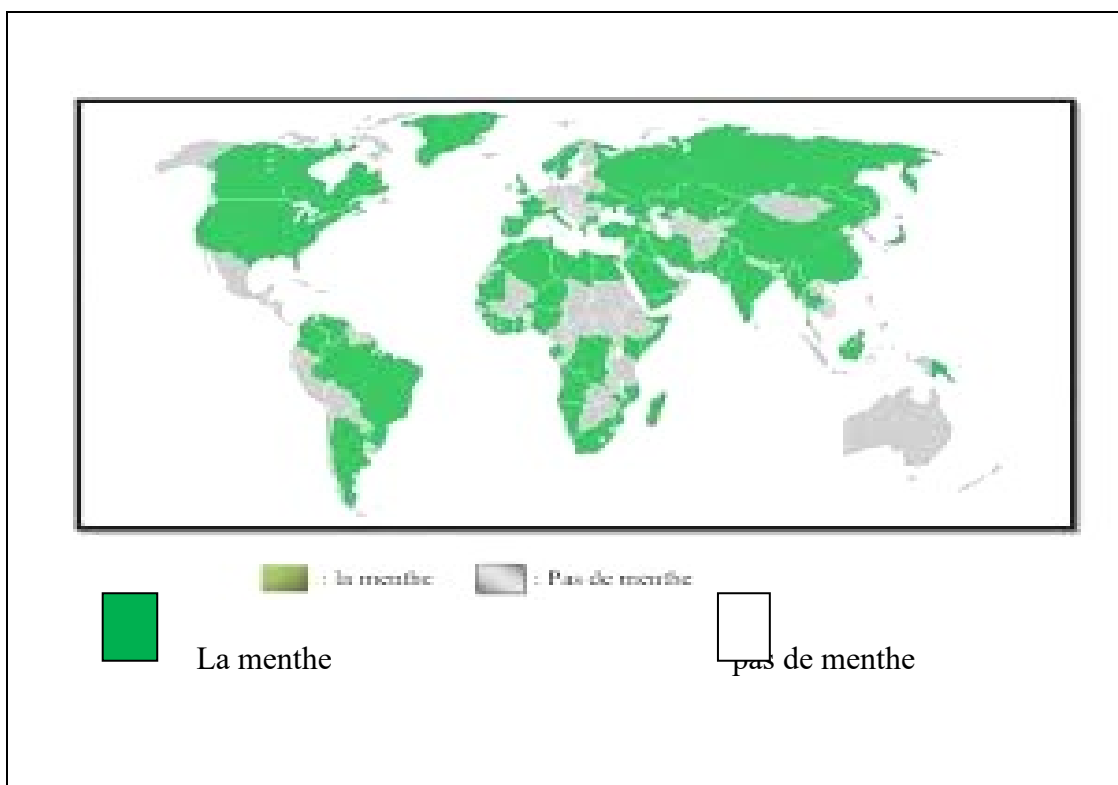


Figure 3. Répartition de la Menthe dans le monde (2007).

1.3 Taxonomie

Selon Landsdown (2014) et Moon *et al.* (2009), *Mentha spicata* L. est classée de la façon suivante (Tableau 1):

Tableau 1. Taxonomie de *la Menthe spicata* L

Rang	Classification
Règne	Plantae
Sous-règne	Trachéophytes
Embranchement	Spermatophytes
Sous-embranchement	Angiospermes
Classe	Dicotylédones
Ordre	Lamiales
Famille	Lamiaceae
Sous-famille	Nepetoideae
Genre	<i>Mentha</i>
Espèce	<i>Mentha spicata</i> L.

1.4 Intérêt

1.4.1 Intérêt thérapeutique

1.4.1.1 Propriétés analgésiques

Le menthol, composant principal de l'huile essentielle de menthe poivrée, possède des effets analgésiques et anti-inflammatoires, procurant une sensation de fraîcheur et réduisant la douleur lorsqu'il est appliqué localement (Pires et Bored; 2017).

1.4.1.2 Propriétés digestives

La Menthe, notamment la menthe poivrée, est utilisée en phytothérapie pour soulager les troubles digestifs comme le SII (Peppermint oil *et al.*, 2019) et présente une activité antimicrobienne utile en santé bucco-dentaire (Antimicrobial *et al.*, 2019).

1.4.1.3 Propriétés antispasmodique

La Menthe exerce une action antispasmodique sur les muscles lisses du système digestif, aidant ainsi à soulager les crampes et les douleurs abdominales (Amani *et al.*, 2020).

1.4.1.4 Propriétés respiratoire

Le menthol procure un effet rafraîchissant qui aide à soulager la congestion nasale et les symptômes du rhume, ce qui justifie son usage dans les inhalateurs, baumes et pastilles (Houghton *et al.*, 2019).

1.4.2 Intérêt industrielle

Le Menthe est couramment utilisée dans l'industrie des cosmétiques pour la fabrication de produits tels que les parfums, les huiles, et les dentifrices. Les shampooings pour les cheveux et le visage, ainsi que les crèmes, contiennent de la Menthe qui leur confère leur parfum distinctif de Menthe. (Eberhard.2005).

2 . Les métabolites secondaires

Les métabolites secondaires sont des composés organiques produits par les plantes, mais qui ne sont pas directement impliqués dans les processus physiologiques fondamentaux comme la croissance, le développement ou la reproduction, contrairement aux métabolites primaires (Herbert, 1998 ; Judd *et al.*, 2002). Tandis que les métabolites primaires incluent les glucides, les protéines et les lipides, essentiels au métabolisme cellulaire, les métabolites secondaires ont des fonctions écologiques spécifiques. Ils interviennent notamment dans la défense contre les herbivores, la protection contre les pathogènes, l'attraction des pollinisateurs et

l'adaptation à des conditions environnementales variables (Richter, 1993 ; Guinard, 1995 ; Maksym, 2014).

Ces composés, bien que dérivés des voies métaboliques primaires, se caractérisent par une diversité chimique remarquable et une répartition inégale dans les tissus végétaux. Leur concentration dépend de l'espèce, de l'organe considéré (feuilles, racines, fruits, etc.), du stade de développement et des conditions environnementales (Mohammedi, 2013 ; Joel, 2011).

Les métabolites secondaires se répartissent en plusieurs grandes familles, dont les principales sont : les composés phénoliques, les terpénoïdes, les alcaloïdes et les saponines.

2.1. Les composés phénoliques

Les composés phénoliques constituent l'un des groupes les plus abondants et étudiés de métabolites secondaires chez les plantes. Ils sont caractérisés par la présence d'un ou plusieurs groupements hydroxyles (-OH) liés à un noyau aromatique. Ils comprennent plusieurs sous-classes, notamment les acides phénoliques, les flavonoïdes et les tanins (Zhang et al., 2019 ; Ignat et al., 2011).

Sur le plan physiologique, ces composés participent à la défense des plantes contre les stress biotiques et abiotiques, tels que les rayons UV, les agents pathogènes ou les herbivores. Chez l'homme, ils sont reconnus pour leurs propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires, antimicrobiennes, cardioprotectrices et anticancéreuses (Manach et al., 2004).

2.1.1. Les acides phénoliques

Les acides phénoliques se caractérisent par la présence d'un groupe carboxyle (-COOH) lié à un noyau phénolique. On distingue deux principales classes :

- Les dérivés de l'acide **benzoïque** (ex. : acide gallique)
- Les dérivés de l'acide **cinnamique** (ex. : acide caféique, férulique, rosmarinique)

Ces composés sont largement impliqués dans la réponse des plantes au stress oxydatif et présentent un intérêt pharmacologique majeur chez l'humain (Zhang et al., 2019).

2.1.2. Les flavonoïdes

Les flavonoïdes sont des métabolites hydrosolubles présents dans de nombreux végétaux : fruits, légumes, fleurs, feuilles et graines. Ils possèdent une structure de base C6-C3-C6 constituée de deux noyaux aromatiques reliés par une chaîne à trois

atomes de carbone. Leur biosynthèse a lieu principalement dans le réticulum endoplasmique, avant leur accumulation dans les vacuoles (Jackson, 2014).

Selon la nature de leur cycle central, les flavonoïdes sont classés en flavones, flavonols, flavan-3-ols, flavanones, isoflavones, anthocyanidines, etc. (Ignat et al., 2011 ; Ahmad et al., 2015). Ces composés ont montré des effets protecteurs contre les maladies cardiovasculaires, le vieillissement cellulaire et certaines pathologies neurodégénératives.

2.1.3. Les tanins

Les tanins sont des polyphénols hydrosolubles de masse moléculaire comprise entre 500 et 3000 Da. Ils sont capables de former des complexes avec des protéines, des polysaccharides, des alcaloïdes et des métaux, affectant ainsi la digestibilité et les interactions biochimiques (Mueller-Harvey & McAllan, 1992 ; Schofield et al., 2001).

On distingue :

- **Les tanins hydrolysables**, formés d'un noyau central (généralement un sucre) estérifié par des acides phénoliques (ex. : acide gallique).
- **Les tanins condensés** (ou proanthocyanidines), polymères de flavan-3-ols, non hydrolysables.

Ils possèdent une forte activité antioxydante, antivirale, anti-inflammatoire et antiparasitaire (Mueller-Harvey, 2001 ; Okuda & Ito, 2011).

2.2. Les terpénoïdes

Le terme "terpène" est dérivé du mot "térébenthine", substance extraite du *Pistacia terebinthus*, et a été introduit par Kekulé (Ayad, 2008). Les terpénoïdes ou isoprénoïdes sont des hydrocarbures naturels constitués d'unités d'isoprène (C_5H_8). Ils peuvent être linéaires ou cycliques, et sont classés selon le nombre d'unités isopréniques (Hellal, 2011 ; Mebarki, 2010) :

- Monoterpènes ($C_{10}H_{16}$)
- Sesquiterpènes ($C_{15}H_{24}$)
- Diterpènes ($C_{20}H_{32}$)
- Triterpènes ($C_{30}H_{40}$)
- Tétraterpènes ($C_{40}H_{64}$)

Ils sont responsables d'arômes et d'odeurs caractéristiques, et sont largement présents dans les huiles essentielles, les résines, les pigments végétaux (caroténoïdes) et les hormones végétales (Nazzaro et al., 2013). Leur rôle inclut la défense contre les pathogènes, la régulation de la croissance et l'attraction des pollinisateurs.

2.3. Les alcaloïdes

Les alcaloïdes sont des métabolites azotés d'origine principalement végétale. Ce sont des bases organiques hétérocycliques contenant au moins un atome d'azote, souvent associés à une forte activité biologique (Poisson, 2017). Ils sont produits aussi bien par les plantes que par certains champignons, bactéries ou animaux (Barbieri et al., 2017).

Ils se distinguent par leur structure chimique variée et leur puissante activité pharmacologique : analgésique (morphine), antipaludique (quinine), psychostimulante (caféine), antitumorale, etc. Certains alcaloïdes forment des sels solubles, tandis que d'autres donnent des dérivés insolubles utilisés pour les tests d'identification (Cushnie et al., 2014).

2.1.4 Les saponines

Les saponines sont des métabolites secondaires (Hartmann, 2007). Généralement connus comme des composés non volatils tensio-actifs distribués principalement dans le règne végétal (Vinckenet *al.*, 2007), elles sont également présentes dans certains animaux (Hartmann, 2007).

Le nom « saponine » est dérivé du mot latin *sapo*, qui signifie « savon ». En effet, les molécules de saponines forment une solution moussante dans l'eau. L'étude de Mayank *et al.* (2011). rapporte que les saponines existent dans les plantes sous forme biologiquement active et qu'elles sont impliquées dans la phyto-protection antimicrobienne.

En raison de leurs propriétés moussantes, les saponines trouvent de nombreuses applications dans l'industrie alimentaire et dans l'industrie cosmétique. Les applications des saponines s'étendent également à l'agriculture, notamment pour l'assainissement des sols (Chan *et al.*, 2008). ainsi qu'en tant que pesticides naturels (Chen *et al.*, 2007) .

3 Les activités biologiques

3.1 Activités antioxydante

Les radicaux libres sont des espèces chimiques instables, caractérisées par la présence d'un électron non apparié dans leur couche externe. En quête de stabilité, ces molécules hautement réactives interagissent avec d'autres composés biologiques en leur arrachant des électrons, ce qui peut entraîner des dommages structuraux et fonctionnels aux lipides, protéines et acides nucléiques (Tanguy et al., 2009).

Pour contrer ces effets délétères, l'organisme utilise des antioxydants, naturels ou synthétiques, qui neutralisent les radicaux libres en cédant un électron sans devenir eux-mêmes instables. Parmi les antioxydants d'origine naturelle, on retrouve les vitamines A, C et E, les polyphénols (tels que les flavonoïdes), ainsi que des oligo-éléments comme le zinc, le sélénium et le manganèse (Marie, 2020 ; Halliwell, 1995).

Un équilibre entre la production de radicaux libres et l'activité antioxydante est essentiel au maintien de l'homéostasie cellulaire. Lorsqu'il est rompu au profit des radicaux libres, un stress oxydatif s'installe, entraînant des altérations cellulaires et l'apparition de diverses pathologies telles que le vieillissement prématuré, les maladies cardiovasculaires, neurodégénératives, ou certains cancers (Lobo et al., 2010). L'apport exogène d'antioxydants par les plantes médicinales constitue ainsi une stratégie prometteuse pour renforcer les défenses antioxydantes de l'organisme.

3.2. Activité anti-inflammatoire

Mentha spicata est largement reconnue pour ses propriétés anti-inflammatoires, en grande partie attribuées à sa richesse en composés bioactifs tels que les flavonoïdes, acides phénoliques et terpénoïdes. Ces molécules exercent une action inhibitrice sur les médiateurs pro-inflammatoires (comme les cytokines, les prostaglandines ou les leucotriènes), réduisant ainsi l'intensité de la réponse inflammatoire (Gupta et al., 2017).

Des études expérimentales ont montré que les extraits de menthe verte inhibent l'expression de certaines enzymes clés de l'inflammation, notamment la cyclooxygénase (COX) et la lipoxygénase (LOX), ce qui se traduit par une réduction des processus inflammatoires au niveau cellulaire (Sharifi-Rad et al., 2018).

En phytothérapie, *Mentha spicata* est traditionnellement utilisée pour soulager diverses affections d'origine inflammatoire : maux de gorge, douleurs articulaires, troubles digestifs, ou encore affections respiratoires mineures (Al-Snafi, 2020).

3.3. Activité hémolytique

L'**hémolyse** est le processus de destruction des globules rouges (érythrocytes), entraînant la libération de l'hémoglobine (Hb) dans le plasma. Cette lyse peut être physiologique, lors du renouvellement naturel des érythrocytes, ou pathologique, dans le cadre d'une hémolyse excessive (hyperhémolyse), causée par des agents chimiques, des infections, ou des anomalies membranaires (Aguilar, 2007).

Ce phénomène est influencé par des facteurs extracellulaires (état du plasma, propriétés du système circulatoire) et intracellulaires (intégrité de la membrane, activité enzymatique, structure de l'hémoglobine). Il peut être évalué par spectrophotométrie, en mesurant la densité optique du surnageant après centrifugation, ou détecté visuellement par une coloration rougeâtre du plasma (Mezzou et al., 2006).

Les marqueurs biochimiques de l'hémolyse incluent :

- une augmentation de l'hémoglobine plasmatique, de la lactate déshydrogénase (LDH), des phosphates et de la créatine kinase (CK) ;
- une diminution de l'haptoglobine (qui lie l'hémoglobine libre) et de l'hémoglobine glyquée (Ali et al., 2014 ; Marchand et al., 1980).

Certains extraits végétaux, selon leur composition chimique (notamment en saponines ou en composés phénoliques), peuvent provoquer une hémolyse à des concentrations élevées. Ainsi, l'évaluation de l'activité hémolytique d'un extrait végétal constitue un indicateur de cytotoxicité potentielle, utile pour déterminer sa sécurité d'emploi.

L'objectif principal de ce travail est de réaliser une caractérisation phytochimique et une évaluation des activités biologiques (antioxydante et anti-inflammatoire) des extraits de la partie aérienne de *Mentha spicata* L., une plante médicinale largement utilisée en phytothérapie. L'étude vise également à comparer les rendements d'extraction et les propriétés biologiques des échantillons collectés dans deux régions d'Algérie : Tiaret et El Bayadh.

3.4. Activité antimicrobienne

L'activité antimicrobienne correspond à la capacité d'une substance à inhiber ou détruire des micro-organismes pathogènes, tels que les bactéries, les champignons ou certains virus, sans affecter les cellules de l'hôte (Khan et al., 2021). On distingue les agents bactéricides, qui tuent les germes, et les bactériostatiques, qui inhibent leur croissance, en agissant sur la paroi bactérienne, la synthèse protéique ou la réplication de l'ADN (Yokota, 1997). Les antibiotiques, longtemps efficaces contre les infections, perdent aujourd'hui en efficacité à cause du développement de résistances microbiennes. Cette problématique croissante encourage la recherche de nouvelles alternatives thérapeutiques. À ce titre, les extraits de plantes médicinales représentent une source prometteuse d'agents antimicrobiens naturels, en raison de leur richesse en

composés bioactifs capables de cibler divers mécanismes bactériens, de réduire le risque de résistance et de potentialiser l'action des antibiotiques.

Matériel et méthodes

1 Objectif

Cette étude a pour objectif de réaliser une caractérisation phytochimique des extraits aqueux et éthanoliques de la partie aérienne de *Mentha spicata* L., collectée sur deux sites écologiquement contrastés en Algérie, et d'en évaluer les activités biologiques in vitro, notamment les activités antioxydante et anti-inflammatoire, en vue de valoriser cette espèce comme source potentielle de composés bioactifs à intérêt thérapeutique.

2. Matériel et méthodes

2.1 Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé dans cette étude est constitué des parties aériennes (*feuilles et rameaux*) de *Mentha spicata* L. Les échantillons ont été collectés au mois de septembre 2024 dans deux localités du nord-ouest algérien : **Tiaret et El Bayadh**. Les spécimens ont été identifiés, nettoyés manuellement pour éliminer les impuretés, puis préparés pour les étapes de séchage et d'extraction.

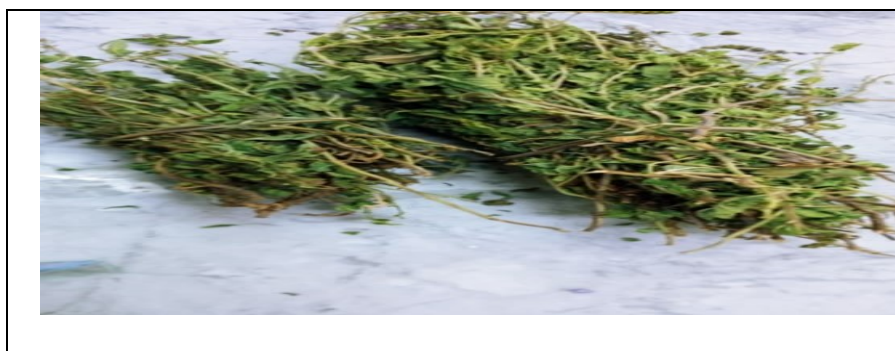


Figure 4. *Mentha sipcata* L (photo personnel)

2.2 Méthodes

2.2.1 Préparation des extraits

2.2.1.1 Séchage

Le séchage est une étape cruciale visant à éliminer l'humidité des tissus végétaux, afin de préserver les constituants bioactifs et prévenir toute dégradation enzymatique ou microbienne. Les échantillons ont été étalés sur du papier cartonné dans un espace aéré, à l'abri de la lumière directe du soleil. Le séchage s'est effectué à température ambiante (20–35 °C) pendant plusieurs jours, jusqu'à obtention d'un matériau sec et cassant, prêt à être broyé.

2.2.1.2. Broyage

Une fois séchées, les feuilles et les rameaux ont été séparés manuellement, puis broyés. Les feuilles ont été réduites en poudre fine à l'aide d'un moulin à café, tandis que les rameaux ont été traités avec un broyeur électrique. La poudre obtenue (Fig 5.):a été tamisée pour homogénéiser la granulométrie, puis conservée dans des flacons en verre ambré, hermétiquement fermés, et stockée à l'abri de la lumière afin de prévenir l'oxydation des composés sensibles.

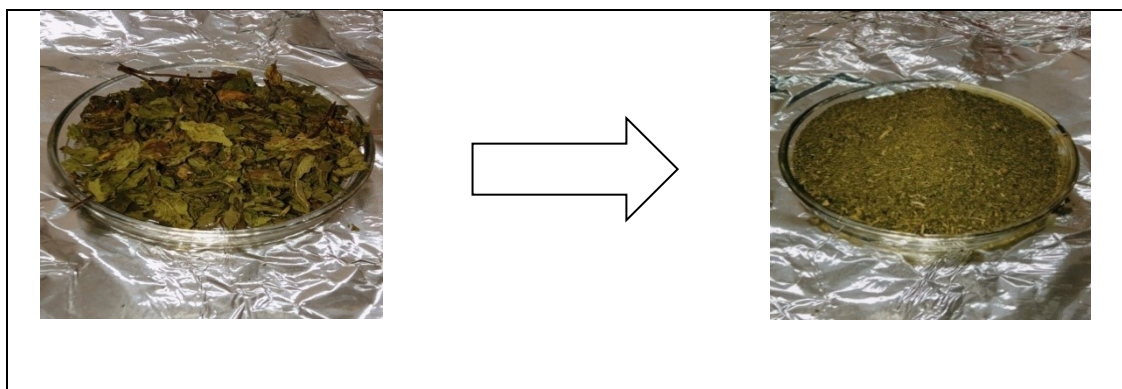


Figure 5. Menthe séchée et Menthe broyée (photo personnel)

2.2.1.3. Extraction par macération

La méthode d'extraction adoptée est la macération, un procédé d'extraction solide-liquide consistant à immerger la poudre végétale dans un solvant à température ambiante.

Deux solvants ont été utilisés :

- Éthanol à 70 % (solvant organique)
- Eau distillée (solvant aqueux)

Le ratio plante/solvant appliqué était de 1 g de poudre pour 10 mL de solvant. Ainsi, 25 g de poudre ont été placés dans un ballon à fond rond, auxquels ont été ajoutés 250 mL de solvant (éthanolique ou aqueux), de manière à recouvrir totalement les échantillons. Les ballons ont été recouverts de papier aluminium pour limiter l'exposition à la lumière, puis agités sur un agitateur orbital pendant plusieurs heures pour faciliter la diffusion des métabolites dans le solvant. Après agitation, la macération a été poursuivie à température ambiante pendant 24 heures.

2.2.1.4. Filtration et concentration

À l'issue de la macération, les solutions ont été filtrées à l'aide de papier filtre Whatman (Fig 6.) afin de séparer les résidus végétaux des extraits liquides. Le filtrat a ensuite été concentré à l'aide d'un évaporateur rotatif sous pression réduite, à une température modérée, afin d'éliminer les solvants sans altérer les composés thermosensibles. Les extraits concentrés, sous forme pâteuse ou semi-solide, ont été stockés dans des flacons opaques, à basse température, jusqu'à leur utilisation pour les analyses phytochimiques et biologiques.

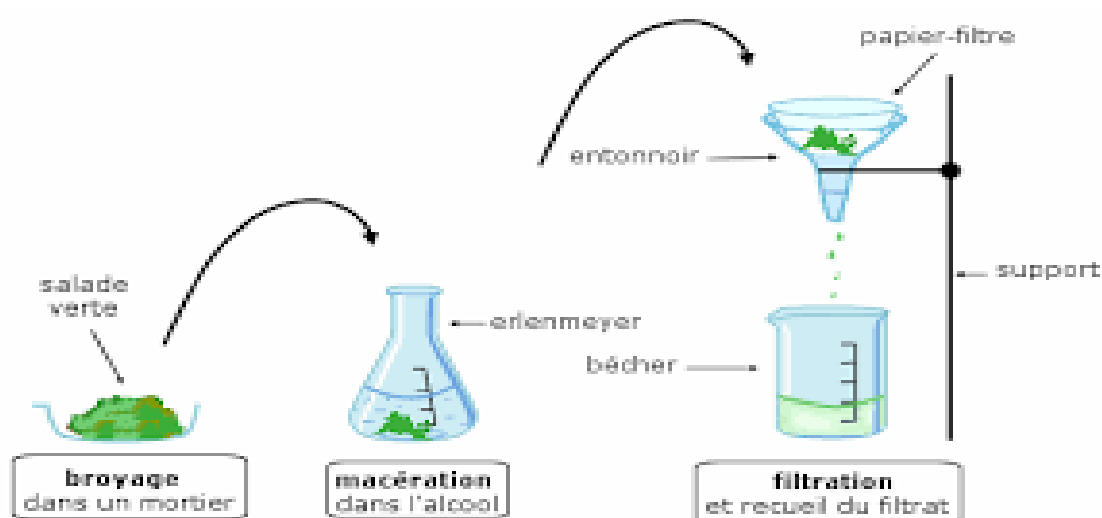


Figure 6. Etapes de préparation des extraits de *Mentha spicata L*

2.2.2. Détermination du rendement d'extraction

Le rendement d'extraction a été calculé pour chaque type d'extrait (éthanolique et aqueux) issu des deux régions d'échantillonnage (Tiaret et El Bayadh), selon la formule suivante :

$$R\% = (m_2/m_1) \times 100$$

R : rendement d'extraction en pourcentage.

m1 : masse de l'extrait après évaporation du solvant en gramme.

m2 : masse de poudre végétale traitée en gramme

Cette méthode permet d'évaluer l'efficacité de l'extraction et de comparer la richesse en composés solubles des différentes préparations.

2.3. Caractérisation phytochimique

Dans le but d'évaluer la richesse en composés bioactifs des extraits de *Mentha spicata*, une analyse phytochimique quantitative a été réalisée, ciblant trois principales familles de métabolites secondaires : les polyphénols totaux, les flavonoïdes et les tanins. Ces composés sont reconnus pour leurs propriétés biologiques, notamment antioxydantes et anti-inflammatoires.

2.3.1. Dosage des polyphénols totaux

Le dosage des polyphénols totaux repose sur l'utilisation du réactif de Folin-Ciocalteu, composé d'acides phosphotungstique ($H_3PW_{12}O_{40}$) et phosphomolybdique ($H_3PMo_{12}O_{40}$). Ce réactif réagit avec les groupements hydroxyles des composés phénoliques pour former un complexe de couleur bleue. L'intensité de cette coloration, mesurée par spectrophotométrie à 765 nm, est proportionnelle à la teneur en polyphénols de l'échantillon (Laraba, 2016). Mode opératoire Une solution mère a été préparée en dissolvant 1 mg de poudre d'extrait sec dans 1 ml d'eau distillée. Ensuite, 200 μ L de cette solution ont été introduits dans des tubes en verre, puis 1 ml de réactif de Folin-Ciocalteu (préalablement dilué 10 fois) a été ajouté. Après une incubation de 5 minutes à température ambiante, à l'abri de la lumière, 800 μ L de carbonate de sodium (Na_2CO_3) à 7,5 % ont été incorporés. Les tubes ont été agités puis maintenus à l'obscurité pendant 30 minutes. L'absorbance a été mesurée à 765 nm à l'aide d'un spectrophotomètre. Une courbe d'étalonnage a été construite simultanément, en utilisant des solutions standards d'acide gallique à des concentrations allant de 0 à 1000 μ g/ml.

2.3.2. Dosage des Flavonoïdes totaux

La quantification des flavonoïdes repose sur la formation d'un complexe stable entre ces composés et le chlorure d'aluminium ($AlCl_3$), ce qui permet une détection spectrophotométrique grâce à la coloration jaune du complexe, absorbée à 430 nm (Lagnika, 2005). Mode opératoire Dans un tube à essai, 1 ml d'extrait est mélangé à 1 ml d'une solution de $AlCl_3$ à 2 %, préparée dans du méthanol. Le mélange est vigoureusement agité à l'aide d'un vortex, puis incubé à l'obscurité pendant 15 minutes. L'absorbance est ensuite mesurée à 430 nm contre un blanc. Une courbe d'étalonnage a été réalisée dans les mêmes conditions, à l'aide de solutions standards de quercétine, dont les concentrations s'étendent de 0 à 1000 μ g/ml.

2.3.3. Dosage des Tanins condensés

Le dosage des tanins condensés a été réalisé selon la méthode à la vanilline en milieu acide. Cette méthode repose sur une réaction entre les unités flavonoïdiques des tanins condensés et la vanilline, formant un complexe coloré mesurable à 550 nm. Seule la première unité du polymère réagit, conférant à cette méthode une spécificité pour les tanins condensés (Ba et al., 2010).

Mode opératoire

Pour chaque échantillon, 50 µL d'extrait ont été ajoutés à 1500 µL d'une solution de vanilline à 4 % préparée dans le méthanol. Après agitation, 750 µL d'acide chlorhydrique concentré (HCl) ont été incorporés. La réaction a été conduite à température ambiante pendant 20 minutes. L'absorbance a été ensuite mesurée à 550 nm contre un blanc.

Une courbe d'étalonnage a été élaborée à partir de solutions standards de catéchine à des concentrations allant de 0 à 1000 µg/ml

2.4. Activités biologiques

2.4.1. Évaluation de l'activité antioxydante par le test DPPH

.1. Activité antioxydante (méthode DPPH)

L'activité antioxydante des extraits a été évaluée par la méthode de piégeage du radical libre DPPH, selon le protocole de Markowicz Bastos et *al.* (2007).

a. Préparation des solutions

- Solution DPPH : 2 mg de DPPH ont été dissous dans 100 mL de méthanol absolu. La solution a été protégée de la lumière et agitée pendant 15 minutes.
- Solutions mères des extraits : 1 mg d'extrait a été dissous dans 1 mL d'eau distillée.
- Dilutions : À partir de la solution mère, quatre dilutions ont été préparées (0,1 ; 0,05 ; 0,025 ; 0,01 mg/mL).

b. Réalisation du test

Dans chaque tube, 1 mL de solution méthanolique de DPPH a été mélangé à 200 µL d'extrait dilué. Après incubation à l'abri de la lumière pendant 30 minutes, l'absorbance a été mesurée à 517 nm. Un blanc a été préparé avec 1,2 mL de solution de DPPH sans extrait.

c. Calcul de l'activité

Le pourcentage d'inhibition du DPPH a été calculé selon la formule :

$$I (\%) = [(absorbance \text{ de blanc} - absorbance \text{ d'échantillon}) / absorbance \text{ de blanc}] \times 100$$

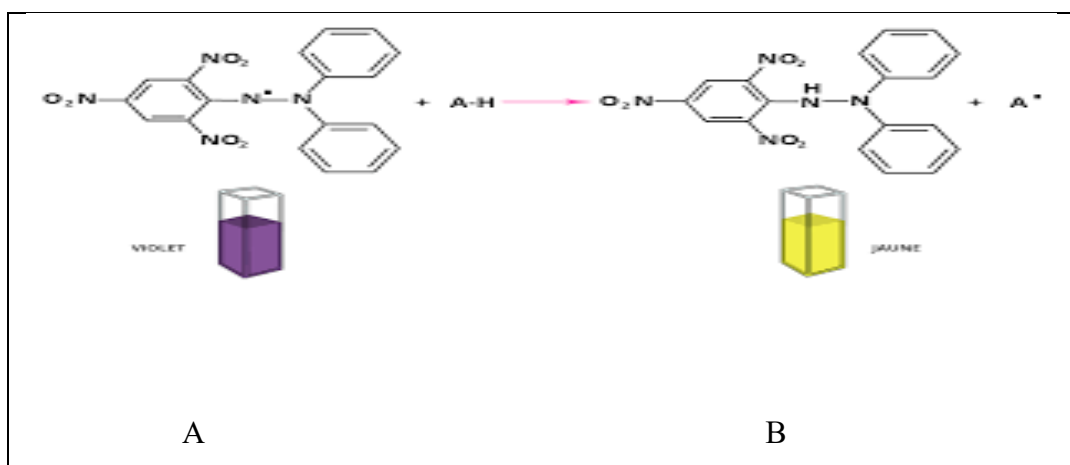


Figure 7. Forme de DPPH (A) libre et réduit (B)

2.4.2. Évaluation de l'activité anti-inflammatoire par inhibition de la dénaturation des protéines (méthode BSA)

L'effet anti-inflammatoire des extraits a été évalué par la méthode d'inhibition de la dénaturation de l'albumine sérique bovine (BSA), selon Kandikattu (2013). Cette méthode repose sur l'inhibition de la dénaturation thermique des protéines par les extraits testés.

a. Préparation des réactifs

- Tampon Tris-HCl (pH 6,6) : 3,97 g dans 100 mL d'eau distillée.
- Solution de BSA (0,2 %) : 0,2 g dans 100 mL de Tris-HCl.
- Solutions d'extraits : dilutions de la solution mère (1 mg/mL) aux concentrations suivantes : 0,2 ; 0,1 ; 0,05 et 0,01 mg/mL.
- Blancs : chaque concentration est testée avec un mélange de 1 mL d'extrait + 1 mL de BSA, sans chauffage.

b. Protocole expérimental

Pour chaque concentration, 1 mL d'extrait est mélangé à 1 mL de BSA (0,2 %). Après incubation 15 minutes à 37°C, les tubes sont chauffés à 72°C pendant 5 minutes, puis refroidis rapidement. L'absorbance est mesurée à 660 nm. Le pourcentage d'inhibition est calculé selon la formule :

$$I (\%) = [(absorbance \text{ de blanc} - absorbance \text{ d'échantillon}) / absorbance \text{ de blanc}] \times 100$$

Résultats et discussion

1 Rendement en extraits

Les résultats du tableau 2 révèlent une influence marquée de la nature du solvant, de l'organe végétal utilisé ainsi que de la provenance géographique sur le rendement d'extraction. L'extrait éthanolique des rameaux de Tiaret a enregistré la valeur la plus élevée avec un rendement de 16 %, mettant en évidence l'efficacité de l'éthanol à 70 % pour l'extraction des composés solubles présents dans cette partie de la plante. En revanche, les rameaux de El Bayadh extraits à l'éthanol ont affiché le rendement le plus faible (4 %), ce qui pourrait être attribué à une variation de la composition phytoconstituante selon les conditions écologiques locales. Par ailleurs, les feuilles de la région d'El Bayadh ont montré une meilleure affinité avec l'extraction aqueuse, atteignant un rendement de 12 %, ce qui suggère une teneur élevée en composés hydrosolubles, comme certains polyphénols ou glucides.

Tableau 2. Rendements des différents extraits (en pourcentage)

Region	Extrait Aqueux (%)	Extrait Ethanolique(%)
Feuilles EL Bayedh	12	8
Ramaux EL Bayedh	12	4
Feuilles tiaret	8	10.4
Ramaux tiaret	8.24	16

4. Analyses Phytochimique

4.1 Teneurs en polyphénols totaux

Les résultats obtenus (Figure 8) mettent en évidence une variation notable des teneurs en polyphénols totaux selon la partie de *Mentha spicata* étudiée, la provenance géographique (Tiaret ou El Bayadh) et le type de solvant utilisé pour l'extraction (aqueux ou éthanolique). Exprimées en mg d'équivalent acide gallique par gramme d'extrait sec (mg EAG/g ES), ces teneurs varient considérablement : l'extrait éthanolique des rameaux d'El Bayadh a présenté la concentration la plus élevée (61,23 mg EAG/g ES) (Fig 8.), suivi de l'extrait aqueux des rameaux de Tiaret (57,22 mg EAG/g ES). En revanche, les plus faibles teneurs ont été observées dans l'extrait aqueux des feuilles d'El Bayadh (40,19 mg EAG/g ES) et l'extrait éthanolique des feuilles de Tiaret (40,49 mg EAG/g ES). Des valeurs intermédiaires

ont été relevées pour les extraits aqueux des rameaux d'El Bayadh et des feuilles de Tiaret, tous deux affichant 52,26 mg EAG/g ES. Globalement, ces données suggèrent une concentration plus importante en polyphénols dans les rameaux que dans les feuilles, ce qui peut s'expliquer par leur rôle physiologique de transport et de stockage des métabolites secondaires, comme le rapportent Tomaino et al. (2006).

Par ailleurs, le choix du solvant d'extraction s'est révélé déterminant : pour les échantillons de Tiaret, les extraits aqueux étaient plus riches en polyphénols que les extraits éthanoliques, tandis que l'inverse a été constaté pour les échantillons d'El Bayadh. Ces différences peuvent être attribuées à l'effet des facteurs environnementaux tels que la température, l'humidité, le type de sol ou encore l'exposition solaire, qui influencent la biosynthèse et la solubilité des composés phénoliques dans les tissus végétaux. D'autres paramètres, comme le stade de développement de la plante, l'altitude ou encore la polarité du solvant, jouent également un rôle crucial dans la récupération de ces métabolites. Nos résultats s'inscrivent dans les tendances décrites dans la littérature, confirmant que *Mentha spicata*, appartenant à la famille des Lamiacées, est une source importante de composés phénoliques (Gortzi et al., 2007 ; Fecka& Turek, 2008). La supériorité des solvants polaires, notamment l'eau, dans l'extraction des polyphénols hydrosolubles, tels que les acides phénoliques et les flavonoïdes, est également confirmée.

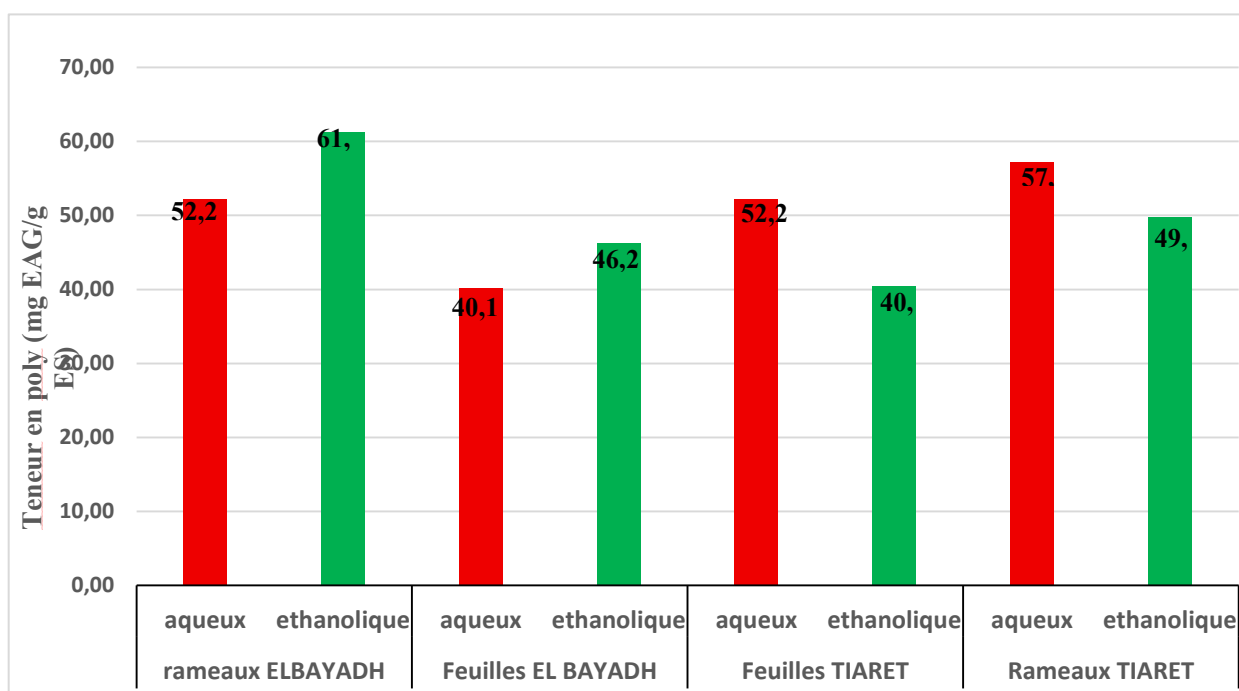


Figure 8 .Teneur en polyphénols des différents extraits de *Mentha spicata*.

2.2 Teneur en flavonoïdes

Les résultats obtenus, illustrés dans la figure 9, mettent en évidence une variabilité notable des teneurs en flavonoïdes totaux selon les extraits étudiés de *Mentha spicata*. Ces concentrations, exprimées en mg d'équivalent quercétine par gramme d'extrait sec (mg EQ/g ES), reflètent l'effet combiné de plusieurs facteurs : la partie de la plante utilisée (feuilles ou rameaux), le solvant d'extraction (eau ou éthanol), ainsi que l'origine géographique des échantillons (Tiaret ou El Bayadh).

L'analyse des résultats révèle que l'extrait éthanolique des rameaux de la région d'El Bayadh (BRE) présente la teneur la plus élevée en flavonoïdes, avec 18,05 mg EQ/g ES, suivi par les extraits des feuilles de la même région, qu'ils soient aqueux (BFA : 16,77 mg) ou éthanoliques (BFE : 16,60 mg). À l'opposé, les extraits des rameaux de Tiaret, notamment l'extrait aqueux (TRA) avec 10,13 mg EQ/g ES, affichent les valeurs les plus faibles (Fig 9.).

Dans le cas des rameaux de El Bayadh, l'extraction à l'éthanol a permis une augmentation d'environ 9 % de la teneur en flavonoïdes par rapport à l'extraction aqueuse (18,05 vs. 16,47 mg EQ/g ES), démontrant l'efficacité du solvant organique pour ce type de tissu végétal. En revanche, chez les feuilles de la même région, les teneurs sont presque équivalentes, indiquant que le type de solvant n'influence que modérément l'extraction des flavonoïdes à partir des feuilles.

De manière générale, tous les extraits issus de la région d'El Bayadh présentent des teneurs supérieures à ceux de Tiaret, quelle que soit la partie de la plante ou le solvant utilisé. Cela suggère une richesse flavonoïdique intrinsèque à la menthe de cette région, probablement en lien avec des facteurs agro-écologiques favorables à la biosynthèse de ces métabolites secondaires.

Ces observations sont cohérentes avec les travaux de Ngbolua et al. (2011), qui ont montré que la production de composés phénoliques, en particulier les flavonoïdes, est modulée par divers stress abiotiques tels que la sécheresse, la salinité, la température et l'exposition solaire. Ces facteurs, plus marqués dans certaines régions, stimulent la biosynthèse des flavonoïdes en tant que réponse adaptative de la plante.

Par ailleurs, Benarba et al. (2015) ont souligné que les flavonoïdes possèdent de nombreuses propriétés pharmacologiques, notamment des effets antitussifs,

antipyrétiques, antihypertenseurs, antiasthmatiques et anti-inflammatoires, ce qui confère un potentiel thérapeutique élevé aux extraits riches en ces composés.

En résumé, la combinaison des rameaux de *Mentha spicata* issus d'El Bayadh et d'une extraction à l'éthanol semble la plus efficace pour obtenir une forte teneur en flavonoïdes, ce qui en fait une candidature prometteuse pour des applications biologiques et médicinales futures.

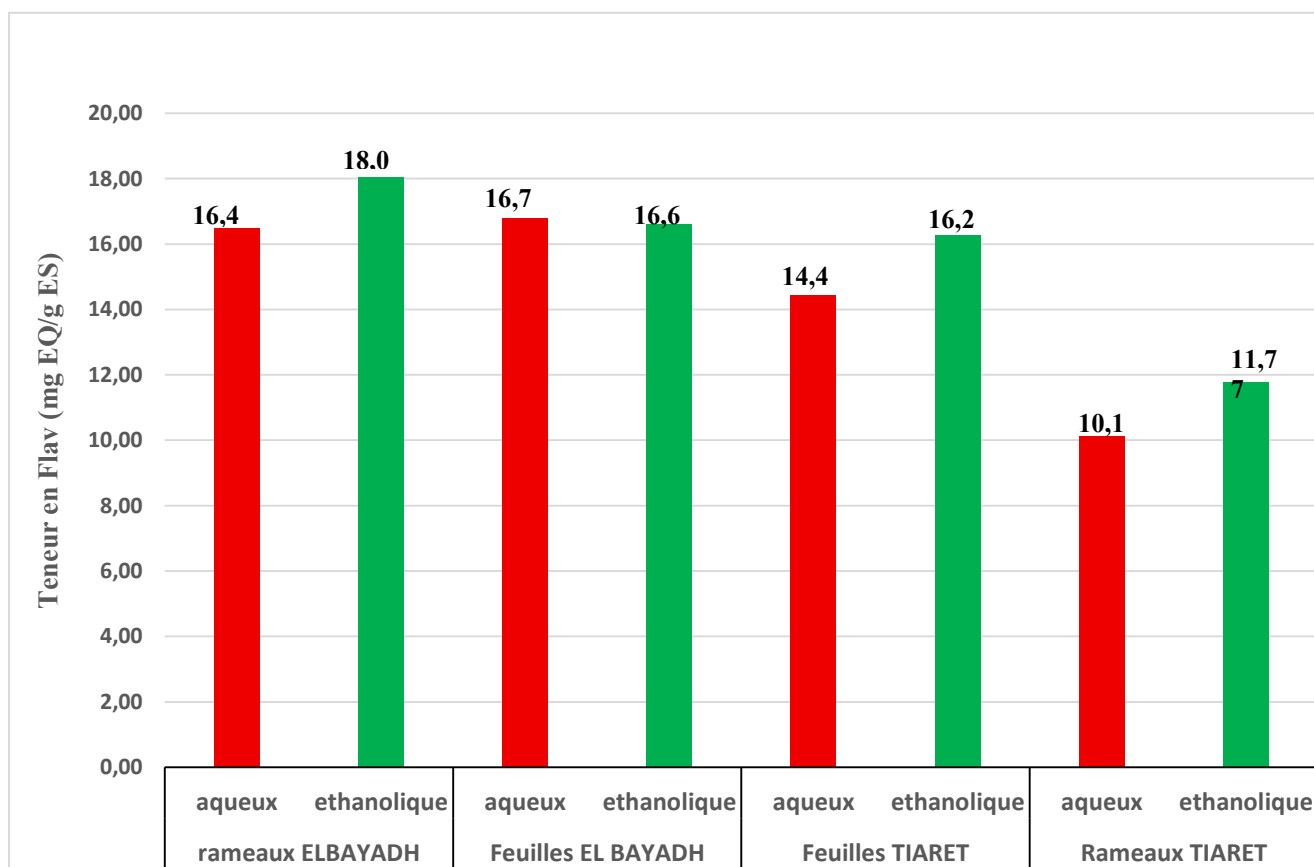


Figure 9. Teneur en flavonoïdes des différents extraits de *Mentha spicata*

2.1 Teneur en tanins

La quantification des tanins a été réalisée à partir d'une courbe d'étalonnage construite à l'aide de la catéchine comme standard de référence. Les teneurs ont été déterminées en appliquant l'équation de régression linéaire obtenue à partir de la courbe, et les résultats sont exprimés en mg équivalents catéchine par gramme d'extrait sec (mg EC/g ES) (Figure 10).

Les résultats révèlent une hétérogénéité significative dans les teneurs en tanins totaux, en fonction de la nature de l'organe végétal, du solvant d'extraction et de l'origine géographique. La teneur la plus élevée est observée dans l'extrait aqueux des rameaux de la région d'El Bayadh (B.R.A), avec 37,19 mg EC/g ES, suivi de l'extrait éthanolique des feuilles de Tiaret (T.F.E), qui atteint 33,38 mg EC/g ES.

Les valeurs les plus faibles ont été enregistrées pour l'extrait éthanolique des feuilles de El Bayadh (B.F.E) et pour celui des rameaux de Tiaret (T.R.E), tous deux affichant 24,33 mg EC/g ES. Ces résultats montrent que les extraits aqueux ont, dans certains cas, permis une meilleure extraction des tanins que les extraits éthanoliques, ce qui est en accord avec la polarité de ces composés.

En comparant nos résultats à ceux de la littérature, on constate une concordance partielle avec certaines études antérieures. En effet, Ben Saad et al. (2017) ont rapporté des teneurs en tanins condensés allant jusqu'à 33,16 mg EC/g d'extrait dans des extraits de menthe, tandis que d'autres travaux ont mentionné des valeurs plus faibles, comme $9,3 \pm 0,45$ mg EC/g selon Ben Saad et al. (2017), ou $2,71 \pm 0,1$ mg EC/g chez Ben Abdallah (2016). Ces écarts peuvent être attribués aux différences méthodologiques, à la variabilité génétique des échantillons, aux conditions agroclimatiques spécifiques aux régions de récolte, ainsi qu'au type de solvant utilisé.

De manière générale, ces résultats suggèrent que les rameaux de la menthe de El Bayadh, notamment en extraction aqueuse, constituent une source particulièrement riche en tanins, confirmant leur potentiel pour d'éventuelles applications dans les domaines pharmaceutique, antioxydant ou conservateur.

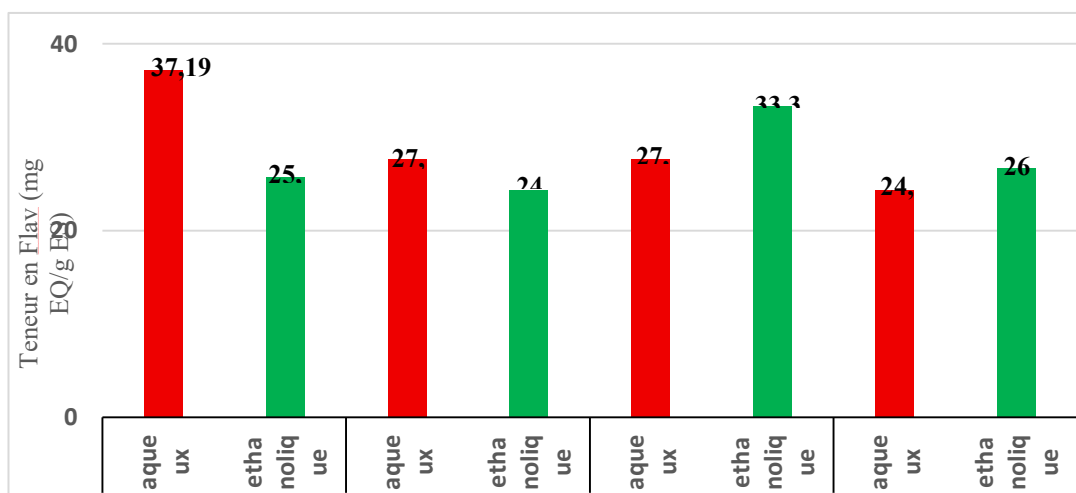


Figure 10. Teneur en tanins des différents extraits de *Mentha spicata*

5. Analyse activités biologique

3.1 Activité antioxydante

L'activité antioxydante des extraits aqueux et éthanoliques des feuilles et des rameaux de *Mentha spicata*, récoltés dans les régions de Tiaret et El Bayadh, a été évaluée par la méthode du radical libre DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle). Cette méthode repose sur la capacité des composés antioxydants à neutraliser les radicaux libres, entraînant une diminution de l'absorbance mesurée à 517 nm. Les résultats sont exprimés en concentration inhibitrice à 50 % (IC₅₀), représentant la concentration d'extrait nécessaire pour piéger 50 % des radicaux DPPH. Plus la valeur d'IC₅₀ est faible, plus l'extrait est considéré comme ayant une forte activité antioxydante.

Le tableau suivant résume les valeurs d'IC₅₀ obtenues pour les différents extraits testés :

Tableau 3. Des IC₅₀ des différents extraits testés.

ECH	IC ₅₀ (ug/mg)
R .A EL Bayadh	4 .176
F.A EL Bayadh	0.32
F.A Tairer	1.02
R.A Tairer	0.39
R.E EL Bayadh	1.074
F.E EL Bayadh	1.074
R.E Tairer	0.10
F.E Tairer	0.13

R.A= Rameaux Aqueux

R.E= Rameaux Ethanolique

F.A= Feuilles Aqueux

F.E= Feuilles Ethanolique

L'évaluation de l'activité antioxydante des extraits de *Mentha spicata* a révélé une hétérogénéité notable selon les paramètres étudiés. Les extraits éthanoliques se sont globalement révélés plus actifs que les extraits aqueux, ce qui s'explique par une meilleure solubilisation, dans l'éthanol, des composés phénoliques faiblement polaires, tels que l'acide rosmarinique, la lutéoline ou certains flavonoïdes méthylés.

Cette supériorité des extraits éthanoliques a été particulièrement marquée pour les échantillons issus de la région de Tiaret, qui ont affiché les IC_{50} les plus faibles (0,10 $\mu\text{g}/\text{mg}$ pour les rameaux et 0,13 $\mu\text{g}/\text{mg}$ pour les feuilles), témoignant d'une très forte capacité antioxydante.

En revanche, les extraits aqueux des rameaux d'El Bayadh ont montré une activité très faible ($IC_{50} = 4,176 \mu\text{g}/\text{mg}$), suggérant une moindre teneur en composés antioxydants hydrosolubles dans cette partie de la plante ou une altération possible de ces composés par les conditions locales. Les feuilles d'El Bayadh, quant à elles, ont présenté une activité modérée en extraction aqueuse ($IC_{50} = 0,32 \mu\text{g}/\text{mg}$), tandis que leurs extraits éthanoliques ont atteint une IC_{50} de 1,074 $\mu\text{g}/\text{mg}$, similaire à celle des rameaux de la même région.

La comparaison avec des études antérieures confirme la qualité antioxydante élevée des extraits analysés. Par exemple, GhasemiPirbalouti et al. (2016) ont rapporté des IC_{50} pour des extraits méthanoliques de *Mentha spicata* compris entre 20 et 80 $\mu\text{g}/\text{mL}$ selon l'origine géographique, tandis que Mahmoud et al. (2020) ont signalé des IC_{50} autour de 25 à 35 $\mu\text{g}/\text{mL}$ pour des extraits aqueux et hydroalcooliques. Les valeurs obtenues dans la présente étude, bien inférieures à ces références, témoignent ainsi d'un potentiel antioxydant exceptionnel, notamment dans les extraits éthanoliques de Tiaret.

Ces différences régionales pourraient s'expliquer par des facteurs écophysiologiques, tels que l'ensoleillement, la température, l'altitude ou encore le stress hydrique, qui influencent la biosynthèse des métabolites secondaires antioxydants chez les plantes aromatiques. L'ensemble de ces observations souligne le potentiel de valorisation des extraits de *Mentha spicata*, notamment ceux de Tiaret, en tant que sources naturelles d'antioxydants à fort pouvoir réducteur.

Les résultats obtenus ont été confrontés à ceux d'antioxydants de référence tels que l'acide ascorbique (vitamine C). De nombreuses études ont évalué l'activité de ce composé vis-à-vis du radical DPPH, révélant des valeurs d' IC_{50} comprises entre 4,7 et 15 $\mu\text{g}/\text{mL}$ selon les conditions expérimentales (Sahib et al., 2012 ; Ngbolua et al., 2014). Par exemple, Boudjou et al. (2013) ont rapporté une IC_{50} de 5,4 $\mu\text{g}/\text{mL}$ pour l'acide ascorbique dans des conditions similaires à celles de la présente étude. En comparaison, plusieurs extraits testés ici, notamment l'extrait éthanolique des rameaux de Tiaret ($IC_{50} = 0,10 \mu\text{g}/\text{mg}$) et celui des feuilles de Tiaret ($IC_{50} = 0,13 \mu\text{g}/\text{mg}$), se révèlent nettement plus actifs. Même certains extraits aqueux (feuilles El

Bayadh, $IC_{50} = 0,32 \mu\text{g}/\text{mg}$) surpassent ou égalent les performances du standard. Ces résultats traduisent une capacité de piégeage radicalaire exceptionnelle, probablement due à une synergie entre divers composés antioxydants présents, tels que l'acide rosmarinique, les flavonoïdes et les tanins. Ainsi, dans certaines conditions, *Mentha spicata* — notamment les rameaux de Tiaret — démontre une activité antioxydante comparable, voire supérieure, à celle de l'acide ascorbique, ce qui souligne son potentiel pour des applications dans les industries pharmaceutique, alimentaire et cosmétique

3.2 Activité anti-inflammatoire

L'activité anti-inflammatoire des extraits aqueux et éthanoliques des feuilles et des rameaux de *Mentha spicata*, issus des régions de Tiaret et El Bayadh, a été évaluée par la méthode d'inhibition de la dénaturation thermique de l'albumine sérique bovine (BSA). Les résultats ont été exprimés en termes de concentration inhibitrice à 50 % (IC_{50}), paramètre largement utilisé pour quantifier l'efficacité biologique d'un composé ou d'un extrait. Plus l' IC_{50} est faible, plus l'activité inhibitrice est importante, traduisant une puissance anti-inflammatoire élevée.

Tableau 4 . IC_{50} des extraits de *Mentha spicata* pour l'activité anti-inflammatoire

ECH	IC50 (ug/mg)
R.A EL Bayadh	0.46
F.A EL Bayadh	0.21
F.A Tiaret	0.28
R.A Tiaret	0.16
R.E EL Bayadh	0.14
F.E EL Bayadh	0.32
R.E Tiaret	0.18
F.E Tiaret	0.16

L'analyse comparative des valeurs d' IC_{50} montre que les extraits éthanoliques présentent, dans l'ensemble, une activité supérieure à celle des extraits aqueux. L'extrait le plus actif est celui des rameaux éthanoliques provenant d'El Bayadh ($IC_{50} = 0,14 \mu\text{g}/\text{mg}$), suivi par les feuilles éthanoliques de Tiaret et les rameaux

éthanoliques de Tiaret ($IC_{50} = 0,16$ et $0,18 \mu\text{g}/\text{mg}$ respectivement). À l'opposé, l'extrait le moins actif est celui des rameaux aqueux d'El Bayadh ($IC_{50} = 0,46 \mu\text{g}/\text{mg}$). Cette supériorité des extraits éthanoliques peut être attribuée à leur capacité à solubiliser des composés bioactifs à polarité intermédiaire ou faible, tels que certains polyphénols, flavonoïdes, terpènes ou acides aromatiques, connus pour leurs propriétés anti-inflammatoires.

Sur le plan géographique, une variation est également observée entre les deux régions d'origine. Les extraits issus de Tiaret montrent globalement une meilleure activité que ceux d'El Bayadh, à l'exception notable du rameau éthanolique d'El Bayadh, qui présente l' IC_{50} la plus basse de tous les échantillons testés. Cette variation régionale pourrait refléter une influence des conditions écologiques (climat, sol, altitude) sur la biosynthèse des métabolites secondaires, notamment les composés phénoliques. En effet, plusieurs études ont montré que les stress abiotiques peuvent moduler la production de ces molécules chez les plantes médicinales (Dudonné et al., 2009 ; Mahmoud et al., 2020).

Par ailleurs, les résultats indiquent que les rameaux peuvent présenter une activité comparable, voire supérieure, à celle des feuilles. Cette observation est particulièrement marquée pour les extraits éthanoliques d'El Bayadh, où les rameaux ($IC_{50} = 0,14 \mu\text{g}/\text{mg}$) sont nettement plus actifs que les feuilles ($IC_{50} = 0,32 \mu\text{g}/\text{mg}$). Cela suggère que les rameaux constituent une source potentiellement riche en composés bioactifs, bien que souvent négligés dans les études phytothérapeutiques.

Les résultats obtenus sont globalement cohérents avec ceux rapportés dans la littérature. Kandikattu et al. (2013) ont rapporté des IC_{50} plus élevés ($>50 \mu\text{g}/\text{mL}$) pour plusieurs extraits végétaux dans le même modèle expérimental, ce qui positionne les extraits de *Mentha spicata* étudiés ici parmi les plus actifs. D'autres travaux, tels que ceux de Mahmoud et al. (2020), ont attribué l'activité anti-inflammatoire de *Mentha spicata* à la richesse en acide rosmarinique, menthol, lutéoline et autres flavonoïdes, dont la présence pourrait expliquer l'efficacité marquée observée dans cette étude. En somme, les extraits de *Mentha spicata*, en particulier ceux issus des rameaux et obtenus par extraction éthanolique, présentent une activité anti-inflammatoire prometteuse.

L'analyse comparative entre les teneurs en métabolites secondaires et les activités biologiques obtenues révèle des relations significatives. Les extraits les plus riches en polyphénols totaux et en flavonoïdes ont généralement présenté les meilleures

activités antioxydantes, mesurées par la méthode DPPH. Par exemple, les extraits de rameaux de Tiaret en solution éthanolique (T.R.E), avec une teneur en polyphénols de 49,72 mg EAG/g ES et une teneur en flavonoïdes de 11,77 mg EQ/g ES, ont montré la plus faible valeur d'IC₅₀ (0,10 µg/mg), traduisant une capacité antioxydante remarquable. De même, l'extrait de feuilles éthanolique de Tiaret (T.F.E), modérément riche en polyphénols (40,49 mg EAG/g ES) mais relativement élevé en flavonoïdes (16,26 mg EQ/g ES), a affiché un IC₅₀ très bas (0,13 µg/mg), soulignant le rôle central de ces composés dans la neutralisation des radicaux libres.

Ces résultats confirment que les flavonoïdes sont parmi les principaux contributeurs à l'activité antioxydante, notamment grâce à leur capacité à céder des électrons ou des atomes d'hydrogène et à stabiliser les radicaux libres (Ardestani y Yazdanparast, 2007 ; Heim et al., 2002). En revanche, les tanins, bien que présents en quantités notables, semblent avoir une contribution plus modérée à l'activité antioxydante. Par exemple, l'extrait aqueux des rameaux d'EL Bayadh (B.R.A), riche en tanins (37,19 mg EC/g ES), a présenté un IC₅₀ relativement élevé (4,176 µg/mg), suggérant une efficacité antioxydante moindre, possiblement due à la structure polymérique des tanins qui limite leur accessibilité et leur réactivité directe avec le radical DPPH.

Concernant l'activité anti-inflammatoire, des relations similaires ont été observées. Les extraits ayant montré une forte capacité à inhiber la dénaturation des protéines (valeurs faibles de CI₅₀) sont également ceux qui présentaient les concentrations les plus élevées en flavonoïdes et polyphénols. Par exemple, l'extrait éthanolique des rameaux de Tiaret (R.E Tiaret) a montré une CI₅₀ de 0,18 µg/mg, corrélée à sa richesse en composés phénoliques. Les flavonoïdes, en particulier, jouent un rôle clé dans l'activité anti-inflammatoire par leur capacité à inhiber les enzymes pro-inflammatoires (COX, LOX), à moduler la production de cytokines et à stabiliser les membranes cellulaires (Benarba et al., 2015 ; Ngbolua et al., 2011).

Enfin, ces corrélations montrent que la nature chimique des composés présents, leur polarité, leur solubilité et leur synergie éventuelle influencent directement les réponses biologiques. Les extraits éthanoliques, notamment des rameaux, semblent favoriser l'extraction de composés bioactifs responsables d'une plus grande efficacité antioxydante et anti-inflammatoire. Ces observations rejoignent les travaux antérieurs menés sur les Lamiacées, dont la richesse en métabolites phénoliques est bien documentée (Fecka y Turek, 2008 ; Gortzi et al., 2007), et confirment l'intérêt pharmacologique de *Mentha spicata* comme source naturelle de composés bioactifs.

Conclusion

Conclusion

La présente étude s'est inscrite dans une démarche de valorisation des ressources phytogénétiques locales, à travers la caractérisation phytochimique et l'évaluation des propriétés biologiques de *Mentha spicata* L., plante aromatique et médicinale appartenant à la famille des Lamiacées. L'étude a été menée sur des échantillons récoltés dans deux régions écologiquement distinctes d'Algérie, El Bayadh et Tiaret, et a porté sur différentes parties de la plante (feuilles et rameaux) soumises à des extractions aqueuses et éthanoliques.

Les analyses phytochimiques ont révélé des variations notables des teneurs en métabolites secondaires selon l'origine géographique, la nature de l'organe végétal et le type de solvant utilisé. De manière générale, les extraits des rameaux se sont avérés plus riches en polyphénols totaux et en flavonoïdes que ceux des feuilles, confirmant l'influence de la partie de la plante sur la concentration en composés bioactifs. Les extraits aqueux de rameaux d'El Bayadh et les extraits éthanoliques des rameaux de Tiaret ont notamment présenté les teneurs les plus élevées en tanins et en polyphénols totaux. Sur le plan biologique, les extraits ont démontré des activités antioxydante et anti-inflammatoire remarquables, en particulier ceux issus de Tiaret, avec des valeurs d'IC₅₀ très faibles, témoignant d'un fort potentiel neutralisant vis-à-vis des radicaux libres DPPH, et d'une bonne capacité à inhiber la dénaturation des protéines (test BSA). L'extrait éthanolique des rameaux de Tiaret s'est notamment distingué par son efficacité antioxydante (IC₅₀ = 0,10 µg/mg), tandis que l'extrait aqueux des rameaux d'El Bayadh a montré la meilleure activité anti-inflammatoire (IC₅₀ = 0,14 µg/mg). Ces résultats montrent que les capacités biologiques des extraits sont fortement reliées à leurs teneurs en composés phénoliques et flavonoïdiques.

Ainsi, cette étude met en lumière la richesse phytochimique de *Mentha spicata* cultivée en Algérie et souligne l'effet combiné de la zone géographique, du type d'organe végétal et du solvant d'extraction sur les activités biologiques mesurées. Elle confirme également l'intérêt croissant des plantes médicinales comme alternatives aux traitements conventionnels, particulièrement dans un contexte socio-économique où l'accès aux médicaments reste limité pour une large frange de la population.

En définitive, les résultats obtenus dans cette étude soulignent l'intérêt pharmacologique des extraits de *Mentha spicata*, notamment pour leurs activités antioxydantes et anti-inflammatoires, et appuient la nécessité de poursuivre les recherches sur la standardisation, l'optimisation des procédés d'extraction, ainsi que l'identification des molécules bioactives responsables de ces effets. Pour valoriser davantage cette ressource médicinale prometteuse, plusieurs perspectives s'ouvrent. Il serait pertinent d'approfondir la caractérisation des

composés par des analyses chromatographiques avancées, de réaliser des tests toxicologiques afin d'assurer leur innocuité, et d'étendre les investigations à d'autres modèles biologiques et activités thérapeutiques. Une comparaison avec d'autres espèces du genre *Mentha*, ainsi que l'étude de l'influence des facteurs écologiques (sol, climat, saisonnalité) sur la biosynthèse des métabolites secondaires, permettrait une meilleure compréhension de la variabilité chimique observée. Par ailleurs, la mise en œuvre de stratégies de culture, de conservation in situ et ex situ, et le développement de formulations thérapeutiques à base d'extraits standardisés représenteraient des voies concrètes de valorisation durable du patrimoine phytogénétique algérien.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

1. Aguilar, C. (2007). Hémolyse : Mécanismes et implications. *Hématologie*, 13, 201–210.
2. Ali, S., et al. (2014) Diagnostic biologique de l'hémolyse. *Clinics and Research in Hepatology and Gastroenterology*, 38, 413–418.
3. Al-Snafi, A.E. (2020). The pharmacological activities of *Mentha spicata*. *Journal of Pharmacy*, 10, 45–57.
4. Ardestani, A., & Yazdanparast, R. (2007). Antioxidant and free radical scavenging potential of *Achillea santolina* extracts. *Food Chemistry*, 104, 21–29.
5. Badiaga, M. (2011). Étude ethnobotanique, phytochimique et activités biologiques de *Nauclea latifolia*. Thèse de doctorat, Université Blaise Pascal-Clermont-Ferrand II.
6. Ben Abdallah, F. (2016). Caractérisation phytochimique de *Mentha spicata*. Mémoire de Master, Université de Sfax.
7. Ben Saad, S., et al. (2017). Composition phénolique et pouvoir antioxydant de *Mentha spicata*. *La Tunisie Médicale*, 95, 224–230.
8. Benarba, B., et al. (2015). Flavonoïdes : Rôle pharmacologique. *Journal of Ethnopharmacology*, 169, 70–78.
9. Benbouali, M. (2006). Étude sur les plantes médicinales et aromatiques d'Algérie. [Mémoire ou article non publié].
10. Boizot, N. (2006). Analyse des composés phénoliques des plantes médicinales par la méthode de Folin-Ciocalteu. Université d'Avignon.
11. Bourgaud, F., Gravot, A., Milesi, S., & Gontier, E. (2001). Production de métabolites secondaires chez les plantes : une perspective historique. *Plant Science*, 161(5), 839–851.
12. Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT – Food Science and Technology*, 28, 25–30.
13. Brahmi, F., Khodir, M., Mohamed, C., & Pierre, D. (2012). Valorisation des plantes médicinales algériennes : cas de la *Mentha spicata*. *Revue Phytothérapie*.
14. Chan, S.W., et al. (2008). Applications of saponins in agriculture and medicine. *Journal of Medicinal Plants Research*, 2, 13–19.
15. Chen, Y., et al. (2007). Advances in natural saponin-based pest control. *Natural Product Reports*, 24, 127–144.

16. Chrysargyris, A., Panayiotou, C., & Tzortzakis, N. (2018). *Mentha spicata* : composition de l'huile essentielle et applications industrielles. *Industrial Crops and Products*, 125, 135–144.
17. Dorman, H. J. D., Kosar, M., Kahlos, K., Holm, Y., & Hiltunen, R. (2003). Composition chimique et activité antioxydante de plusieurs extraits de plantes du genre *Mentha*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(16), 4563–4569
18. Fecka, I., & Turek, S. (2008). Determination of polyphenolic content and antioxidant activity in herbs. *Food Chemistry*, 108, 132–138.
19. Fouché, J. G., et al. (2000). Guide d'identification des plantes médicinales utilisées en Afrique du Nord. Éditions scientifiques.
20. Gaur, R. D. (1999). Flore of the District Garhwal Northwest Himalaya. Transmedia Publication.
21. Gortzi, O., et al. (2007). Evaluation of antioxidant activity of plant extracts from the Lamiaceae family. *Food Chemistry*, 104, 1229–1233.
22. Gupta, S., et al. (2017). Herbal anti-inflammatory agents :A review. *International Journal of Pharmacognosy*, 4(12), 368–374.
23. Halliwell, B. (1995). Antioxidant characterisation :Methodology and mechanism. *Biochemical Society Transactions*, 23, 243–249.
24. Halmi, S. (2015). Étude botanique et phytochimique d'*Opuntia ficus indica*. Mémoire de Master, Université Abou Bekr Belkaid.
25. Hartmann, T. (2007). From waste products to ecochemicals : Fifty years research of plant secondary metabolism. *Phytochemistry*, 68, 2831–2846.
26. Ignat, I., Volf, I., & Popa, V. I. (2011). Une vue d'ensemble sur les composés phénoliques : classification, sources et activités biologiques. *Food Chemistry*, 126, 4–20.
27. Jackson, C. (2014). Structure, biosynthèse et fonctions des flavonoïdes. *Plant Physiology Journal*.
28. Kandikattu, H.K. (2013). In vitro anti-inflammatory screening by inhibition of albumin denaturation. *International Journal of Drug Development & Research*, 5(3), 55–63.
29. Kar, A. (2007). Pharmacognosy and pharmacobiotechnology. New Age International Publishers.
30. Koleckar, V., et al. (2008). Activité antioxydante des tanins hydrolysables et condensés. *Journal of Pharmacological Sciences*, 107, 198–206.

29. Mahboubi, M. (2017). L'huile essentielle de *Mentha spicata* : propriétés et applications. *Journal of Essential Oil Research*, 29(2), 122–129.
31. Manach, C., Scalbert, A., Morand, C., Rémésy, C., & Jiménez, L. (2004). Polyphénols alimentaires : sources et bioactivité. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 79(5), 727–747.
32. Marchand, M., et al. (1980). Métabolisme de l'hémoglobine et bilirubine. *Journal de Biochimie Médicale*, 63, 231–238.
33. Marie, N. (2020). Rôle des antioxydants dans la prévention du stress oxydatif. *Revue Francophone de Gériatrie et Gérologie*.
34. Mayank, M., et al. (2011). Saponins as potent antimicrobials. *Pharmacognosy Reviews*, 5(9), 51–54.
35. Mezzou, T., et al. (2006). Évaluation de l'hémolyse par spectrophotométrie. *Annales de Biologie Clinique*, 64, 271–275.
36. Molyneux, P. (2004). The use of the stable free radical DPPH for estimating antioxidant activity. *Songkla*
37. Benarba, B., et al. (2015). Ethnopharmacology, phytochemistry and pharmacological properties of the genus *Mentha*. *Medicinal Plants Research*, 9(6), 99–110.
38. Brahmi, F., et al. (2017). Phytochemical screening and evaluation of antioxidant and antimicrobial activities of *Mentha spicata* L. from Algeria. *International Journal of Pharmacognosy and Phytochemical Research*, 9(7), 941–947.
39. Gortzi, O., Lalas, S., Chinou, I., & Tsaknis, J. (2007). Reevaluation of antimicrobial and antioxidant activity of *Thymus* spp. extracts before and after encapsulation in liposomes. *Food Chemistry*, 105(3), 773–777.
40. OMS. (2013). *Stratégie de l'OMS pour la médecine traditionnelle 2014-2023*. Organisation mondiale de la santé, Genève.
41. Quézel, P., & Santa, S. (1962). *Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales*. CNRS, Paris.